

## 巨菌草对内蒙古引种区土壤理化性质的影响

王利蒙, 李钢铁\*, 张博 (内蒙古农业大学沙漠治理学院, 内蒙古呼和浩特 010018)

**摘要** 选择内蒙古达拉特旗、奈曼旗、土默特左旗引种巨菌草(*Pennisetum giganteum*)的试验地作为调查对象,开展巨菌草生长前后土壤主要物理及化学特性的定量分析。结果表明,各试验区经种植巨菌草土壤容重显著减小,且土壤的孔隙度、最大持水量也以巨菌草样地更为显著、含量更高;巨菌草样地土壤中有机质含量、各类养分含量均高于CK,平均pH降低4.30%,整体上巨菌草样地土壤发展趋于良性,土壤养分性质得到改善,对照样地则存在不同程度的退化趋势;不同引种区的巨菌草样地土壤改良效应不同。综上所述,巨菌草引种对土壤的理化特性均起到良性调控作用,有效提升土壤肥力,可以考虑在北方盐碱地区以及贫瘠土壤的生态环境恢复过程中作为兼具生态经济价值的先锋植物进一步推广种植。

**关键词** 巨菌草;理化性质;土壤改良;内蒙古引种区

**中图分类号** S151.9 **文献标识码** A

**文章编号** 0517-6611(2023)04-0058-03

**doi**:10.3969/j.issn.0517-6611.2023.04.014



开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

### Effects of *Pennisetum giganteum* on Soil Physical and Chemical Properties in the Introduction Area of Inner Mongolia

WANG Li-meng, LI Gang-tie, ZHANG Bo (College of Desert Science and Management, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018)

**Abstract** The experimental sites of introduced *P. giganteum* in Dalad Banner, Naiman Banner and Tumed Left Banner of Inner Mongolia were selected as the investigation objects to carry out the quantitative analysis of the main physical and chemical characteristics of the soil before and after the growth of *P. giganteum*. The results showed that the soil bulk density of the experimental areas decreased significantly, and the soil porosity and maximum water holding capacity were more significant and higher in the sample plot of *P. giganteum*. The contents of organic matter and various nutrients in the soil of *P. giganteum* sample plot were higher than CK, and the average pH decreased by 4.30%. On the whole, the soil development of *P. giganteum* sample plot tended to be benign, the soil nutrient properties were improved, and there were different degrees of degradation trends in the CK. The soil betterment effects of *P. giganteum* sample plots in different introduction areas were different. To sum up, the introduction of *P. giganteum* plays a benign regulatory role in the physical and chemical characteristics of soil and effectively improves soil fertility. It can be considered to further promote planting as a pioneer plant with ecological and economic value in the process of ecological environment restoration in saline alkali areas and barren soil in northern China.

**Key words** *P. giganteum*; Physical and chemical properties; Soil betterment; Introduction area of Inner Mongolia

巨菌草(*Pennisetum giganteum* z.x.lin)是多年生的直立丛生型草本植物。巨菌草根系发达、分蘖能力强,具有较强的抗逆性<sup>[1-3]</sup>,并对土壤中一些重金属离子存在着较强的吸附作用,在盐碱化、重金属污染的生境中常被作为先锋植物进行培养<sup>[4-5]</sup>。刘凤山等<sup>[6]</sup>分析了巨菌草对土壤性质的改善程度,结果表明,种植巨菌草可以净化和改良土壤,起到改善生态环境等作用。目前,在宁夏、陕西、甘肃、新疆、内蒙古等土地荒漠化问题严重的地区也已成功引种巨菌草<sup>[7-10]</sup>,不仅为当地缓解水土流失和土壤盐碱化等问题,同时带动当地种植产业的发展,种植巨菌草农民的收入也有所提高,因此,巨菌草是兼备生态价值和巨大经济价值的植物<sup>[11]</sup>。

截至目前,国内对巨菌草生态功能的研究主要集中于菌草根际土壤微生物<sup>[12-13]</sup>、菌群多样性<sup>[14]</sup>以及巨菌草防风固沙效益研究<sup>[15]</sup>。而关于内蒙古地区种植巨菌草对土壤理化特性改良效果的影响鲜有报道。该研究通过样地试验,选取各试验区内巨菌草生长前后的土壤,以裸地土壤作为对照,系统分析了巨菌草对土壤理化性质的改善程度,以期为当地引进与培育抗旱新品种、改良土壤、建设生态环境屏障等方面提供理论依据。

## 1 材料与方法

**1.1 研究区概况** 此次研究主要在内蒙古自治区巨菌草推广试验点进行取样,包括通辽市奈曼旗、鄂尔多斯市达拉特旗、呼和浩特市土默特左旗的3个重点试验区域。奈曼旗试验区位于科尔沁沙地南部,属温带大陆性季风干旱气候,年潜在蒸发量1500~2000 mm,年均气温6.0~6.5℃,无霜期约151 d;达拉特旗试验区在自治区西南部,处于鄂尔多斯高原北端,年降水量250~350 mm,年日照时数约3000 h,太阳能、风能资源充裕;土默特左旗试验区处于内蒙古中部的呼和浩特市北什轴乡海流村,属温带大陆性气候,年降水量约380 mm,年蒸发量约1851.7 mm,蒸发量大于降水量,年平均湿度为54%,相对较低。

**1.2 试验方法** 在奈曼旗、达拉特旗和土默特左旗3个试验区域内分别布设面积为600 m<sup>2</sup>(20 m×30 m)的标准样地,同时设置裸地作对照试验,每处理设置3个标准样地作为重复。土壤采样时间分别为2018年4月上旬(首次引种巨菌草前)、2021年10月下旬(当年收割后)。在生长季初期施加1 t/hm<sup>2</sup>的尿素作为基肥,种植期间各试验区采取相同的灌溉措施(滴灌)与管理模式。

在各样地采用“S”型布点法确定采样点,采用环刀法取土样,采样深度0~20 cm,同时裸地土壤作为对照(CK)。土样密封并带回实验室进行风干处理,过1 mm土壤筛去除植物根系和其他有机物。土壤物理性质的调查选择土壤容重、最大持水量、土壤总孔隙度3个主要指标开展分析。土壤化

**基金项目** 内蒙古自治区科技成果转化项目(CGZH2018137)。

**作者简介** 王利蒙(1998—),女,内蒙古锡林郭勒盟人,硕士研究生,研究方向:沙区植物资源保护与利用。\*通信作者,教授,博士,博士生导师,从事沙区植物资源保护与利用研究。

**收稿日期** 2022-02-23

学性质的调查选择 pH、有机质、全氮、全磷、全钾、碱解氮、速效磷、速效钾作为主要指标开展分析,分别采用酸度计法、重铬酸钾氧化-外加法、凯氏定氮法、碱解扩散法、酸溶-钼锑抗比色法、碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法、酸溶-火焰光度法、乙酸铵浸提-火焰光度法进行测定。每处理 3 个重复,共计 12 组数据,最后取平均值分析。

**1.3 数据处理** 所测数据采用 Microsoft Office Excel 2007 软件进行整理及绘图制表,采用 SPSS 25.0 进行单因素方差分析及差异显著性检验(Duncan)。

## 2 结果与分析

### 2.1 种植前后各试验区土壤物理性质比较

表 1 不同处理间土壤主要物理性质分析

Table 1 Analysis of main physical properties of soil between different treatments

试验区 Test area	采样时间 Sample collection time	土壤容重 Soil bulk density // g/cm <sup>3</sup>		最大持水量 Maximum water holding capacity // %		总孔隙度 Total porosity // %	
		对照 CK	种植巨菌草 Planting <i>P. giganteum</i>	对照 CK	种植巨菌草 Planting <i>P. giganteum</i>	对照 CK	种植巨菌草 Planting <i>P. giganteum</i>
		奈曼旗 Naiman Banner	2018-04	1.59±0.06	1.61±0.02	23.49±0.24	24.61±1.44
	2021-10	1.59±0.08	1.57±0.02	23.31±0.18	27.08±0.31	44.95±1.02	47.56±3.01
达拉特旗 Dalad Banner	2018-04	1.38±0.04	1.39±0.07	28.56±1.03	29.04±1.59	48.37±1.18	48.79±1.71
	2021-10	1.37±0.02	1.33±0.04	28.23±0.76	33.99±0.90	49.15±0.71	50.28±1.18
土默特左旗 Tumed Left Banner	2018-04	1.51±0.30	1.51±0.20	24.96±1.23	25.84±1.15	45.73±1.90	44.25±3.66
	2021-10	1.52±0.11	1.43±0.04	25.18±0.11	27.83±0.93	44.28±1.16	46.26±2.40

**2.2 巨菌草对土壤 pH、有机质的影响** 从表 2 可以看出,达拉特旗、奈曼旗、土默特左旗试验区在连续种植巨菌草后 pH 明显降低。巨菌草样地与对照样地的有机质含量都有所增加,各试验区内巨菌草样地的土壤有机质含量均高于 CK,且种植前后变化较大。巨菌草样地内土壤平均 pH 由种植前的 9.07 下降至 8.68,下降 4.30%;有机质含量由 2.59 g/kg 增加

至 3.09 g/kg,增加幅度为 19.31%。CK 样地土壤的平均 pH 由 9.08 增加至 9.10;有机质平均含量由 2.54 g/kg 增加至 2.64 g/kg,变化不明显。参考土壤 pH 和有机质含量指标,达拉特旗种植巨菌草后土壤改良效果较好。可见,巨菌草种植对试验区土壤 pH 和有机质含量存在一定改良作用。

表 2 土壤 pH、有机质含量的变化情况

Table 2 Changes of soil pH and organic matter content

试验区 Test area	采样时间 Sample collection time	pH		有机质含量 Organic matter content // g/kg	
		对照 CK	种植巨菌草 Planting <i>P. giganteum</i>	对照 CK	种植巨菌草 Planting <i>P. giganteum</i>
		奈曼旗 Naiman Banner	2018-04	9.04±0.06	9.03±0.07
	2021-10	8.99±0.04	8.76±0.51	2.90±0.36	3.23±0.42
达拉特旗 Dalad Banner	2018-04	9.07±0.04	9.05±0.62	1.74±0.10	1.79±0.70
	2021-10	9.09±0.25	8.54±0.33	1.82±0.11	2.27±0.10
土默特左旗 Tumed Left Banner	2018-04	9.13±0.18	9.12±0.14	3.09±0.14	3.16±0.26
	2021-10	9.22±0.01	8.73±0.26	3.19±0.38	3.77±0.53

**2.3 巨菌草对土壤全氮、磷、钾的影响** 由表 3 可知,种植巨菌草前后样地间土壤全量养分存在差异。而在巨菌草样地内的土壤全氮、全磷、全钾的平均增幅分别为 32.00%、51.32%、13.71%。达拉特旗、奈曼旗、土默特左旗裸地的平均全氮含量由 1.18 g/kg 增加至 1.25 g/kg,全磷含量由 0.79 g/kg 增加至 0.91 g/kg,全钾含量由 2.02 g/kg 减少至 1.81 g/kg,裸地对照组的土壤养分含量与 2018 年的无明显差异。由此可知,裸地全氮、全磷、全钾含量的变化无明显规

律性,而种植巨菌草后,样地的土壤养分指标均有一定变化,相比之下土壤养分含量较高,种植巨菌草在改善土壤全氮、全磷、全钾方面有显著的促进作用。

种植巨菌草对 3 处样地的全氮、全磷、全钾含量均产生不同影响,且影响程度不同。3 处巨菌草样地内土壤全氮含量均呈上升趋势,其中土默特左旗增加了 62.61%,达拉特旗次之,增幅为 33.03%,奈曼旗增幅较小,增幅为 7.24%;全磷含量在种植巨菌草后均明显增加,为变化较大的参数,其中

土默特左旗的全磷含量比种植前提高了 79.69%。同时,各巨菌草样地的全钾含量在种植巨菌草后均呈上升趋势,但波动较小,增幅在 9.03%~15.87%。由 3 处样地各自的全效氮、

磷、钾含量指标变化情况可知,种植巨菌草对土默特左旗的土壤肥力提升效果较为理想。

表 3 土壤全效氮、磷、钾含量的变化情况

Table 3 Changes of total available nitrogen, phosphorus and potassium in soil

单位: g/kg

试验区 Test area	采样时间 Sample collection time	全氮 TN		全磷 TP		全钾 TK	
		对照 CK	种植巨菌草 Planting <i>P. giganteum</i>	对照 CK	种植巨菌草 Planting <i>P. giganteum</i>	对照 CK	种植巨菌草 Planting <i>P. giganteum</i>
奈曼旗 Naiman Banner	2018-04	1.47±0.13	1.52±0.51	1.26±0.44	1.21±0.42	1.92±0.21	1.89±0.90
	2021-10	1.48±0.22	1.63±1.03	1.44±0.69	1.62±1.20	1.41±0.24	2.19±0.71
达拉特旗 Dalad Banner	2018-04	1.03±0.19	1.09±0.43	0.51±0.08	0.42±0.07	1.48±0.35	1.44±0.42
	2021-10	1.17±0.04	1.45±0.47	0.59±0.03	0.68±0.10	1.53±0.27	1.57±0.22
土默特左旗 Tumud Left Banner	2018-04	1.04±0.03	1.15±0.07	0.60±0.32	0.64±0.15	2.66±0.29	2.59±0.55
	2021-10	1.09±0.02	1.87±0.88	0.71±0.04	1.15±0.80	2.49±0.95	2.97±0.95

2.4 巨菌草对土壤速效氮、磷、钾的影响 土壤中的速效养分含量是土壤对植物养分供应能力的反应。由表 4 可知,种植巨菌草土壤碱解氮含量均高于 CK,且增幅较大。3 处巨菌草样地土壤碱解氮平均含量由 6.69 mg/kg 增加至 9.74 mg/kg,增幅 45.59%;CK 样地土壤碱解氮平均含量由 6.99 mg/kg 增加至 7.17 mg/kg,增加了 2.58%。2021 年 10 月巨菌草样地土壤速

效磷平均含量为 11.14 mg/kg,比对照样地的平均含量高 3.59 mg/kg,比种植前(7.18 mg/kg)增加了 55.15%。巨菌草样地的土壤速效钾平均含量 13.63 mg/kg,比种植前增加了 35.35%;而部分试验区内的裸地对照组土壤速效钾含量出现了下降趋势,平均含量由 9.73 mg/kg 减少至 9.38 mg/kg。各巨菌草样地土壤速效肥力较种植前均有改善。

表 4 土壤速效氮、磷、钾含量的变化情况

Table 4 Changes of soil available nitrogen, phosphorus and potassium contents

单位: mg/kg

试验区 Test area	采样时间 Sample collection time	碱解氮 Available nitrogen		速效磷 Olsen-P		速效钾 Olsen-K	
		对照 CK	种植巨菌草 Planting <i>P. giganteum</i>	对照 CK	种植巨菌草 Planting <i>P. giganteum</i>	对照 CK	种植巨菌草 Planting <i>P. giganteum</i>
奈曼旗 Naiman Banner	2018-04	9.51±3.22	9.27±2.30	7.17±2.10	7.22±1.72	9.26±1.41	9.51±3.22
	2021-10	9.75±0.82	11.22±1.03	7.61±0.33	9.70±2.40	8.93±0.82	11.25±2.37
达拉特旗 Dalad Banner	2018-04	3.98±0.12	3.49±0.16	3.33±0.78	3.41±0.14	5.32±0.56	5.49±0.16
	2021-10	4.06±1.53	4.60±0.74	3.47±0.98	5.25±2.04	5.48±0.87	7.47±1.13
土默特左旗 Tumud Left Banner	2018-04	7.49±1.05	7.32±0.97	10.67±2.32	10.92±0.99	14.61±0.20	15.21±1.37
	2021-10	7.70±2.03	13.39±2.37	11.58±3.81	18.48±1.87	13.72±0.15	22.17±4.02

### 3 结论与讨论

土壤物理特性对于植物生长过程中水分和能量的储存交换、营养成分的供给有着决定性的作用。由试验结果可知,奈曼旗、达拉特旗、土默特左旗试验区的巨菌草样地平均土壤容重明显降低,土壤最大持水量、孔隙度也随之增加,这与梅兰等<sup>[16]</sup>的研究结果一致。土壤容重除受土壤质地、降水等自然因素决定,人类生产的干扰或植物生长过程中释放物质的反作用也会对土壤结构产生良性影响。该研究结果显示,种植巨菌草可有效改善土壤物理性质,土壤中最大持水量、总孔隙度等参数明显增加也体现了土壤透气状况与水分保持性能的提高,结构趋于稳定,这为生态系统的良性循环创造条件。

土壤的 pH、有机质及氮磷钾含量等作为养分来源直接影响植物各阶段的生长发育,是判断土壤肥力状况的重要化学指标。关于改变地区植被对土壤养分的影响等方面,学者们已开展大量研究,发现通过植被恢复后土壤各养分会逐渐累积<sup>[17]</sup>。相关研究表明,种植巨菌草可提高土壤有益真菌

含量,经过分解复杂有机物质和含氮蛋白质类化合物产生丰富的腐殖质,进而提升土壤的肥力状况<sup>[16]</sup>。该研究发现,种植巨菌草后的土壤全效、速效氮磷钾含量明显提高,pH 逐渐降低,能够起到改良土壤化学性质的作用,与周扬<sup>[18]</sup>对攀西干热河谷区引种巨菌草改善土壤理化性质的结论基本一致。整体上巨菌草样地土壤发展趋于良性,CK 样地则存在不同程度的退化趋势;3 处巨菌草样地土壤的养分含量较种植前均有所提高,不同引种区的巨菌草样地土壤改良效应不同。综上所述,巨菌草对引种地的土壤理化特性均起到良性调控作用,土壤肥力的提升效果较为理想,可以考虑在北方盐碱地区以及贫瘠土壤的生态环境恢复过程中作为兼具生态经济价值的先锋植物进一步推广种植。

### 参考文献

- [1] 王靖宇,张淑艳,商博,等.巨菌草生长和抗性生理特性对土壤水分的响应[J].延边大学学报,2020,42(1):58-62.
- [2] 周晶,林兴生,林辉,等.菌草研究与应用进展[J].福建农林大学学报(自然科学版),2020,49(2):145-152.

(下转第 67 页)

- 2021;112135.
- [5] AROWOLO A O, DENG X Z, OLATUNJI O A, et al. Assessing changes in the value of ecosystem services in response to land-use/land-cover dynamics in Nigeria[J]. Science of the total environment, 2018, 636:597-609.
- [6] COSTANZA R, DE GROOT R, BRAAT L, et al. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? [J]. Ecosystem services, 2017, 28: 1-16.
- [7] COSTANZA R, KUBISZEWSKI I. The authorship structure of "ecosystem services" as a transdisciplinary field of scholarship [J]. Ecosystem services, 2012, 1(1): 16-25.
- [8] ZHANG B, LI W H, XIE G D, et al. Water conservation of forest ecosystem in Beijing and its value [J]. Ecological economics, 2010, 69(7): 1416-1426.
- [9] 娄佩卿, 付波霖, 刘海新, 等. 锡林郭勒盟草地生态系统服务功能价值动态估算 [J]. 生态学报, 2019, 39(11): 3837-3849.
- [10] 江波, 陈媛媛, 肖洋, 等. 白洋淀湿地生态系统最终服务价值评估 [J]. 生态学报, 2017, 37(8): 2497-2505.
- [11] 王庆慧, 李婧贤, 彭羽, 等. 我国灌丛生态系统服务功能价值评估 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47(4): 233-237.
- [12] 缪建群, 杨文亭, 杨滨娟, 等. 崇义客家梯田区生态系统服务功能及价值评估 [J]. 自然资源学报, 2016, 31(11): 1817-1831.
- [13] 台辉, 秦富仓, 王迪海, 等. 残塬沟壑区苹果园生态服务价值评估 [J]. 环境科学与技术, 2020, 43(7): 210-216.
- [14] 郭朝琼, 徐昔保, 舒强. 生态系统服务供需评估方法研究进展 [J]. 生态学杂志, 2020, 39(6): 2086-2096.
- [15] PLUMMER M L. Assessing benefit transfer for the valuation of ecosystem services [J]. Frontiers in ecology and the environment, 2009, 7(1): 38-45.
- [16] KIBRIA A S M G, BEHIE A, COSTANZA R, et al. The value of ecosystem services obtained from the protected forest of Cambodia: The case of Veun Sai-Siem Pang National Park [J]. Ecosystem services, 2017, 26: 27-36.
- [17] 刘胜涛, 高鹏, 刘潘伟, 等. 泰山森林生态系统服务功能及其价值评估 [J]. 生态学报, 2017, 37(10): 3302-3310.
- [18] 宁虎森, 何苗, 罗青红, 等. 新疆怪柳林生态服务功能及其价值评估分析 [J]. 生态科学, 2019, 38(4): 111-118.
- [19] ZHAI R, TAO F L. Contributions of climate change and human activities to runoff change in seven typical catchments across China [J]. Science of the total environment, 2017, 605/606: 219-229.
- [20] WANG B, GAO P, NIU X, et al. Policy-driven China's grain to green program: Implications for ecosystem services [J]. Ecosystem services, 2017, 27: 38-47.
- [21] 苏常红, 王亚璐. 汾河上游流域生态系统服务变化及驱动因素 [J]. 生态学报, 2018, 38(22): 7886-7898.
- [22] SONG F, SU F L, MI C X, et al. Analysis of driving forces on wetland ecosystem services value change: A case in Northeast China [J/OL]. Science of the total environment, 2020, 751 [2021-11-15]. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141778>.
- [23] 张凯月, 贺春玲, 侯小改, 等. 油用牡丹经济价值和景观生态价值研究现状 [J]. 中国农学通报, 2019, 35(10): 66-71.
- [24] 张晓龙, 周继华, 来利明, 等. 荒漠河岸多枝怪柳灌丛碳氮磷化学计量特征及其影响因素 [J]. 环境科学研究, 2021, 34(3): 698-706.
- [25] 靳芳, 鲁绍伟, 余新晓, 等. 中国森林生态系统服务价值评估指标体系初探 [J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(2): 5-9.
- [26] 龚诗涵, 肖洋, 郑华, 等. 中国生态系统水源涵养空间特征及其影响因素 [J]. 生态学报, 2017, 37(7): 2455-2462.
- [27] 王莉雁, 肖燚, 欧阳志云, 等. 国家级重点生态功能区生态系统生产总值核算研究: 以阿尔山市为例 [J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(3): 146-154.
- [28] 江凌, 肖燚, 欧阳志云, 等. 基于 RWEQ 模型的青海省土壤风蚀模数估算 [J]. 水土保持研究, 2015, 22(1): 21-25.
- [29] 徐瑶, 陈涛. 藏北草地退化与生态服务功能价值损失评估: 以申扎县为例 [J]. 生态学报, 2016, 36(16): 5078-5087.
- [30] 白杨, 欧阳志云, 郑华, 等. 海河流域农田生态系统环境损益分析 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(11): 2938-2945.
- [31] 石福习, 宋长春, 赵成章, 等. 河西走廊山地-绿洲-荒漠复合农田生态系统服务价值变化及其影响因素 [J]. 中国沙漠, 2013, 33(5): 1598-1604.
- [32] 王兵, 魏江生, 胡文. 中国灌木林-经济林-竹林的生态系统服务功能评估 [J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1936-1945.
- [33] 曹叶琳, 宋进喜, 李明月, 等. 陕西省生态系统水源涵养功能评估分析 [J]. 水土保持学报, 2020, 34(4): 217-223.
- [34] 迟文峰, 白文科, 刘正佳, 等. 基于 RWEQ 模型的内蒙古高原土壤风蚀研究 [J]. 生态环境学报, 2018, 27(6): 1024-1033.
- [35] 饶恩明, 肖燚. 四川省生态系统土壤保持功能空间特征及其影响因素 [J]. 生态学报, 2018, 38(24): 8741-8749.
- [36] 尚三娟, 王义婧, 王楠, 等. 光照强度对紫斑牡丹生理及生长特性的影响 [J]. 生态学杂志, 2020, 39(9): 2963-2973.
- [37] 史国安, 焦封喜, 焦元鹏, 等. 中国油用牡丹的发展前景及对策 [J]. 中国粮油学报, 2014, 29(9): 124-128.

(上接第 60 页)

- [3] 郑华坤, 林雄杰, 林辉, 等. 巨菌草 (*Pennisetum giganteum*) 研究进展 [J]. 福建农林大学学报 (自然科学版), 2019, 48(6): 681-687.
- [4] 刘凤山, 林辉, 林兴生, 等. 巨菌草对生态脆弱区治理与修复的研究进展 [J]. 贵州农业科学, 2017, 45(7): 111-113.
- [5] 龚建华, 薛伦, 康敏, 等. 巨菌草的重金属富集特性及对土壤的修复效果 [J]. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2019, 45(2): 154-161.
- [6] 刘凤山, 宋静, 蔡杨星, 等. 巨菌草对土壤生态环境的影响 [J]. 武夷科学, 2019, 35(2): 80-85.
- [7] 林兴生, 林占熹, 林冬梅, 等. 荒坡地种植巨菌草对土壤微生物群落功能多样性及土壤肥力的影响 [J]. 生态学报, 2014, 34(15): 4304-4312.
- [8] 吴强. 黄河乌兰布和沙漠段巨菌草生长特性和防风固沙效果研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2018.
- [9] 龙鸿艳. 巨菌草在喀什地区的引种试验 [J]. 中国畜禽种业, 2016, 12(2): 32-33.
- [10] 宋静, 程现光, 穆胜国, 等. 黄土高原沟壑区巨菌草引种试验 [J]. 现代农业科技, 2017(17): 242-244.
- [11] 脱忠平, 闫晓玲, 段景峰, 等. 黄土高原沟壑区绿洲 1 号菌草引种栽培试验 [J]. 现代农业科技, 2020(5): 164-165, 170.
- [12] 邓振山, 李买平, 郝雷, 等. 巨菌草内生细菌多样性及其促生特性 [J]. 草地学报, 2019, 27(5): 1213-1221.
- [13] 姚俊新, 林辉, 林兴生, 等. 巨菌草种植对土壤微生物数量及酶活性的影响 [J]. 黑龙江农业科学, 2019(3): 40-45.
- [14] 叶文雨, 谢序泽, 许钰澄, 等. 基于高通量测序技术分析 2 种菌草根际土壤真菌群落多样性 [J]. 热带作物学报, 2020, 41(3): 556-563.
- [15] 王强, 左合君, 李钢铁, 等. 巨菌草留茬沙障防风固沙效益及其适宜模式研究 [J]. 干旱区研究, 2018, 35(5): 1234-1241.
- [16] 梅兰, 黄在兴, 宋昭昭, 等. 巨菌草不同生长时期对砒砂岩地区土壤理化性质及细菌群落结构的影响 [J]. 微生物学报, 2019, 59(10): 2038-2050.
- [17] 何丽娟. 库布齐沙漠甘草不同种植措施对土壤理化性质的影响 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2021.
- [18] 周扬. 巨菌草对攀西干热河谷区土壤理化性质改良效应研究 [D]. 雅安: 四川农业大学, 2019.