

秸秆颗粒改良剂对川西北高寒沙地土壤氮素和黑麦草生长的影响

刘晓林¹, 陈伟¹, 吴雅薇¹, 王兴龙¹, 李强², 李鑫¹, 袁继超¹, 孔凡磊¹

(1. 四川农业大学农学院, 农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 成都 611130;

2. 重庆经济植物生物技术重点实验室, 重庆市特种植物协调创新中心, 重庆文理学院特色植物研究院, 重庆 402160)

摘要: 为探明秸秆颗粒改良剂对川西北高寒沙地土壤氮素和黑麦草生长的影响, 以农业废弃物(秸秆)为主要原料, 复合聚丙烯酰胺、微生物菌剂和氮磷钾肥, 加工成秸秆颗粒改良剂, 设4个施用量水平(6, 12, 18, 24 t/hm²), 以空白对照(CK0)和当地常规牦牛粪处理(CK1)为对照。结果表明: 与CK0相比, 秸秆颗粒改良剂和CK1均能显著增加土壤全氮、全氮密度、全氮储量和硝态氮含量, 增加黑麦草株高、总根长、总根表面积、总根体积、平均根系直径和单株干重($p < 0.05$), 达到增加土壤氮素含量和促进黑麦草生长的效果。与CK1相比, 秸秆颗粒改良剂处理的平均全氮含量、全氮密度、全氮储量和硝态氮含量分别增加了12.50%, 22.73%, 20.90%和344.56%, 黑麦草地上和地下部平均单株干重分别增加了57.50%和66.86%。增施秸秆颗粒改良剂可有效增加土壤氮素含量, 黑麦草各生长指标也随改良剂施用量增加呈逐渐增加的趋势。施用量超过18 t/hm²时, 0—10 cm土层的全氮、全氮密度、全氮储量和黑麦草各生长指标差异不显著。土壤氮素指标与黑麦草单株干重存在正相关关系, 其中土壤全氮、全氮储量与黑麦草单株干重的相关性最高($r \geq 0.90^{**}$)。随改良剂施用量增加, 外源养分淋溶率呈先降低后升高的趋势, 在18 t/hm²处有最小值。综合考虑土壤氮素含量、外源养分淋溶率和黑麦草生长的变化, 秸秆颗粒改良剂以18 t/hm²为川西北沙地土壤改良的最佳施用量。

关键词: 秸秆改良剂; 川西北; 高寒沙地; 土壤氮素; 黑麦草

中图分类号: S156

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2018)06-0229-06

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2018.06.033

Effect of Granulated Straw Amendment on Soil Nitrogen and the Growth of Ryegrass in the Alpine Sandy Land of Northwest Sichuan

LIU Xiaolin¹, CHEN Wei¹, WU Yawei¹, WANG Xinglong¹,

LI Qiang², LI Xin¹, YUAN Jichao¹, KONG Fanlei¹

(1. College of Agronomy, Sichuan Agricultural University, Key Laboratory of Crop Eco-physiology and Farming System in Southwest China, Chengdu 611130; 2. Chongqing Key Laboratory of Economic Plant Biotechnology, Collaborative Innovation Center of Special Plant Industry in Chongqing, Institute of Special Plants, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402160)

Abstract: Soil desertification is one of the most serious environmental problems in the world. Soil fertilization and vegetation restoration are the key links in desertification governance. As a agricultural waste, crop straw still retains rich organic matter and nitrogen, phosphorus and potassium nutrients, and is a natural organic amendment. Granulation of straw can significantly improve straw returning and improve soil fertility. Using agricultural waste (straw) as the main raw material, adding polyacrylamide, microbial agents and NPK fertilizers, and processing them into granulated straw amendment (GSA). In order to investigate the effects of GSA on soil fertilization and vegetation growth in the alpine sandy land of Northwest Sichuan, a field experiment with blank control (CK0), local conventional yak dung treatment (CK1) and four application levels of GSA (6, 12, 18, and 24 t/hm²) were conducted. The results showed that compared with CK0, both GSA and CK1 significantly increased soil total nitrogen, total nitrogen density, total nitrogen storage and nitrate nitrogen content. GSA and CK1 also increased the plant height, total root length, total root surface, average root diameter, root volume and dry weight of single plant (DWSP) of ryegrass ($p < 0.05$). The application of GSA and CK1 increased the soil nitrogen content and promoted the growth of ryegrass. The

收稿日期: 2018-06-24

资助项目: 国家科技支撑计划项目(2015BAC05B05)

第一作者: 刘晓林(1993—), 男, 硕士研究生, 主要从事沙化土壤改良研究。E-mail: 363338367@qq.com

通信作者: 孔凡磊(1985—), 男, 博士, 副教授, 主要从事农作制度与作物生理生态、沙化土壤改良研究。E-mail: kflstar@163.com

effect of GSA on the nitrogen content of sandy soil and the growth of ryegrass was better than that of CK1. Compared with CK1, the average of total nitrogen content, total nitrogen density, total nitrogen storage and nitrate nitrogen content increased respectively by 12. 50%, 22. 73%, 20. 90% and 344. 56% under the treatment of GSA. The average of shoot and root DWSP of ryegrass also increased respectively by 57. 50% and 66. 86%, when compared to CK1. Increasing the application rate of GSA can effectively increase soil nitrogen content and the growth indexes of ryegrass also increases gradually. When the application rate exceeds 18 t/hm², the total nitrogen content, total nitrogen density and total nitrogen storage in the 0—10 cm layer, and the growth indexes of ryegrass are not significantly different. There was a significant correlation between soil nitrogen and DWSP of ryegrass, and the correlation between soil total nitrogen and total nitrogen and DWSP of ryegrass was the highest ($r \geq 0.90^{**}$). The leaching rate of exogenous nutrients decreased at first and then increased with increasing the application rate of GSA, with a minimum at 18 t/hm². Considering the changes of soil nitrogen content, exogenous nutrient leaching rate and growth of ryegrass, the optimum application rate of GSA in sandy soil of northwest Sichuan is 18 t/hm².

Keywords: straw amendment; northwest Sichuan; alpine sandy land; soil nitrogen; ryegrass

川西北高寒草原位于四川省西北部,是我国 5 大牧区之一,也是我国长江、黄河的主要源头地,还是全球最大的高原泥炭沼泽湿地,对我国乃至全球生态安全有着极其重要的作用^[1-2]。草地沙化是草地生态系统退化、土壤沙化和荒漠化的主要表现形式之一,草地沙化会使土壤养分流失、结构破坏、沙粒含量增加^[3-4]。川西北沙化主要指四川甘孜、阿坝两州的沙化,是我国大西北沙化的组成部分,主要呈斑块状和带状分布,尚未形成大面积连片沙化^[5]。特殊的高原高寒地理环境、气候条件以及过度的人为因素使得川西北地区形成了典型的高寒沙地^[6]。据统计,截至 2009 年川西北沙化土地面积已达 82. 19 万 hm²,占四川省沙化土地面积的 89. 9%,截至 2014 年达 79. 7 万 hm²,占四川省沙化土地总面积的 92. 3%^[7-8]。与 2009 年相比,川西北的沙化土地面积仅减少了 3. 03%,加强沙化土地治理,改良沙化土地,防止沙化土地继续退化迫在眉睫。施用土壤改良剂可有效改善土壤理化性状^[9-10],提升土壤肥力^[11],增加土壤微生物活性^[12],促进地上部植株生长^[13],最终达到土壤培肥、抗旱保水、增产增收的效果。我国是农业生产大国,作物秸秆资源丰富,每年产生的秸秆总量不少于 7 亿 t^[14]。秸秆作为农业生产的废弃物,还残留着丰富的有机碳和氮磷钾养分。将秸秆作为土壤改良剂施入土壤,不仅可以避免直接废弃或焚烧造成的环境污染和生物质资源浪费,还可快速增加土壤中的有机碳含量、改善土壤的理化性质、增强土壤保水保肥能力^[15-16]。目前,川西北沙化土壤的研究主要集中在沙化成因、沙化现状以及围封禁牧、植树造林等生态修复措施方面^[2, 4-7],未见应用农业废弃物改良该区域沙化土壤方面的研究。本研究针对川西北沙化土壤肥力贫瘠、漏水漏肥严重等特点,以农业废弃物(秸秆)为主要原料,添加聚丙烯酰胺、微生物菌剂和氮磷

钾肥,加工成秸秆颗粒改良剂,研究秸秆颗粒改良剂对川西北沙地土壤氮素和黑麦草生长的影响,旨在为川西北沙化土壤培肥、农业废弃物资源化利用和沙化土壤植被恢复提供理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在四川省阿坝州红原县瓦切镇(31°50′—33°22′N,101°51′—103°23′E),供试土壤为风沙土,基本理化性状见表 1。试验地为大陆性高原寒温带季风气候,全镇平均海拔 3 500 m 以上,年平均气温 1. 4℃,多年平均降水量 749. 1 mm,80%集中在 5—9 月,红原 2017 年气象数据见图 1。

表 1 供试风沙土化学性状

土层 深度/cm	全氮/ (g·kg ⁻¹)	硝态氮/ (mg·kg ⁻¹)	有效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有机碳/ (g·kg ⁻¹)
0—10	0.13	4.24	7.30	35.47	1.23
10—20	0.11	3.39	5.27	48.43	1.21
20—30	0.10	2.58	4.17	39.34	0.99

1.2 供试材料

供试改良剂以秸秆为主要原料,复合生物菌(0.2%)、聚丙烯酰胺(0.3%)、尿素(1.3%)、过磷酸钙(5.0%)和硫酸钾(2.4%),通过造粒机加工成颗粒化土壤改良剂(粒径 5 mm,长度 2—3 cm)。供试秸秆为玉米秸秆,采自四川农业大学农场试验田,秸秆风干后粉碎至长度/粒径<2 mm;供试生物菌、尿素(含氮量 46%)、硫酸钾(K₂O 含量 50%)、过磷酸钙(P₂O₅ 含量 12%)由成都盖尔盖司生物科技有限公司提供;聚丙烯酰胺(阴离子型,分子量 2 600 万)由山东宝莫生物化工股份有限公司提供;供试黑麦草品种为“特高”一年生黑麦草;供试牦牛粪由当地牧民提供,风干后过 5 mm 筛备用。

秸秆颗粒改良剂和当地牦牛粪的养分含量见表 2。

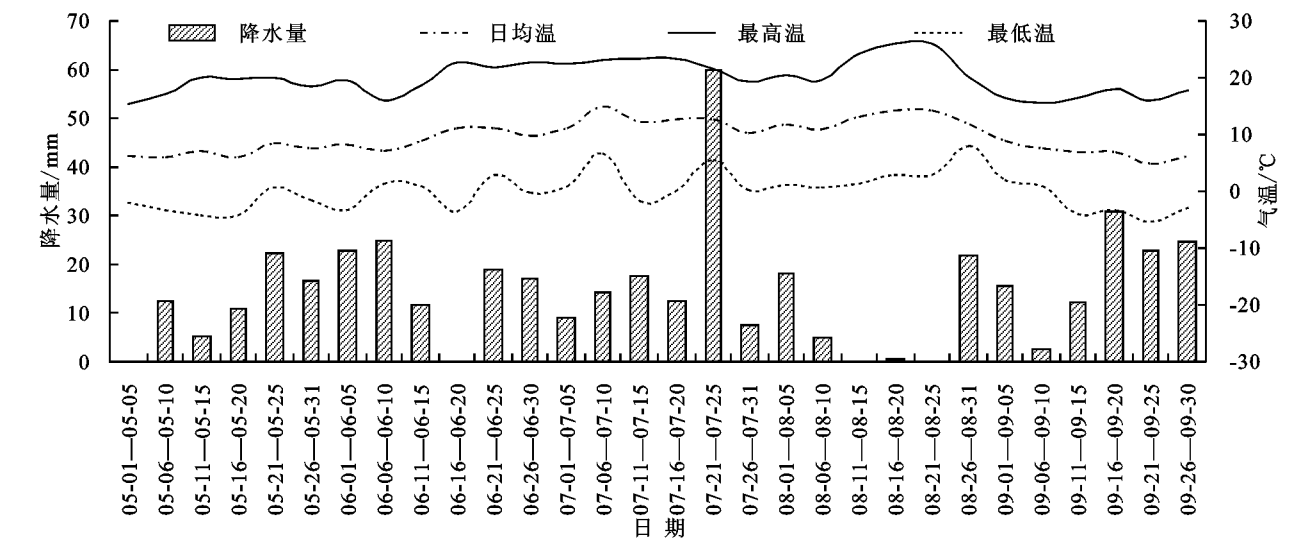


图 1 2017 年黑麦草生长期间(5—9 月)红原县的降水量和气温

表 2 改良剂养分含量 单位:g/kg				
改良剂类型	全氮	全磷	全钾	有机碳
秸秆	16.92	5.36	10.77	262.99
牦牛粪	14.53	4.78	14.68	219.43

1.3 试验设计

采用随机区组试验设计,设 6(T1),12(T2),18(T3),24 t/hm²(T4)4 个施用量水平,空白(CK0)、当地常规牦牛粪处理(CK1)2 个对照试验,CK1 施用量为 20 t/hm²,共 6 个处理,重复 3 次,小区间用 PVC 板隔断,小区面积 6 m²(长 3 m、宽 2 m)。小区内条播种植黑麦草,行距 20 cm,用种量 75 kg/hm²。于 2017 年 5 月中旬播种,同年 9 月收获。土壤改良剂全部一次基施,与 0—10 cm 土层混合均匀,田间栽培管理措施一致。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 植株指标 9 月上旬在每个小区中间部位选取整齐均匀、有代表性的 50 cm 样点,在样点内选取 20 株黑麦草,用铁铲将黑麦草连根带泥铲出,带回室内测定株高、根系形态和单株干重。将黑麦草洗净后用米尺测量株高,用 WinRHIZO 根系数据分析软件,分析黑麦草根系总根长、总表面积、平均直径和根体积。测定完毕后将黑麦草按地上地下部分开装入牛皮纸袋中,于 105 ℃下杀青 30 min,后于 70 ℃下烘干至恒重,称取干重。

1.4.2 土壤氮指标 土壤采集:用土钻分层(0—10, 10—20,20—30,30—40,40—50,50—60 cm)取样,小区内按“S”形曲线多点采集,经自然风干后过筛(≤0.25 mm)用于土壤养分指标的测定。

指标测定:参照鲍士旦主编《土壤农化分析》^[17]进行测定。土壤容重采用环刀法,土壤全氮采用半微量开氏法,土壤硝态氮采用紫外分光光度法。

全氮密度(kg/m²)=土壤容重(g/cm³)×土层厚度(cm)×全氮含量(g/kg)/100

全氮储量(kg)=全氮密度(kg/m²)×面积(m²)
外源养分淋溶率(%)=(T_{下层} - CK_{下层})/(T_{上层} - CK_{上层})×100%。式中:T 为试验处理;CK 为空白对照。以 0—30 cm 为土壤上层,30—60 cm 为土壤下层计算外源养分淋溶率。

1.5 数据分析

运用 Excel 2010 软件进行数据处理与作图,SPSS 19.0 软件进行数据统计与分析,多重比较采用 LSD 法。

2 结果与分析

2.1 秸秆颗粒改良剂对川西北高寒沙地土壤氮素的影响

2.1.1 土壤全氮 由图 2 可知,土壤全氮含量随土层深度增加呈先降低后升高的趋势,秸秆颗粒改良剂和 CK1 均显著增加了 0—30 cm 土壤全氮含量($p<0.05$),0—30 cm 土壤全氮含量表现为 T4>T3>T2>CK1>T1>CK0,40—60 cm 土壤全氮含量处理间差异不显著。与 CK0 相比,CK1 处理 0—30 cm 土壤全氮含量平均增加了 24.53%;秸秆颗粒改良剂处理 0—30 cm 土壤全氮含量平均增加了 48.11%。0—40 cm 土壤全氮含量随改良剂施用量增加而显著增加($p<0.05$),均在 T4 处理下有最大值,与 T1 相比增加了 47.44%,其中 T3 与 T4 处理 0—10,30—40 cm 土壤全氮含量差异不显著。

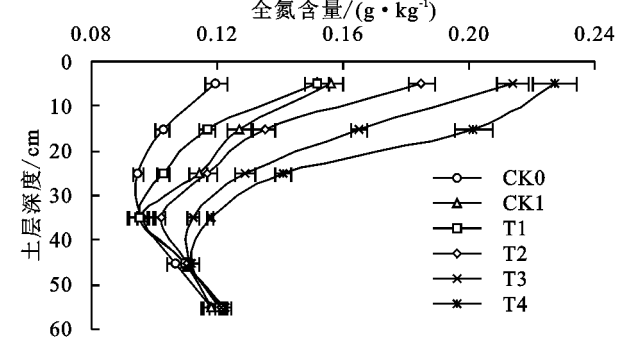
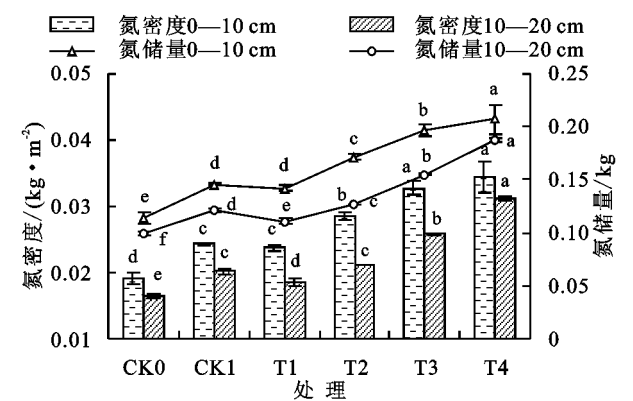


图 2 不同处理下土壤全氮含量

2.1.2 土壤全氮密度和全氮储量 秸秆颗粒改良剂和牦牛粪显著增加了 0—20 cm 土壤全氮密度和氮储量($p<0.05$),0—20 cm 土壤全氮密度和氮储量均表现为 $T4>T3>T2>CK1>T1>CK0$ 。与 CK0 相比,CK1 处理 0—20 cm 土壤全氮密度和氮储量分别增加了 22.22%和 25.23%;秸秆颗粒处理 0—20 cm 土壤全氮密度和氮储量分别增加了 50.00%和 51.40%(图 3)。与 CK1 相比,秸秆颗粒处理 0—20 cm 土壤全氮密度和全氮储量分别增加了 22.73%和 20.90%。土壤氮密度和氮储量随改良剂施用量增加而增加,均在 T4 处理达到最大值,T4 处理土壤全氮密度和全氮储量分别较 T1 增加了 57.14%和 55.12%。



注:不同小写字母表示同一土层不同处理在 $p<0.05$ 水平差异显著。

图 3 不同处理下土壤氮密度和氮储量

2.1.3 土壤硝态氮 由图 4 可知,土壤硝态氮含量随土层深度增加逐渐降低,秸秆颗粒改良剂和牦牛粪均显著增加了沙化土壤各土层的硝态氮含量($p<0.05$),0—60 cm 土壤硝态氮含量表现为 $T4>T3>T2>T1>CK1>CK0$ 。与 CK0 相比,CK1 处理 0—60 cm 土壤硝态氮含量平均增加了 123.08%,秸秆颗粒处理平均增加了 891.72%。与 CK1 相比,秸秆颗粒处理 0—60 cm 土壤硝态氮含量平均增加了 344.56%。随改良剂施用量增加,各土层硝态氮含量逐渐增加,均在 T4 处理达到最大值,T4 处理 0—60 cm 土壤硝态氮含量较 T1 处理增加了 353.71%;以 0—30 cm 为土壤上层,30—60 cm 为

土壤下层,计算硝态氮的外源养分淋溶率。CK1、T1、T2、T3 和 T4 的外源养分淋溶率分别为 41.82%,34.81%,24.11%,20.10%和 30.95%,秸秆颗粒改良剂处理的外源养分淋溶率均低于 CK1 处理,随改良剂施用量增加呈先降低后升高的趋势,在 T3 处理下有最小值。可见,秸秆颗粒改良剂能显著增加沙化土壤硝态氮含量,提升效果优于当地常规牦牛粪处理,且秸秆颗粒改良剂对土壤硝态氮的保持能力更好,当施用量为 18 t/hm² 时,秸秆颗粒改良剂对土壤硝态氮的保持效果最佳。

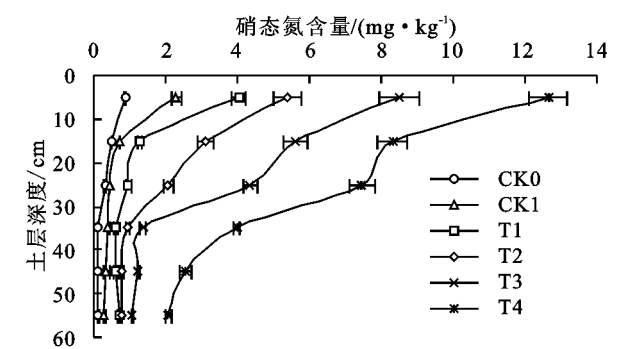


图 4 不同处理下土壤硝态氮含量

2.2 秸秆颗粒改良剂对黑麦草生长的影响

2.2.1 株高、单株干重和根冠比 沙地植被生长状况是沙化土壤改良效果的直接体现,由表 3 可知,秸秆颗粒改良剂和牦牛粪显著增加了黑麦草的株高、地上单株干重和地下单株干重($p<0.05$),改善了黑麦草的根冠比,促进了黑麦草地上部和地下部生长。与 CK0 相比,CK1 处理的株高、地上和地下部单株干重分别增加了 36.67%,70.01%和 49.70%,根冠比降低了 13.16%;与 CK1 相比,秸秆颗粒处理的株高、地上单株干重、地下单株干重和根冠比分别增加了 17.85%,57.50%,66.86%和 6.06%。随改良剂施用量增加,黑麦草的株高、地上单株干重、地下单株干重和根冠比显著增加($p<0.05$),均在 T4 处理下有最大值,T4 处理下的株高、地上单株干重、地下单株干重和根冠比分别较 T1 增加了 31.58%,41.47%,94.14%和 37.93%,但 T3 与 T4 处理间的差异不显著。

表 3 不同处理下黑麦草的株高、主根系长和干物质重

处理	株高/cm	地上单株干重/mg	地下单株干重/mg	根冠比
CK0	12.87±0.35c	94.05±3.17e	35.33±0.67d	0.38±0.01a
CK1	17.59±1.10b	159.89±4.00d	52.89±4.26c	0.33±0.03b
T1	17.67±1.67b	196.39±3.04c	56.95±2.45c	0.29±0.01bc
T2	19.41±0.34b	259.94±2.34b	77.98±4.80b	0.30±0.02c
T3	22.58±0.62a	273.11±3.18a	107.50±2.67a	0.39±0.01a
T4	23.25±1.38a	277.83±4.33a	110.56±2.38a	0.40±0.01a

注:表中数据为平均值±标准差;同列不同小写字母表示同一指标不同处理在 $p<0.05$ 水平差异显著。下同。

2.2.2 根系形态 秸秆颗粒改良剂和牦牛粪显著增加黑麦草总根长、总根表面积和总根体积($p<0.05$),有效增加了黑麦草根系直径,促进了黑麦草的根系生长

(表 4)。与 CK0 相比,CK1 处理黑麦草总根长、总根表面积、总根体积和平均根系直径分别增加了 31.07%,15.19%,15.00%和 5.00%,秸秆颗粒改良剂处理平均总

根长、总根表面积、总根体积和根系直径分别较 CK0 增加了 44.65%,46.31%,45.00%和 15.00%。与 CK1 相比,秸秆颗粒处理平均总根长、总根表面积、总根体积和根系直径分别增加了 10.36%,27.02%,25.00%和

9.52%。黑麦草总根长、总根表面积、平均根系直径和总根体积随改良剂施用量增加而逐渐增加,当施用量超过 18 t/hm² 时,黑麦草总根长、总根表面积、平均根系直径和总根体积差异不显著。

表 4 不同处理下黑麦草的根系形态

处理	总根长/cm	总根表面积/cm ²	总根体积/cm ³	平均根系直径/mm
CK0	767.25±9.90d	100.19±1.36e	1.00±0.04d	0.40±0.00b
CK1	1005.60±12.09c	115.41±1.69c	1.16±0.03c	0.42±0.00b
T1	955.37±21.53c	109.90±3.26d	1.14±0.00c	0.42±0.00b
T2	1115.45±17.56b	140.60±1.64b	1.51±0.06b	0.46±0.03a
T3	1146.24±22.94ab	166.19±3.51a	1.55±0.04ab	0.47±0.04a
T4	1182.19±40.39a	169.67±3.88a	1.60±0.02a	0.48±0.01a

2.3 土壤氮素与植株干重的相关性分析

由表 5 可知,土壤氮素与黑麦草地下单株干重间的相关性均达到极显著水平;地上单株干重除了与氮密度的相关性不显著外,与其余各指标间的相关性均达到显著或极显著水平;其中,黑麦草地上和地下部单株干重均与土壤全氮和氮储量成极显著正相关关系。土壤氮素指标与黑麦草地下单株干重的相关性大于地上单株干重,黑麦草根系对土壤氮素含量的敏感度更高;土壤全氮含量和全氮储量与黑麦草单株干重的相关性最高($r\geq 0.90^{**}$)。

表 5 土壤氮素与植株干重的相关系数

指标	全氮	硝态氮	氮密度	氮储量	地上单株干重
硝态氮	0.97**				
氮密度	0.89**	0.90**			
氮储量	1.00**	0.98**	0.88**		
地上单株干重	0.90**	0.85*	0.69	0.91**	
地下单株干重	0.98**	0.96**	0.91**	0.98**	0.92**

注: * 表示 5% 的显著水平 ($p<0.05$); ** 表示 1% 的极显著水平 ($p<0.01$)。

氮含量和供氮能力。王婧等^[21]研究发现,将秸秆加工为颗粒后还田,增加了秸秆的堆积密度,显著改善了秸秆的还田性,提高了土壤对秸秆的消纳能力,显著增加了秸秆的腐解速率,提高了土壤培肥效果。

然而较高的氮素含量和高强度的降雨易导致土壤氮素淋失,土壤硝态氮淋失是土壤氮素损失的主要途径之一^[22]。施用土壤改良剂可有效降低土壤硝态氮淋溶,增加土壤保水保肥能力^[23],而增施土壤改良剂易造成硝态氮累积,提高氮素淋溶风险^[24]。随秸秆颗粒改良剂施用量增加,土壤硝态氮含量显著增加;与当地常规牦牛粪处理相比,秸秆颗粒改良剂能较好地保持土壤中硝态氮的含量,在本研究条件下 18 t/hm² 施用量下的保持效果最佳;当施用量>18 t/hm² 时,外源养分淋溶率显著增加。杨振兴等^[25]的研究结果也表明,秸秆还田在提升土壤肥力同时也增加了土壤氮素盈余,土壤下层的硝态氮累积量明显增高,硝态氮被淋失的风险增大。秸秆颗粒中添加了 PAM,PAM 改善了土壤理化性质,增加了土壤对硝态氮的吸附能力^[26],对沙化土壤硝态氮含量的保持效果优于当地常规牦牛粪处理。李映廷等^[27]的研究结果也表明,秸秆—膨润土—PAM 复合改良材料对土壤氮素的保持量具有明显的促进效果,添加 PAM 有利于增加沙质土壤对土壤氮素的吸附量。

3.2 秸秆颗粒改良剂对黑麦草生长的影响

土壤改良剂可有效增加植株地上部株高、茎蘖数量、干物质重^[28-29],有效促进地下部根系发育^[30],最终达到促进植株生长、增产增收的效果。本研究结果表明,秸秆颗粒改良剂有效增加了黑麦草株高、单株干重、总根长、总根表面积、平均根系直径和根体积,随施用量增加呈逐渐增加的趋势,且改良剂对黑麦草的促进效果优于当地常规牦牛粪处理。秸秆颗粒改良剂在低施用量水平下,可显著降低黑麦草根冠比,促进干物质向地上部分分配^[31]。增施秸秆颗粒改良剂,促进了黑麦草根冠协调发育,地下部干物质开始累积,根冠比增加^[30]。秸秆颗粒改良剂黑麦草生长的促进效果优于当地常规牦牛粪处理,这主要是由于秸秆颗粒改良剂中添加有速效养分,能有效满足黑麦

3 讨论

3.1 秸秆颗粒改良剂对川西北高寒沙地土壤氮素的影响

土壤氮素是土壤肥力的重要组成成分,是植物生长不可或缺的重要元素^[18]。土壤全氮含量表征土壤可能供应的氮素总量,而土壤硝态氮则是植物吸收利用的主要形式,其含量高低直接决定着土壤的供肥能力,施用土壤改良剂可有效增加土壤全氮和硝态氮含量^[11, 19]。本试验结果表明,秸秆颗粒改良剂可显著增加沙化土壤全氮含量、全氮密度、全氮储量和硝态氮含量,对沙化土氮素的提升效果优于当地常规牦牛粪处理;随改良剂施用量增加,各氮素指标均呈逐渐增加的趋势,施用量间差异达显著水平。秸秆颗粒改良剂对沙化土氮素的提升效果优于当地常规牦牛粪处理,可能是因为改良剂为复合型颗粒化改良剂,改良剂中添加有 PAM 和微生物菌剂,PAM 增加了改良剂改善沙化土壤理化性状的能力^[20],微生物菌剂加快了秸秆的腐解速率和养分释放速率,最终提高了沙化土壤的全

草生育前期的养分供给,进而促进黑麦草的生长。

3.3 土壤氮素与黑麦草单株干重的相关性

氮素是植物生长和发育所必需的营养元素,也是影响作物产量和品质的重要因素^[18]。土壤中氮素含量的高低直接影响植株生长与物质积累,较高的氮素含量有利于植株获得较高的生物产量^[32],土壤氮素组分间存在显著的正相关关系^[19]。本研究结果表明,土壤氮素指标间相关性显著,土壤氮素指标与黑麦草地下单株干重的相关性大于地上单株干重,黑麦草根系对土壤氮素含量的敏感度更高;土壤全氮含量和全氮储量与黑麦草单株干重的相关性最高($r \geq 0.90^{**}$)。

4 结论

秸秆颗粒改良剂对川西北沙化土壤氮素含量和黑麦草生长影响显著,能有效增加土壤全氮、全氮密度、全氮储量和硝态氮含量,增加黑麦草株高、总根长、总根表面积、平均根系直径、根体积和单株干重,达到增加土壤氮素含量和促进黑麦草生长的效果。秸秆颗粒改良剂对川西北高寒沙地土壤的改良效果显著优于当地牦牛粪处理。增加秸秆颗粒改良剂施用量,可有效增加土壤氮素含量,黑麦草各生长指标也随改良剂施用量增加呈逐渐增加的趋势。较高施用量易造成土壤氮素淋失,随改良剂施用量增加,外源养分淋溶率呈先降低后升高的趋势。土壤氮素指标与黑麦草单株干重关系密切,土壤全氮含量和全氮储量与黑麦草单株干重的相关性最高($r \geq 0.90^{**}$)。综合考虑土壤氮素含量、外源养分淋溶率和黑麦草各生长指标的变化,秸秆颗粒改良剂的田间施用量以 18 t/hm^2 为宜。

参考文献:

- [1] 邓东周,贺丽,鄢武先,等.川西北高寒区不同沙化类型草地优势种群空间格局分析[J].草地学报,2017,25(3):492-498.
- [2] Zhang X, Liu H, Baker C, et al. Restoration approaches used for degraded peatlands in Ruorgai (Zoige), Tibetan Plateau, China, for sustainable land management[J]. Ecological Engineering, 2012, 38(1): 86-92.
- [3] 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.
- [4] Huang D, Wang K, Wu W L. Dynamics of soil physical and chemical properties and vegetation succession characteristics during grassland desertification under sheep grazing in an agro-pastoral transition zone in Northern China[J]. Journal of Arid Environments, 2007, 70(1): 120-136.
- [5] 彭佳佳,胡玉福,肖海华,等.生态修复对川西北沙化草地土壤有机质和氮素的影响[J].干旱区资源与环境, 2015, 29(5): 149-153.
- [6] Dong Z, Hu G, Yan C, et al. Aeolian desertification and its causes in the Zoige Plateau of China's Qinghai - Tibetan Plateau [J]. Environmental Earth Sciences, 2010, 59(8): 1731-1740.
- [7] 刘朔,蔡凡隆,杨建勇,等.川西北沙化治理现状及治理区划[J].林业调查规划,2011,36(3):122-126.
- [8] 吕庆福.四川推进脆弱地区生态治理筑牢长江上游生态屏障[EB/OL]. [2017-06-17] (2018-06-20). http://www.xinhuanet.com/local/2017-06/17/c_1121161876.htm.
- [9] Innangi M, Niro E, D Ascoli R, et al. Effects of olive pomace amendment on soil enzyme activities[J]. Applied Soil Ecology, 2017, 119: 242-249.
- [10] 张济世,于波涛,张金凤,等.不同改良剂对滨海盐渍土土壤理化性质和小麦生长的影响[J].植物营养与肥料学报,2017,23(3):704-711.
- [11] Ryals R, Kaiser M, Torn M S, et al. Impacts of organic matter amendments on carbon and nitrogen dynamics in grassland soils[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2014, 68(1): 52-61.
- [12] Ninh H T, Grandy A S, Wickings K, et al. Organic amendment effects on potato productivity and quality are related to soil microbial activity[J]. Plant and Soil, 2015, 386(1/2): 223-236.
- [13] Mi J, Gregorich E G, Xu S, et al. Effect of bentonite amendment on soil hydraulic parameters and millet crop performance in a semi-arid region[J]. Field Crops Research, 2017, 212: 107-114.
- [14] 张崇尚,刘乐,陆岐楠,等.中国秸秆能源化利用潜力与秸秆能源企业区域布局研究[J].资源科学,2017,39(3):473-481.
- [15] Zhang P, Chen X, Wei T, et al. Effects of straw incorporation on the soil nutrient contents, enzyme activities, and crop yield in a semiarid region of China[J]. Soil and Tillage Research, 2016, 160: 65-72.
- [16] 陈方鑫,卢少勇,冯传平.农业秸秆复合 PAM 对湖滨带土壤改良效果的研究[J].农业环境科学学报,2016, 35(4): 711-718.
- [17] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社, 2000: 46-48.
- [18] Grant C A, O Donovan J T, Blackshaw R E, et al. Residual effects of preceding crops and nitrogen fertilizer on yield and crop and soil N dynamics of spring wheat and canola in varying environments on the Canadian prairies [J]. Field Crops Research, 2016, 192: 86-102.
- [19] 赵丹丹,王俊,付鑫.长期定位施肥对旱作农田土壤全氮及其组分的影响[J].水土保持学报,2016,30(4): 303-307.
- [20] 李元元,王占礼.聚丙烯酰胺(PAM)防治土壤风蚀的研究进展[J].应用生态学报,2016,27(3):1002-1008.
- [21] 王婧,张莉,逢焕成,等.秸秆颗粒化还田加速腐解速率提高培肥效果[J].农业工程学报,2017,33(6):177-183.
- [22] 串丽敏,赵同科,安志装,等.土壤硝态氮淋溶及氮素利用研究进展[J].中国农学通报,2010,26(11):200-205.
- [23] Colombani N, Mastrocicco M, Di Giuseppe D, et al. Batch and column experiments on nutrient leaching in soils amended with Italian natural zeolites[J]. Catena,

- 2015,127:64-71.
- [24] 党廷辉,戚龙海,郭胜利,等.旱地土壤硝态氮与氮素平衡、氮肥利用的关系[J].植物营养与肥料学报,2009,15(3):573-577.
- [25] 杨振兴,周怀平,关春林,等.长期秸秆还田对旱地土壤硝态氮分布与累积的影响[J].华北农学报,2013,28(3):179-182.
- [26] 张艳艳,唐泽军. PAM 调控土壤养分元素迁移与流失试验研究[J].水土保持通报,2017,37(4):33-39.
- [27] 李映廷,刘双营,赵秀兰,等. 秸秆—膨润土—聚丙烯酰胺对砂质土壤吸附氮素的影响[J]. 农业工程学报,2012,28(7):111-116.
- [28] 袁耀,郭建斌,尹诗萌,等. 自制环保型土壤改良剂对一年生黑麦草生长的作用[J]. 草业学报,2015,24(10):206-213.
- [29] Paula F S, Tatti E, Abram F, et al. Stabilisation of spent mushroom substrate for application as a plant growth-promoting organic amendment [J]. Journal of Environmental Management,2017,196:476-486.
- [30] 郑亚楠,赵铭钦,贺凡,等. 聚丙烯酸盐类改良剂对土壤理化性状及烤烟根系生长的影响[J]. 中国烟草科学,2017,38(2):39-44.
- [31] 张莉,王婧,逢焕成,等. 秸秆颗粒还田对土壤养分和冬小麦产量的影响[J]. 中国生态农业学报,2017,25(12):1770-1778.
- [32] 赵宏魁,马真,张春辉,等. 种植密度和施氮水平对燕麦生物量分配的影响[J]. 草业科学,2016,33(2):249-258.
- (上接第 71 页)
- [9] 邓超月,胡程耀,霍冀川. 羟丙基甲基纤维素对碳纤维增强环氧树脂力学性能的影响[J]. 塑料科技,2016,44(3):31-35.
- [10] 齐伟明,张莉,王敏珠,等. 分光光度法测定角膜接触镜护理液中的羟丙基纤维素[J]. 光谱实验室,2012,29(1):206-209.
- [11] 许伯慧,郭丽慧,徐洪玲. 氢氯噻嗪 HPMC 骨架片释药机制影响因素研究[J]. 中国现代应用药学,2010,27(6):527-531.
- [12] Fan N, He Z, Ma P, et al. Impact of HPMC on inhibiting crystallization and improving permeability of curcumin amorphous solid dispersions [J]. Carbohydrate Polymers,2018,181(1):543-550.
- [13] 谭帅,周蓓蓓,王全九. 纳米碳对扰动黄绵土水分入渗过程的影响[J]. 土壤学报,2014,51(2):263-269.
- [14] Li L, Shan H, Yue C Y, et al. Thermally induced association and dissociation of methylcellulose in aqueous solutions [J]. Langmuir,2002,18:7291-7298.
- [15] 吴军虎,陶汪海,王海洋,等. 羧甲基纤维素钠对土壤团粒结构及水分运动特性的影响[J]. 农业工程学报,2015,31(2):117-123.
- [16] 贾晓辉,沈青. 羟丙基甲基纤维素的流变性质及热凝胶化行为[J]. 纤维素科学与技术,2008(3):48-53.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析 [M]. 上海:上海科学技术出版社,1983.
- [18] 王小红,杨智杰,刘小飞,等. 中亚热带山区土壤不同形态铁铝氧化物对团聚体稳定性的影响[J]. 生态学报,2016,36(9):2588-2596.
- [19] 赵文智,刘志民,程国栋. 土地沙质荒漠化过程的土壤分形特征[J]. 土壤学报,2002,39(6):877-881.
- [20] Van Bavel C H. Meanweight-diameter of soil aggregates as a statistica lindex of aggregation[J]. Soil Science Society of America Journal,1949,14:20-23.
- (上接第 133 页)
- [10] 王文娟,张树文,李颖,等. 基于 GIS 和 USLE 的三江平原土壤侵蚀定量评价[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(9):112-117.
- [11] 胡云华,刘斌涛,宋春风,等. 基于 USLE 模型的大小凉山地区土壤侵蚀定量研究[J]. 水土保持通报,2016,36(4):232-236.
- [12] 梁音,刘宪春,曹龙熹,等. 中国水蚀区土壤可蚀性 K 值计算与宏观分布[J]. 中国水土保持,2013(10):35-40.
- [13] 任宗萍. 区域土壤侵蚀动态评价 [D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2009.
- [14] 张鹏宇,王全九,周蓓蓓. 陕西省耕地土壤可蚀性因子 [J]. 水土保持通报,2016,36(5):100-106.
- [15] 邹丛荣. 沂蒙山区沂源县土壤可蚀性因子 (K) 研究 [D]. 南京:南京林业大学,2017.
- [16] 刘文耀. 云南昭通盆地降雨侵蚀性与土壤可蚀性的初步研究[J]. 云南地理环境研究,1999,11(2):76-82.
- [17] Don K M, George R F, Mutchler C K, et al. Revised slope length factor for the universal soil loss equation [J]. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers,1989,32:1571-1576.
- [18] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes[J]. Transactions of the ASAE,1994,37(6):1835-1840.
- [19] 冯强,赵文武. USLE/RUSLE 中植被覆盖与管理因子研究进展[J]. 生态学报,2014,34(16):4461-4472.
- [20] 吴志杰,何国金,黄绍霖,等. 南方丘陵区植被覆盖度遥感估算的地形效应评估[J]. 遥感学报,2017,21(1):159-167.
- [21] 蔡崇法,丁树文,史志华,等. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持学报,2000,14(2):19-24.
- [22] 钟德燕. 基于 USLE 模型的黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀研究 [D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2012.