

川西北草地沙化对土壤可溶性有机氮及酶活性的影响

舒向阳¹, 胡玉福¹, 杨雨山², 何佳¹, 余淑凤¹, 贾安都¹, 姜正博¹, 孙锦杨²

(1. 四川农业大学资源学院, 四川 成都 611130; 2. 四川农业大学管理学院, 四川 成都 611130)

摘要: 为探究草地沙化对川西北高寒草地土壤可溶性有机氮及酶活性的影响, 采用样地调查方法, 研究了不同沙化程度草地可溶性有机氮、脲酶、蛋白酶、硝酸还原酶及精氨酸脱氨酶的变化特征。结果表明: 随草地沙化程度加剧, 土壤脲酶、蛋白酶、硝酸还原酶及精氨酸脱氨酶活性显著降低。与未沙化草地相比, 重度沙化草地 0~20 cm 土层脲酶、蛋白酶、硝酸还原酶及精氨酸脱氨酶活性分别降低了 40.54%、30.68%、39.85% 和 44.00%; 土壤可溶性有机氮随沙化程度增加呈下降趋势, 相较于未沙化、轻度沙化、中度沙化和重度沙化草地土壤可溶性有机氮含量分别下降了 22.36%、48.72% 和 67.77%, 且 0~20 cm 土层变化最为显著。相关分析结果表明, 酶活性与土壤氮素呈极显著正相关; 硝酸还原酶与铵态氮、硝态氮、微生物量氮和可溶性有机氮的相关系数最高, 分别达到 0.868、0.850、0.789 和 0.701。

关键词: 川西北草地; 沙化; 可溶性有机氮; 土壤酶
中图分类号: S153.6⁺2; S154.2 **文献标志码:** A

Soil dissolved organic nitrogen and enzyme activities at different desertification grasslands in Northwest Sichuan

SHU Xiang-yang¹, HU Yu-fu¹, YANG Yu-shan², HE Jia¹, SHE Shu-feng¹,
JIA An-du¹, JIANG Zheng-bo¹, SUN Jin-yang²

(1. College of Resources, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China;
2. College of Management, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China)

Abstract: In order to explore the changes of soil dissolved organic nitrogen and enzyme activities in the process of the alpine desertification grassland in Northwest Sichuan, we studied the dissolved organic nitrogen and the vertical distribution characteristics of urease, protease, nitrate reductase and arginine deaminase. The results showed that with the aggravation of desertification, all enzyme activities decreased sharply. Compared with the non-desertification grassland, the activities of urease, protease, nitrate reductase and arginine deaminase of the grassland were decreased by 40.54%, 30.68%, 39.85% and 44.00% at 0~20 cm soil depth, respectively. With the increase of the degree of desertification, soil dissolved organic nitrogen showed a declining trend. Compared with the non-desertification grassland, the soil dissolved organic nitrogen concentrations of light desertification grassland, middle desertification grassland, serious desertification grassland were decreased by 22.36%, 48.72% and 67.77% respectively, especially at the 0~20 cm soil layer. Correlation analysis showed a significant positive correlation between soil enzyme activity and soil nitrogen.

Keywords: grasslands in northwest Sichuan; desertification; dissolved organic nitrogen; soil enzyme

氮素是限制植物生长发育的主要营养元素之一, 土壤氮素是植物氮素营养的主要来源^[1-2]。以往研究认为植物氮素营养主要来源于土壤无机氮, 但现有研究表明土壤可溶性有机氮(dissolved organic nitrogen, DON)在植物氮素供给中占据着重要地位^[3-5]。土壤酶是具有高度专一催化作用的蛋白质, 其直接参与土壤物理能量转化的重要生物化学过程, 其在土壤养分矿化分解中扮演着重要角色, 同时土壤酶活性也常作为评价土壤质量的重要生物指标^[6]。研究表明, 土壤脲酶、蛋白酶、硝酸还原酶及

收稿日期: 2016-10-22 修回日期: 2016-12-07
基金项目: 国家支撑计划项目(2015BAC05B00); 四川省科技支撑计划项目(2014SZ0057); 川西北高寒草地沙化防治新模式的研究与示范(2014SZ0159)
作者简介: 舒向阳(1991—), 男, 四川广安人, 硕士, 研究方向为草地退化与生态修复。E-mail: 18202809282@163.com。
通信作者: 胡玉福, 男, 教授, 主要从事土壤学研究。E-mail: huyufu@sicau.edu.cn。

精氨酸脱氨酶与土壤中氮转化有着密切关系^[7]。同时,硝态氮、铵态氮、微生物量氮及可溶性氮是植物氮素的主要来源,因此研究不同沙化程度土壤氮素及酶活性变化有助于深入了解土壤氮素的供应转化。

沙漠化引起的土壤生态环境破坏对全球干旱、半干旱及半湿润地区社会与环境构成了严重威胁。研究表明,沙漠化会加速地表植被多样性损失,同时会破坏土壤结构、降低土壤肥力,破坏土壤微生物生存环境^[8-9]。土壤氮素是植物生长过程中的主要养分来源,其含量会直接决定植物氮素的吸收状况,研究表明,沙化过程不仅会改变土壤氮储量,同时也会影响植物氮素含量^[10]。川西北高寒草地位于青藏高原东南缘半湿润地区,是我国长江、黄河两大水系的重要水源涵养地,也是全国五大牧区之一,同时也是全球最大的高原泥炭沼泽湿地,其对维护生态环境安全具有重要意义^[11-12]。20 世纪 70 年代以来,由于全球气候变化及人为因素的影响,川西北高寒草地面临严重的退化,草地沙化已严重威胁到该区域的社会经济发展,其生态环境屏障作用正在逐步弱化。统计数据表明,截止 2009 年川西北草地沙化面积达 82.19 万 hm^2 , 预计 2020 年川西北草地沙化面积将达到 95.38 万 hm^2 ^[13]。本文以川西北高寒沙化草地为研究对象,通过对不同沙化程度高寒草地不同土层土壤可溶性有机氮及酶活性的研究,以期揭示高寒草地沙化土壤氮素及酶活性变化特征,为深入理解高寒草地沙化土壤氮素变化及今后沙地修复工作提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

研究区位于四川阿坝藏族羌族自治州红原县境内,地理坐标 $\text{N}31^{\circ}51' - 33^{\circ}19'$, $\text{E}101^{\circ}51' - 103^{\circ}23'$, 地域分属长江、黄河两大水系。地势由东南向西北倾斜,海拔 3 210 ~ 4 857 m, 气候属大陆性高原寒温带季风气候,春秋短促、长冬无夏。年均降雨量 791.95 mm, 降雨主要集中在 5—10 月, 年均气温为 1.1°C , 最冷月平均气温 -10.3°C , 最热月平均气温 10.9°C , 极端最低气温 -36°C , 年均积雪期为 76 d, 无绝对的无霜期。日照充分, 太阳辐射强, 年均日照时间 2 158.7 h, 太阳辐射年总量为 $6\,194\text{ MJ}\cdot\text{m}^{-2}$ 。土地利用现状以草地为主, 也有较大面积的沼泽地和沙化地分布, 其中沙化土地总面积约为 $6\,915.4\text{ hm}^2$, 主要分布邛溪镇和瓦切乡境内。土壤类型以亚高山草甸土为主, 高山寒漠土、沼泽化草甸土、岩成土和风沙土等也均匀分布。植被以沙生薹草 (*Carex*

praeclara), 垂穗披碱草 (*Elymus sibiricus*), 华扁穗草 (*Blysmus sinocompressus*), 线叶蒿草 (*Kobresia capillifolia*), 赖草 (*Leymus secalinus*), 淡黄香青 (*Anaphalis flavescens*), 黑穗薹草 (*Carex atrata*), 木里薹草 (*Carex muliensis*), 细叶亚菊 (*Ajania tenuifolia*) 等为主, 植被组合以亚高山草甸为主, 沼泽草甸与沼泽植被较为旺盛, 植物群落外貌鲜艳, 富有季相变化。

1.2 土壤样品采集

本研究于 2014 年在红原县沙化草地分布较多且集中的瓦切乡选择采样点。本文选择不同沙化程度的草地为研究样地, 分别为: 未沙化草地 (NDG, non-desertification grassland)、轻度沙化草地 (LDG, light-desertification grassland)、中度沙化草地 (MDG, medium-desertification grassland) 和严重沙化草地 (HDG, heavy-desertification grassland), 详见表 1。4 种沙化类型草地均选择 3 处地形和土壤母质一致的样地作为重复, 各样地内选取 1 个面积大小为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ 的样方用于植被信息调查和土壤样品采集, 在选定样方内分别采集 0 ~ 20 cm、20 ~ 40 cm 和 40 ~ 60 cm 土壤样品, 去除杂物及植物根系、凋落物等。土壤样品分为两份, 一份土样冷藏于 4°C 冰箱, 用于测定微生物数量及微生物量碳、氮, 另一份土样于室内风干后, 保存于密封袋内, 用于硝态氮和铵态氮的测定。

1.3 测定方法

土壤脲酶根据 Tabatabai 方法测定^[14]; 土壤蛋白酶采用福林比色法^[15]; 土壤硝酸还原酶活性采用 Kandeler 比色法测定^[16]; 土壤精氨酸脱氨酶采用 Kandeler 比色法测定^[16]; 土壤可溶性有机氮为溶解性全氮与无机氮的差值。

1.4 数据处理

采用 Excel 2013 进行数据预处理与图表绘制, 采用 SPSS19.0 软件进行单因素方差分析 (One-way ANOVA) 及 Pearson 线性相关系数分析指标相关性。

2 结果与分析

2.1 不同沙化程度草地土壤脲酶变化特征

研究结果表明, 不同沙化程度草地土壤脲酶存在显著差异 ($P < 0.05$) (表 2)。其中, 相较于未沙化草地, 轻度沙化、中度沙化和重度沙化草地土壤脲酶活性分别降低了 57.14%、64.28% 和 73.21%。在 0 ~ 20 cm 土层, 土壤脲酶下降程度尤为明显, 相较于未沙化草地, 轻度、中度和重度沙化草地土壤脲酶分别下降了 13.51%、29.73% 和 40.54%。在土层剖面上, 随土层深度增加, 土壤脲酶活性不断降低。

表 1 草地样方信息

Table 1 Sampling of desertification grassland quadrat

编号 Number	沙化程度 Desertification degree	地理位置 Position			植物群落特征 Community	沙化现状 Desertification condition
1	未沙化 Non-desertification grassland	E102°37′04.36″	N33°10′55.23″	海拔 3458 m	平均植被盖度达 90% 以上,平均高度约 25 cm,物种丰富度最高,达 21 ~ 28 种。 Community coverage > 90%, average height > 25 cm, richness range from 21 to 28.	无沙化现象,表层枯枝落叶较多。 Non-desertification, surface soil has many litter.
2		E102°37′04.36″	N33°10′55.23″	Altitude 3458 m		
3		E102°37′06.68″	N33°10′54.74″	海拔 3458 m		
4		E102°37′04.36″	N33°10′55.23″	Altitude 3458 m		
5	轻度沙化 Light-desertification grassland	E102°35′44.01″	N33°15′41.59″	海拔 3458m	平均植被盖度为 60% ~ 75%; 平均高度约 20 cm,物种丰富度较高,为 18 ~ 22 种。 Community coverage range from 60% to 75%, average height about 20 cm, richness range from 18 to 22.	无明显沙化现象,表层枯枝落叶明显减少,部分土壤裸露。 No obvious desertification phenomenon, surface litter significantly reduced, and soil bared.
6		E102°35′44.01″	N33°15′41.59″	Altitude 3458 m		
7		E102°37′06.44″	N33°10′55.12″	海拔 3458 m		
8		E102°37′06.44″	N33°10′55.12″	Altitude 3458 m		
9	中度沙化 Medium-desertification grassland	E102°37′07.84″	N33°10′55.04″	海拔 3458 m	平均植被盖度为 40% ~ 50%, 平均高度约 15 cm,物种丰富度相对较高,为 14 ~ 17 种。 Community coverage range from 40% to 50%, average height about 15 cm, richness range from 14 to 17.	沙化明显,表层枯枝落叶明显减少,形成典型的露沙草地。 Desertification is obvious, the surface litter significantly reduced and formed typical desertification grassland.
10		E102°37′07.84″	N33°10′55.04″	Altitude 3458 m		
11		E102°35′54.01″	N33°10′41.59″	海拔 3458 m		
12		E102°35′54.01″	N33°10′41.59″	Altitude 3458 m		
13	重度沙化 Heavy-desertification grassland	E102°37′08.21″	N33°10′54.65″	海拔 3458 m	平均植被盖度为 20% ~ 35%, 平均高度约为 10 cm,物种丰富度较低,为 9 ~ 13 种。 Community coverage range from 20% to 35%, average height about 10 cm, richness range from 9 to 13.	沙化严重,表层沙粒大量增加,枯枝落叶数量极少。 Severe desertification, coarse sand increased, and litter significantly decreased.
14		E102°37′08.21″	N33°10′54.65″	Altitude 3458 m		
15		E102°37′07.19″	N33°10′50.46″	海拔 3457 m		
16		E102°37′07.19″	N33°10′50.46″	Altitude 3457 m		
17		E102°36′04.34″	N33°11′12.88″	海拔 3459 m		
18		E102°36′04.34″	N33°11′12.88″	Altitude 3459 m		
19		E102°37′09.63″	N33°10′54.59″	海拔 3458 m		
20		E102°37′09.63″	N33°10′54.59″	Altitude 3458 m		
21		E102°38′07.44″	N33°10′50.13″	海拔 3459 m		
22		E102°38′07.44″	N33°10′50.13″	Altitude 3459 m		
23		E102°35′58.59″	N33°11′10.14″	海拔 3459 m		
24		E102°35′58.59″	N33°11′10.14″	Altitude 3459 m		

表 2 不同程度沙化草地土壤脲酶活性/(g·kg⁻¹·2h⁻¹)

Table 2 Activities of soil urease in different degree of desertification grasslands

土层 Soil depth/cm	未沙化草地 Non-desertification grassland	轻度沙化草地 Light-desertification grassland	中度沙化草地 Medium-desertification grassland	重度沙化草地 Heavy-desertification grassland
0 ~ 20	0.37 ± 0.01a	0.32 ± 0.03b	0.26 ± 0.02c	0.22 ± 0.01d
20 ~ 40	0.28 ± 0.02a	0.24 ± 0.02b	0.21 ± 0.04c	0.16 ± 0.01d
40 ~ 60	0.18 ± 0.01a	0.16 ± 0.01a	0.14 ± 0.01b	0.09 ± 0.01c
均值 Average	0.56	0.24	0.20	0.15

注:不同小写字母代表不同处理间差异显著水平达到 $P < 0.05$ 。

Note; different lowercases letters indicate significant differences at the $P < 0.05$ level.

2.2 不同沙化程度草地土壤蛋白酶变化特征

由表 3 可知,草地沙化导致 0 ~ 60 cm 土壤蛋白酶呈现大幅下降的趋势,不同沙化草地土壤蛋白酶活性差异显著($P < 0.05$),其中,未沙化草地蛋白酶活性最高可达 $0.88\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$;相较于未沙化草地,轻度沙化、中度沙化和重度沙化草地土壤蛋白酶分别下降了 5.19%、19.48% 和 33.77%。在 0 ~ 20 cm 土层,土壤蛋白酶活性下降幅度尤为明显,随沙化程度增加,蛋白酶活性呈下降趋势,相较于未沙化草地,重度沙化草地降低幅度达 30.68%。随土层深度增加,各沙化草地土壤蛋白酶活性不断

降低。

2.3 不同沙化程度草地土壤硝酸还原酶变化特征

由表 4 可知,相较于未沙化草地,重度沙化 0 ~ 60 cm 土壤硝酸还原酶含量下降了 37.11%,随沙化程度增加,土壤硝酸还原酶活性呈显著降低趋势($P < 0.05$)。其中,在 0 ~ 20 cm 土层,相较于未沙化草地,轻度沙化、中度沙化和重度沙化草地土壤硝酸还原酶活性分别降低了 14.29%、27.82% 和 39.85%。随土层深度增加,土壤硝酸还原酶活性呈不断降低趋势。

表 3 不同程度沙化草地土壤蛋白酶活性/(mg·g⁻¹·h⁻¹)

Table 3 Activities of soil protease in different degree of desertification grasslands

土层 Soil depth/cm	未沙化草地 Non-desertification grassland	轻度沙化草地 Light-desertification grassland	中度沙化草地 Medium-desertification grassland	重度沙化草地 Heavy-desertification grassland
0 ~ 20	0.88 ± 0.02a	0.85 ± 0.01a	0.72 ± 0.02b	0.61 ± 0.01c
20 ~ 40	0.78 ± 0.01a	0.74 ± 0.01b	0.63 ± 0.01c	0.52 ± 0.01d
40 ~ 60	0.64 ± 0.02a	0.61 ± 0.03a	0.52 ± 0.01b	0.41 ± 0.04c
均值 Average	0.77	0.73	0.62	0.51

表 4 不同程度沙化草地土壤硝酸还原酶活性/(μg·g⁻¹·24h⁻¹)

Table 4 Activities of soil nitrate reductase in different degree of desertification grasslands

土层 Soil depth/cm	未沙化草地 Non-desertification grassland	轻度沙化草地 Light-desertification grassland	中度沙化草地 Medium-desertification grassland	重度沙化草地 Heavy-desertification grassland
0 ~ 20	1.33 ± 0.04a	1.14 ± 0.04b	0.96 ± 0.01c	0.80 ± 0.04d
20 ~ 40	0.95 ± 0.05a	0.88 ± 0.04a	0.74 ± 0.04b	0.61 ± 0.01c
40 ~ 60	0.63 ± 0.02a	0.53 ± 0.04b	0.46 ± 0.02bc	0.41 ± 0.02c
均值 Average	0.97	0.85	0.72	0.61

2.4 不同沙化程度草地土壤精氨酸脱氨酶变化特征

由表 5 可知,草地沙化导致 0 ~ 60 cm 土壤精氨酸脱氨酶呈现大幅下降的趋势,不同沙化草地土壤精氨酸脱氨酶活性差异显著 ($P < 0.05$),其中,未沙化草地精氨酸脱氨酶活性最高可达 $0.25 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot 3\text{h}^{-1}$;相较于未沙化草地,轻度沙化、中度沙化和重度沙化草地土壤精氨酸脱氨酶分别下降了 15.79%、31.58%和 47.37%。在 0 ~ 20 cm 土层,土壤精氨酸脱氨酶活性下降幅度尤为明显,随沙化程度增加,精氨酸脱氨酶活性呈下降趋势,相较于未沙化草地,重度沙化草地降低幅度达 44.00%。随土层深度增加,各沙化草地土壤精氨酸脱氨酶活性不断降低。

2.5 不同沙化程度草地土壤可溶性有机氮变化特征

由表 6 可知,草地沙化导致 0 ~ 60 cm 土壤可溶性有机氮呈现大幅下降的趋势,不同沙化草地土壤可溶性有机氮含量差异显著 ($P < 0.05$),其中,未沙化草地可溶性有机氮含量最高可达 $20.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$;相较于未沙化草地,轻度沙化、中度沙化和重度沙化草地土壤可溶性有机氮含量分别下降了 22.36%、48.72%和 67.77%。在 0 ~ 20 cm 土层,土壤可溶性有机氮含量下降幅度尤为明显,随沙化程度增加,可溶性有机氮呈下降趋势,相较于未沙化草地,重度沙化草地降低幅度达 64.76%。随土层深度增加,各沙化草地土壤可溶性有机氮含量不断降低。

表 5 不同程度沙化草地土壤精氨酸脱氨酶活性/(μg·g⁻¹·3h⁻¹)

Table 5 Activities of soil arginine deaminase in different degree of desertification grasslands

土层 Soil depth/cm	未沙化草地 Non-desertification grassland	轻度沙化草地 Light-desertification grassland	中度沙化草地 Medium-desertification grassland	重度沙化草地 Heavy-desertification grassland
0 ~ 20	0.25 ± 0.01a	0.21 ± 0.03b	0.18 ± 0.02c	0.14 ± 0.01d
20 ~ 40	0.19 ± 0.02a	0.16 ± 0.02b	0.14 ± 0.04c	0.10 ± 0.01d
40 ~ 60	0.12 ± 0.01a	0.11 ± 0.01a	0.09 ± 0.01b	0.06 ± 0.01c
均值 Average	0.19	0.16	0.13	0.10

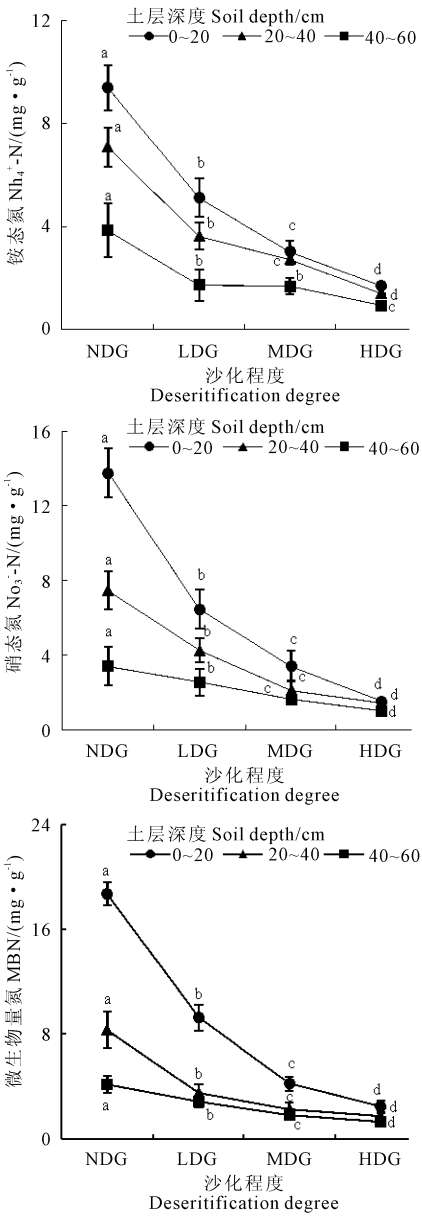
表 6 不同程度沙化草地土壤可溶性有机氮含量/(mg·kg⁻¹)

Table 6 Contents of soil dissolved organic nitrogen in different degree of desertification grasslands

土层 Soil depth/cm	未沙化草地 Non-desertification grassland	轻度沙化草地 Light-desertification grassland	中度沙化草地 Medium-desertification grassland	重度沙化草地 Heavy-desertification grassland
0 ~ 20	20.6 ± 1.23a	14.98 ± 0.76b	10.13 ± 0.47c	7.26 ± 0.17d
20 ~ 40	8.48 ± 0.78a	8.24 ± 0.58b	5.31 ± 0.32c	3.05 ± 0.24d
40 ~ 60	6.19 ± 0.89a	4.18 ± 0.84a	2.64 ± 0.86b	1.07 ± 0.35c
均值 Average	11.76	9.13	6.03	3.79

2.6 不同沙化程度草地土壤微生物量氮、铵态氮及硝态氮变化特征

由图 1 可知,草地沙化导致 0~60 cm 土壤微生物量氮、铵态氮及硝态氮呈现大幅下降的趋势,不同沙化草地土壤可溶性有机氮含量差异显著 ($P < 0.05$)。在 0~20 cm 土层,土壤微生物量氮、铵态氮及硝态氮含量下降幅度尤为明显。



注 Note: NDG—未沙化 non-desertification; LDG—轻度沙化 light-desertification; MDG—中度沙化 medium-desertification; HDG—严重沙化 heavy-desertification.

图 1 不同程度沙化草地土壤微生物量氮、铵态氮及硝态氮含量
Fig.1 Contents of soil microbial biomass nitrogen(MBN), $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ and $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in different degree of desertification grasslands

2.7 土壤氮素与酶活性相关性分析

相关分析结果表明,蛋白酶、脲酶、硝酸还原酶和

精氨酸脱氨酶与铵态氮、硝态氮、微生物量氮和可溶性有机氮均呈极显著正相关 ($P < 0.05$) (表 7)。其中,硝酸还原酶与铵态氮、硝态氮、微生物量氮和可溶性有机氮的相关系数最高,分别达到 0.868、0.850、0.789 和 0.701,铵态氮与蛋白酶、脲酶、硝酸还原酶、精氨酸脱氨酶相关系数分别达 0.737、0.841、0.868 和 0.838,表明土壤氮素与酶活性密切相关。

表 7 土壤氮素与酶活性相关分析
Table 7 Correlation analysis of soil nitrogen and enzyme activities

项目 Item	铵态氮 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$	硝态氮 $\text{NO}_3^- - \text{N}$	微生物量氮 Microbial biomass nitrogen	可溶性有机氮 Dissolved organic nitrogen
蛋白酶 Protease	0.737 **	0.720 **	0.640 **	0.578 **
脲酶 Urease	0.841 **	0.815 **	0.749 **	0.676 **
硝酸还原酶 Nitrate reductase	0.868 **	0.850 **	0.789 **	0.701 **
精氨酸脱氨酶 Arginine deaminase	0.838 **	0.823 **	0.751 **	0.691 **

注: ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。
Note: **, significant correlation at $P < 0.01$.

3 讨论

研究结果表明,草地沙化会加速地表植被多样性降低和土壤理化性质破坏,引起土壤生产潜力损失,进而破坏草地生态系统平衡^[17-20]。尤全刚等^[21]研究表明,高寒草甸草地退化不仅会导致草地植被群落特征改变,同时会改变土壤水热条件,如降低土壤持水量、饱和电导率及增加导热率,进而加速地表水热交换。贺风鹏等^[22]研究温带草地退化土壤剖面微生物学特征表明,土壤表层微生物生物量及酶活性均随退化程度加剧而不断降低,在 0~10 cm 表层差异尤为明显。本文研究结果表明,随着沙化程度加剧,川西北草地地表植被高度、盖度及物种丰富度大幅度下降,同时土壤表层枯枝落叶也大幅下降;在土壤微生物特性方面,草地沙化会导致氮素相关的脲酶、蛋白酶、硝酸还原酶和精氨酸脱氨酶活性显著降低,在 0~20 cm 土层影响尤为明显。而随土层深度增加,土壤酶活性逐步降低。其原因主要是由于草地沙化过程中地表植被破坏及土壤微生物生存环境日趋恶化^[23],而土壤酶主要来源于植被和土壤微生物分泌释放,进而使得土壤酶活性受到影响。

本文研究同时表明,草地沙化将会导致土壤可溶性有机氮含量不断降低。以往研究认为植物生长中主要以吸收土壤无机氮为主,而今诸多研究表明土壤可溶性有机氮也是植物生长吸收的主要氮素来源^[24-25],同时研究表明地表植被生物多样性与可

溶性有机氮有着密切关系^[26-27]。张玉霞等^[28]研究表明,草地在不同干扰生境下土壤铵态氮和硝态氮含量变化与植被地上生物量呈显著正相关。王文颖等^[29]研究高寒人工草地土壤可溶性有机氮和无机氮结果表明,退化草地中土壤硝态氮和可溶性有机氮占优势,且在高寒区人工草地中土壤可溶性有机氮是植物可利用氮的重要组成部分。

4 结 论

川西北高寒草地退化过程中,草地生态系统中的氮素相关酶活性以及可溶性有机氮会发生相应变化。本文研究表明,土壤脲酶、蛋白酶、硝酸还原酶及精氨酸脱氨酶活性均随沙化加剧而显著降低;土壤可溶性有机氮含量也大幅下降;土壤氮素相关酶与土壤无机氮和溶解性有机氮呈极显著正相关,其中,铵态氮与氮素相关酶活性相关系数最大,硝酸还原酶与土壤氮素相关系数最高。综上可见,在沙化草地修复过程中,应添加氮肥以提高土壤氮素含量。

参 考 文 献:

- [1] Mueller K E, Hobbie S E, Tilman D, et al. Effects of plant diversity, N fertilization, and elevated carbon dioxide on grassland soil N cycling in a long-term experiment[J]. *Global Change Biology*, 2013, 19(4): 1249-1261.
- [2] Ceulemans T, Merckx R, Hens M, et al. Plant species loss from European semi-natural grasslands following nutrient enrichment-is it nitrogen or is it phosphorus? [J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2013, 22(1): 73-82.
- [3] Hasselquist N J, Metcalfe D B, Marshall J D, et al. Seasonality and nitrogen supply modify carbon partitioning in understory vegetation of a boreal coniferous forest[J]. *Ecology*, 2016, 97(3): 671-683.
- [4] Jiang L, Wang S P, Luo C Y, et al. Effects of warming and grazing on dissolved organic nitrogen in a Tibetan alpine meadow ecosystem[J]. *Soil and Tillage Research*, 2016, 158: 156-164.
- [5] 林 丽,李以康,崔 莹,等.青藏高原典型植被土壤溶解性氮与植物量相关性分析[J]. *山地学报*, 2012, 30(6): 721-727.
- [6] Burns R G, DeForest J L, Marxsen J, et al. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, 58(3): 216-234.
- [7] Garcla-Gil J C, Plaza C, Soler-Rovira P, et al. Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(13): 1907-1913.
- [8] Tang Z S, An H, Shanguan Z P. The impact of desertification on carbon and nitrogen storage in the desert steppe ecosystem[J]. *Ecological Engineering*, 2015, 84(11): 92-99.
- [9] Allington G R H, Valone T J. Reversal of desertification: the role of physical and chemical soil properties[J]. *Journal of Arid Environments*, 2010, 74(8): 973-977.
- [10] Zhao H L, He Y H, Zhou R L, et al. Effects of desertification on soil organic C and N content in sandy farmland and grassland of Inner

- Mongolia[J]. *Catena*, 2009, 77(3): 187-191.
- [11] Xiang S, Guo R Q, Wu N, et al. Current status and future prospects of Zoige Marsh in eastern Qinghai-Tibet Plateau[J]. *Ecological Engineering*, 2009, 35(4): 553-562.
- [12] Li J C, Wang W L, Hu G Y, et al. Changes in ecosystem service values in Zoige Plateau, China[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2010, 139(4): 766-770.
- [13] 石承苍,涂军.近 40 年四川省若尔盖高原土地荒漠化遥感监测研究[J]. *西南农业学报*, 2009, 22(6): 1662-1664.
- [14] Tabatabai M A. *Soil Enzymes. Methods of Soil Analysis: Part 2 - microbiological and Biochemical Properties*[M]. Madison, WI, USA: Soil Science Society of America, 1982: 775-833.
- [15] Ladd J N, Butler J H A. Short-term assays of soil proteolytic enzyme activities using proteins and dipeptide derivatives as substrates[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1972, 4(1): 19-30.
- [16] Kandeler E. *Methods in Soil Biology*[C]//Schinner F, Ohlinger R, Kandeler E, et al. *Book Methods in Soil Biology*. New York: Springer - Verlag, Heidelberg, 1996: 168-170.
- [17] Li F R, Zhao W Z, Liu J L, et al. Degraded vegetation and wind erosion influence soil carbon, nitrogen and phosphorus accumulation in sandy grasslands[J]. *Plant and Soil*, 2009, 317(1-2): 79-92.
- [18] Martinez - Mena M, Rogel J A, Castillo V, et al. Organic carbon and nitrogen losses influenced by vegetation removal in a semiarid mediterranean soil[J]. *Biogeochemistry*, 2002, 61(3): 309-321.
- [19] Zuo X A, Zhao H L, Zhao X Y, et al. Vegetation pattern variation, soil degradation and their relationship along a grassland desertification gradient in Horqin Sandy Land, northern China[J]. *Environmental geology*, 2009, 58(6): 1227-1237.
- [20] 秦嘉海,张 勇,赵芸晨,等.祁连山黑河上游不同退化草地土壤理化性质及养分和酶活性的变化规律[J]. *冰川冻土*, 2014, 36(2): 335-346.
- [21] 尤全刚,薛 娴,彭 飞,等.高寒甸草地退化对土壤水热性质的影响及其环境效应[J]. *中国沙漠*, 2015, (5): 1183-1192.
- [22] 贺凤鹏,曾文静,王墨迪,等.温带草原退化对土壤剖面微生物学特征的影响[J]. *微生物学通报*, 2016, 43(3): 702-711.
- [23] 舒向阳,胡玉福,蒋双龙,等.川西北沙化草地植被群落,土壤有机碳及微生物特征[J]. *草业学报*, 2016, 25(4): 45-54.
- [24] Alexandre A, Balesdent J, Cazeville P, et al. Direct uptake of organic carbon by grass roots and allocation in leaves and phytoliths: ¹³C labeling evidence [J]. *Biogeosciences Discussions*, 2015, 12(23): 19751-19780.
- [25] Moran - Zuloaga D, Dippold M, Glaser B, et al. Organic nitrogen uptake by plants: reevaluation by position - specific labeling of amino acids[J]. *Biogeochemistry*, 2015, 125(3): 359-374.
- [26] Van Kessel C, Clough T, van Groenigen J W. Dissolved organic nitrogen: an overlooked pathway of nitrogen loss from agricultural systems? [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2009, 38(2): 393-401.
- [27] Oelmann Y, Wilcke W, Temperton V M, et al. Soil and plant nitrogen pools as related to plant diversity in an experimental grassland[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2007, 71(3): 720-729.
- [28] 张玉霞,姚 拓,王国基,等.高寒生态脆弱区不同扰动生境草地植被及土壤无机氮变化特征[J]. *草业学报*, 2014, 23(4): 245-252.
- [29] 王文颖,李文全,周华坤,等.高寒人工草地土壤可溶性有机氮库和无机氮库动态变化[J]. *生态环境学报*, 2016(1): 30-35.