

毛乌素沙地神木县沙区农业生态系统限制因子分析

马钢, 范王涛*, 张阳阳 (陕西省土地工程建设集团有限责任公司, 陕西西安 710000)

摘要 介绍了毛乌素沙地神木县沙区的概况, 包括行政区划、地貌特征、植被类型, 分析了该区农业生态系统非生物生态因子, 发现水和土壤是该生态系统的主要限制因子, 最后提出了农业生态系统水因子和土壤因子改善改良措施, 采取第四系松散层孔隙潜水可满足该农业生态系统用水需求, 且不影响生态用水, 使用砒砂岩与沙复配成土的核心技术可有效改良土壤, 提高该沙地农业生态系统生产力。

关键词 沙地农业生态系统; 限制因子; 地下水; 改良土壤

中图分类号 S181.6 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)01-0086-03

Analysis on Limiting Factors of Agricultural Ecosystem in Mu Us Sandland in Shenmu Sandy Area

MA Gang, FAN Wang-tao*, ZHANG Yang-yang (Shaanxi Land Engineering Construction Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi 710000)

Abstract The general situation of Mu Us Sandland in Shenmu sandy area was introduced including administrative divisions, geomorphological features, vegetation types. The non-ecological factors of agricultural ecosystem in this area were analyzed. It was found that water and soil are main limiting factors of the ecosystem. Finally, the improvement measures of agricultural ecological water factors and soil factors were put forward. Using Quaternary loose layer pore water can satisfy water demand of the agricultural ecosystem without affecting the ecological water use, the use of the core technology of the mixture of sandstone and sand can effectively improve soil quality and productivity of the agricultural ecosystem.

Key words Sandy land agricultural ecosystem; Limiting factor; Groundwater; Soil improvement

毛乌素沙地地处森林-草原-荒漠的“生态应力带”^[1], 是我国北方的农牧交错带, 在这一片广袤的沙地上, 农业和牧业并存, 这种特殊的生态交错带成为我国重要的生态屏障区^[2]。生态交错带是相邻生态系统之间的过渡带, 其特征由相邻的生态系统之间相互作用的空间、时间及强度决定, 即生态交错带是两个不同性质斑块的交界以及各自的边缘所构成的斑块过渡带^[3]。

生态交错带的边缘效应分为正效应和负效应, 神木县毛乌素沙地这一生态交错带表现出负效应, 生态环境脆弱, 抵抗力稳定性差, 其平衡状态很容易受到自然或人为破坏。神木县毛乌素沙地农业生态系统是由农田、草地、林地组成的复合型生态系统, 长期以来生产力处于较低水平, 导致当地生活水平低下。当地人民为增加收入、提高生活水平, 广种薄收并且过度放牧, 加剧了该生态系统的土地沙化和水土流失。笔者研究了神木县毛乌素沙地农业生态系统的非生物生态因子, 提出了改善该生态系统限制因子的方法, 旨在为改善该农业生态系统及提高生产力提供决策依据。

1 研究区概况

1.1 行政区划 毛乌素沙地又称为鄂尔多斯沙地, 其名字起源于陕北靖边县海则滩乡毛乌素村。最初的小毛乌素沙地范围是指陕北长城沿线自定边孟家沙窝至靖边高家沟乡的连续沙带, 由于它与内蒙古鄂尔多斯高原东南部伊克昭盟沙地连为一体, 因此将二者联合起来称之为“毛乌素沙地”。毛乌素沙地地处 107°20'~111°30' E, 37°30'~39°20' N, 总面积约 4×10^4 km², 是鄂尔多斯高原向陕北高原的过渡地带。在行政区划上, 毛乌素沙地包括内蒙古自治区鄂尔多斯南部的乌审旗全部、伊金霍洛旗全部、鄂托克旗东南部、鄂托克前

旗东部、杭锦旗东南部、准格尔旗西南部, 陕北的榆林市、神木县、横山县、靖边县、定边县、佳县, 以及宁夏回族自治区盐池县的东北部共 13 个县(市、旗)。研究区位于毛乌素沙地东缘, 黄河中游, 长城沿线, 陕西省北端, 约在 109°40'~110°54' E, 38°13'~39°27' N, 地理位置如图 1 所示。



图 1 毛乌素沙地行政区划

Fig. 1 Mu Us Sandland administrative map

1.2 地貌特征 毛乌素沙地神木县沙区地势西北高、东南低, 处于黄土丘陵沟壑区向内蒙古草原过渡地带, 地貌以明长城为界, 北部为风沙草滩区, 南部为丘陵沟壑区, 海拔 738.7~1 448.7 m。其地质构造属鄂尔多斯地台, 又称陕北构造盆地, 地台基底属前震旦纪, 从震旦纪开始连续接收沉积形成地台, 基底覆盖层主要是古生代和新生代沉积岩。第四纪以来, 长城以北在流水、风力、重力和霜冻等外力作用下, 形成了连绵的沙丘和沙地, 长城以南则由于风成黄土的堆积, 形成了黄土高原, 在流水侵蚀和切割下, 形成了沟壑纵横、河谷深切的特殊地貌。

1.3 植被类型 据统计, 毛乌素沙地双子叶植物有 71 科 319 属 879 种, 单子叶植物有 16 科 84 属 202 种, 裸子植物有

作者简介 马钢(1987—), 男, 河南南阳人, 助理工程师, 硕士, 从事土地开发整理工作。* 通讯作者, 在读博士, 从事土地开发整理及土地工程技术研究。

收稿日期 2016-11-14

3 科 7 属 12 种,蕨类植物有 8 科 10 属 13 种,共计 98 科 420 属 1 106 种。神木县属于中温带荒漠草原植被类型区,建群种主要由典型旱生和广旱生植物组成,主要植被类型为沙蒿半灌丛,另有沙柳、长芒草、针茅、冷蒿、杨树、旱柳、沙柳、紫穗槐、沙打旺、草木樨、紫花苜蓿、长柄扁桃等植被生长,植被覆盖率不足 7%。神木县毛乌素沙地粮食作物以糜子、大豆、洋芋、谷子、玉米等旱地作物为主,间杂红枣、绿豆、向日葵、蔬菜等经济作物,生长期较长,作物熟制为一年一熟。

2 农业生态系统非生物生态因子分析

2.1 光因子 毛乌素沙地光照充足,是我国太阳能最为丰富的地区之一,年均日照时数 2 752.9 h,年均太阳辐射量 604.02 kJ/cm²。与同纬度的华北平原相比,毛乌素沙地年均日照时数高出 200~300 h,年均太阳辐射量高出 41.86~83.72 kJ/cm²[4]。充足的光照完全能够满足毛乌素沙地农业生态系统的需要,但是受到水和土壤条件的限制,该区光能利用率仅有 0.1%~0.3%,太阳能利用潜力巨大[5]。毛乌素沙地神木县沙区是陕西省多日照、强辐射区之一,年均日照时数 2 876.0 h,日照百分率 65.0%,太阳年总辐射量 593.97 kJ/cm²,生物辐射量为 296.78 kJ/cm²,适宜作物生长和干物质积累。

2.2 温度因子 毛乌素沙地不仅是太阳能最为丰富的地区之一,也是我国热量比较丰富的地区。毛乌素沙地大部分属温带,位于季风区,昼夜、冬夏温差大,年均温度 6.10~8.15℃,1 月平均气温全年最低,为 -7.5~-8.6℃,7 月平均气温全年最高,为 22.2~23.4℃。毛乌素沙地无霜期 150~170 d,≥10℃的天数为 154~203 d,≥10℃的活动积温 2 900~3 300℃[4]。笔者研究了毛乌素沙地神木县沙区锦界镇的温度情况,发现该地区热量资源虽然低于毛乌素沙地热量资源均值,但也较为丰富,多年平均气温 6.9℃,极端高温 41.2℃。极端低温 -29℃,春季(3~5 月)平均气温 8.8℃,夏季(6~8 月)平均气温 20.9℃,秋季(9~11 月)平均气温 7.1℃,冬季(12~2 月)平均气温 -9.2℃。历年神木县锦界镇月平均气温见表 1。积温分布与气温分布基本相似,≥0℃的天数 230 d,平均积温 3 303℃,其中,≥5℃的天数 190 d,平均积温 3 090℃,这 190 d 中,≥10℃的天数 140 d,平均积温 2 543℃。整体来说,毛乌素沙地温度比高纬度沙地有明显优势,但与同纬度华北平原差异不大。对神

表 1 历年神木县锦界镇月平均气温

Table 1 Monthly average temperature over the years in Jinjie Town of Shenmu County ℃

月份 Month	温度 Temperature	月份 Month	温度 Temperature
1	-11.3	7	22.1
2	-7.0	8	20.4
3	1.4	9	14.4
4	9.2	10	7.8
5	15.8	11	-1.0
6	20.3	12	-9.2
全年平均 Mean of whole year			6.9

木县毛乌素沙地热量资源进行分析发现,该热量资源对粮食作物而言,完全满足一料作物生长并获得高产,但不足以满足两料作物生长需要。

2.3 水因子

2.3.1 降水。毛乌素沙地神木县沙区属中温带干旱半干旱气候区,具有明显的大陆性干旱半干旱季气候特征,多年平均降水量 440.8 mm,全年降水量分布不均匀,雨季在 7—9 月。其中,研究区锦界镇多年平均降水量 365.1 mm,春季平均降水量 47.2 mm,占全年降水量的 12.92%;夏季雨水集中,平均降水量 233.9 mm,占全年降水量的 64.06%;秋季平均降水量 77.5 mm,占全年降水量的 21.22%,其中 9 月降水量占秋季降水量的 66.58%;冬季平均降水量 6.6 mm,以雪为主,占全年降水量的 1.80%。历年神木县锦界镇月平均降水量见表 2。

表 2 历年神木县锦界镇月平均降水量

Table 2 Monthly average rainfall over the years in Jinjie Town of Shenmu County

季节 Season	月份 Month	月平均降水量 Monthly average rainfall//mm	季平均降水量 Seasonal average rainfall//mm	占全年总量 百分比 Proportion in total amount of whole year//%
春季 Spring	3	12.1	47.2	12.92
	4	15.2		
	5	19.8		
夏季 Summer	3	49.0	233.9	64.06
	4	88.7		
	5	96.2		
秋季 Autumn	3	51.6	77.5	21.22
	4	19.1		
	5	6.8		
冬季 Winter	3	1.8	6.6	1.80
	4	2.0		
	5	2.7		
年均降水量 Annual average rainfall//mm		365.1	365.1	100

2.3.2 地表水。毛乌素沙地境内有 38 处较大的湖泊,黄河水系的无定河、窟野河、思图河等河流为外流河,其余均为内陆河,其中 13 条较大的内陆河年平均径流量约 $7.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。这些河流和湖泊多属于间歇河湖,随季节变化水量变化很大,干旱时,一些河流和湖泊甚至消失,地表水资源水量无法保障,难以满足该沙地农业生态系统的需要。

2.3.3 地下水。毛乌素沙地神木县沙区地下水总储量约 $120.5 \times 10^8 \text{ m}^3$,可利用量 $5.66 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,第四系松散层潜水水量较丰富,水位浅,水质好,下伏基岩潜水水量较小。第四系松散岩类孔隙水属于长城沿线以北风沙草滩区中强富水区域,含水层主要是上更新统冲积相、湖积相粉细砂、亚砂土。据相关资料成果分析,该区含水层主要是萨拉乌素组沉积细砂、中砂,层厚度在 5~90 m,水位埋深 1~5 m。该区第四系潜水补给途径为大气降水、地下水侧向径流补给、凝结水补给以及灌溉回归补给。

研究区面积 157.34 hm²,笔者根据研究区多年平均降水量和相关资料,计算了研究区降水入渗量、侧向径流补给量、潜水蒸发量、侧向径流排泄量、越流排泄量,得到研究区潜水多年平均可开采量为 42.46 × 10⁴ m³/a,75% 保证率下可开采量为 38.01 × 10⁴ m³/a,生态用水量取可开采量的 10%,即 3.80 × 10⁴ m³/a,75% 保证率下可供水量为 34.21 × 10⁴ m³/a。研究区计划种植马铃薯 151.42 hm²,设计喷洒水利用系数为 80%,灌溉保证率 75%,依据《陕西省作物需水量与分区灌溉模式》和《陕西省行业用水定额》,确定喷灌面积 103.20 hm² 需水 17.42 × 10⁴ m³/a,边角地区地理低压管道灌溉面积 48.22 hm² 需水 14.47 × 10⁴ m³/a,研究区总共灌溉需水 31.87 × 10⁴ m³/a,75% 保证率下供需平衡差为 2.34 × 10⁴ m³/a。可见,研究区地下水分布面广,埋深较浅,储量丰富,天然补给量大,水质良好,易于开发利用,这些地下水资源除了可以满足当地人们的生活用水、农业灌溉用水外,还可满足能源开发和生态环境建设的需要。但限于当地的社会经济条件,丰富的地下水尚未被有效地利用于生活和生产,因此水资源成为该农业生态系统限制性非生物因子。

2.4 土壤因子 毛乌素沙地神木县沙区属于风沙草滩区,地势较为平坦,沙丘呈东北—西南排列,相对高差 5~10 m,最高高差超过 40 m。沙地基底多为疏松易风化的中生代杂色沙页岩,地面物质多为风沙土,另有少量绵沙土和微量淤土。在强烈的西北风吹蚀作用下,该区沙丘沙地绵延不断,形成的风沙地貌类型主要有沙丘、沙地、沙丘草滩、草滩盆地、覆沙黄土梁及风沙河谷等。风沙土为吹扬沙土堆积而成,松散无结构。绵沙土由风沙土发育而来,土壤粒径小于风沙土,持水性和养分略优于风沙土。2 种土壤养分含量低,土壤物理性质不良,保水保肥能力差,易受干旱威胁。风沙土典型剖面土壤理化性状:有机质 2.50 g/kg,碱解氮 26.00 mg/kg,有效磷 2.17 mg/kg,速效钾 22.53 mg/kg,pH 6.80。由此可知,风沙土养分含量处于末级含量水平,有机质、碱解氮、有效磷、速效钾含量均极为贫乏,严重制约着该地农业生态系统生产力的提高,因此土壤因子是该农业生态系统的另一个限制性非生物因子。

3 农业生态系统水因子和土壤因子改善改良措施

3.1 水因子改善措施

3.1.1 合理确定采水机井开采目的层。根据研究区地下水情况,以及研究区附近已成井资料和已成井结构调查分析,综合考虑需水量和地下水补给量的动态平衡、水质可靠性、机井开凿经济性等因素,确定该区采水机井取水层应以第四系松散层空隙潜水为开采目的层。

3.1.2 科学设计井型井位。经过资料收集分析,发现需开凿静水位 3 m,动水位 23 m,井深 90 m 的潜水完整井,出水量可达 50 m³/h。在此条件下,单井可控制喷灌面积 16.46 hm² 和低压管道灌溉面积 9.26 hm²。依据《农业机井技术规范》确定喷灌井距应为 405 m,低压管道灌溉井距应为 304 m,即可满足研究区农业生态系统对水因子的需要。

3.2 土壤因子改良措施 在沙地开发利用中,改良土壤的

传统做法是拉运黄土覆盖在沙土上,以达到土壤保水保肥的效果。但是毛乌素沙地神木县沙区周边黄土土源稀缺,长途拉运费用过高,且长距离拉土过程中洒落的土壤会对拉运途中经过的区域造成严重的环境污染和空气污染。此外,长距离拉运土方耗时较长,还会导致沙地治理周期变长。因此,使用拉运黄土覆盖沙土法治理毛乌素沙地神木县沙区并不现实。

毛乌素沙地神木县沙区境内广泛分布着砒砂岩和沙子,砒砂岩的特点是无水干结时坚硬如石、遇水则松软如泥,沙子的特点是结构松散、漏水漏肥,这 2 种特殊物质的广泛分布,导致该区土地沙漠化和砒砂岩的水土流失这“两害”共生,严重制约着该地区农业生态系统生产力的提高。然而,这“两害”特性是互补的,有学者对此进行了研究,结果表明,砒砂岩有丰富的粉粒,具有良好的持水性,与沙性质互补,若与沙进行复配,存在成土的可能性^[6]。学者对基于这二者的特性互补,从而对复配成土的可能性进行了大量的室内配比试验及项目实践应用,均取得了理想的效果,表明复配土壤可以满足作物的生长需求,并形成了砒砂岩与沙复配成土核心技术体系^[7-11]。因此,使用砒砂岩与沙复配成土核心技术改良毛乌素沙地神木县沙区风沙土壤,是提高该区农业生态系统生产力经济而有力的手段。

4 结语

影响毛乌素沙地神木县沙区农业生态系统的主要非生物生态因子包括光照、温度、水、土壤等。经过分析,该农业生态系统光照和温度较为充足,满足作物生长需要,光因子和温度因子不是该农业生态系统的限制因子。毛乌素沙地神木县沙区地表水难以保障该农业生态系统的需要,但地下水分布面广,埋深较浅,储量丰富,天然补给量大,水质良好,易于开发利用,可满足当地的生活用水、农业灌溉用水、能源开发用水及生态环境建设用水。之所以水因子成为该农业生态系统的限制因子,主要是由于当地的社会经济条件差,无力开采丰富的地下水。对当地进行投资,使用科学方法确定采水机井开采目的层和科学设计井型井位并合理利用机井进行灌溉,既可解除水因子对该农业生态系统的限制,又能保持当地的水生态平衡。该农业生态系统的另外一个限制因子是土壤因子,通过使用砒砂岩与沙复配成土核心技术即可进行改良,获得适合作物生长的土壤,从而提高该农业生态系统的生产力。可见,毛乌素沙地神木县沙区是很有潜力的高标准农田后备资源,采用科学合理的技术和措施对其进行开发利用,是坚守我国 18 亿亩耕地红线的强有力保证。

参考文献

- [1] 刘燕华,李秀彬.脆弱生态环境与可持续发展[M].北京:商务印书馆,2001:21-31.
- [2] 徐小玲,延军平.毛乌素沙地的脆弱性与可持续发展研究[J].干旱区研究,2004,21(3):286-289.
- [3] HOLLAND M M. SCOPE/MAB technical consultations on landscape boundaries: Report of a SCOPE/MAB workshop on ecotones[J]. Biologic international (Special issue), 1988, 17:47-106.
- [4] 北京大学地理系.毛乌素沙区自然条件及其改良利用[M].北京:科学出版社,1990.

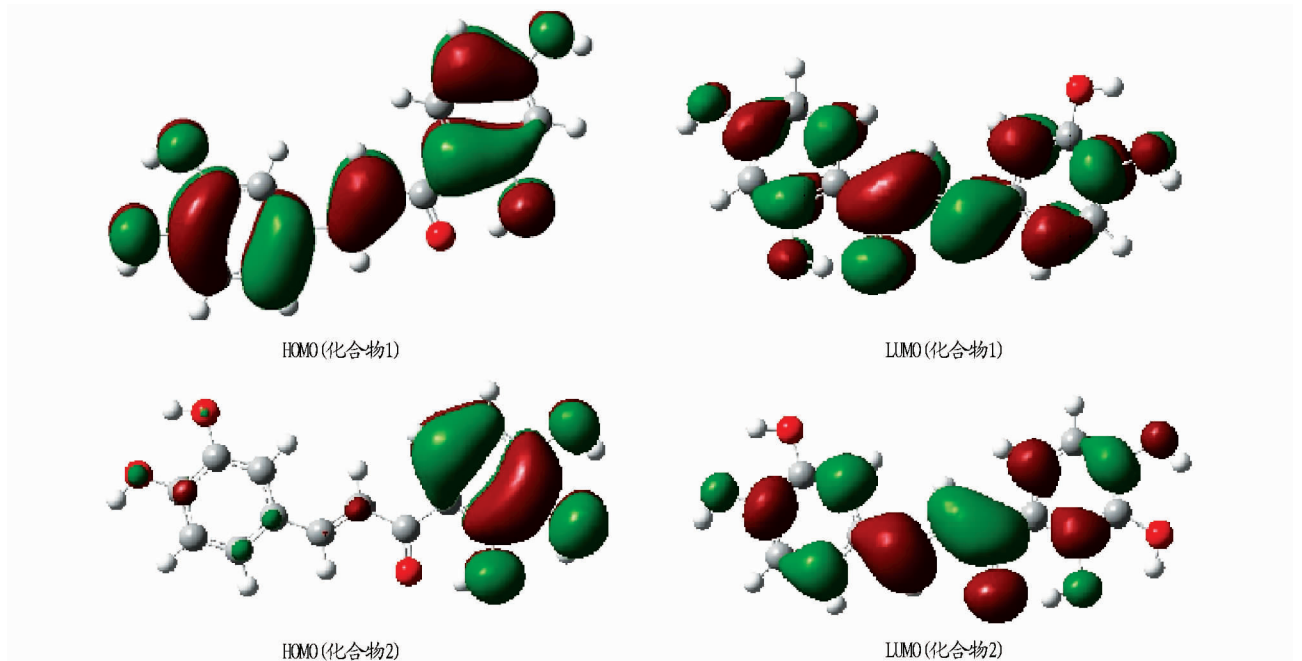


图2 昆仑雪菊中2个查尔酮化合物分子的最高能量占有轨道与最低能量空轨道

Fig. 2 HOMO and LUMO of two chalcone compounds

表3 昆仑雪菊中2个查尔酮化合物的轨道能量

Table 3 Orbital energy of two chalcone compounds in Kunlun chrysanthemum eV

化合物 Compound	E_{LUMO}	E_{HOMO}	$\Delta E_{LUMO-HOMO}$
1	-2.461 688 7	-6.194 628 6	3.732 939 9
2	-2.539 237 2	-6.198 982 2	3.659 745 0

3 结论与讨论

该研究通过量子化学密度泛函理论(DFT)方法在B3LYP/6-311++G(d,p)计算水平下研究了昆仑雪菊中2个查尔酮化合物的电子结构、酚羟基氢键解离能以及分子轨道能级差。结果发现,化合物2的抗氧化活性要强于化合物1,主要原因是由于化合物2分子结构中的酚羟基数目及分子内形成的氢键数目多于化合物1,化合物2分子中最低空轨道与最高占有轨道能级差低于化合物1。理论模型预测结果与试验结果一致,从量子化学微观水平解释了试验观察到的结果。该研究初步评估了2个查尔酮化合物抗氧化活性

的大小顺序,为今后该药物的开发与药理活性的研究提供了理论指导。

参考文献

- [1] 王建英,任引哲,王迎新. 氧自由基与人体健康[J]. 化学世界,2006(1): 61-63.
- [2] 吕娜. 抗氧化食品的研究进展[J]. 产业与科技论坛,2014,13(19): 101-102.
- [3] 熊正英. 自由基生物学在运动医学中的应用研究[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版),2014,42(6):100-108.
- [4] 刘宏,赵金垣. 自由基在理化因素致肺癌中的作用[J]. 环境与健康杂志,2008,25(1):85-87.
- [5] 杨崇武. 植物源性天然抗氧化物质对食物抗氧化保护研究进展[J]. 安徽农业科学,2013,41(17):7676-7678.
- [6] 胡栋宝,赵剑雄. 中药满山红中4个黄酮类化合物结构及其抗氧化活性的理论研究[J]. 中国中药杂志,2016,41(14):2675-2679.
- [7] 齐婧敏. 几种天然黄酮类化合物清除自由基活性的密度泛函理论研究[D]. 新乡:河南师范大学,2014:52.
- [8] 杨英土,陈伟,杨海燕,等. 昆仑雪菊中2个黄酮类化合物的分离鉴定及其抗氧化活性评价[J]. 南京农业大学学报,2014,37(4):149-154.
- [9] 张鑫,杨英杰,吕庆章. 4种甘草黄酮类化合物抗氧化活性的密度泛函理论研究[J]. 计算机与应用化学,2012,29(6):656-660.
- [10] 张鑫,杨英杰,吕庆章. 黄芪异黄酮类化合物抗氧化活性的密度泛函理论研究[J]. 化学研究与应用,2012,24(11):1662-1669.

(上接第88页)

- [5] 亢福仁,王鹏科,王立祥. 毛乌素沙地农业生态系统分析及评价[J]. 干旱地区农业研究,2006,24(4):160-163.
- [6] HAN J C, XIE J C, ZHANG Y. Potential role of feldspathic sandstone as a natural water retaining agent in mu us sandy land, Northwest China[J]. Chinese geographical science, 2012, 11(5): 550-555.
- [7] 韩霁昌,刘彦随,罗林涛. 毛乌素沙地砒砂岩与沙快速复配成土核心技术研究[J]. 中国土地科学,2012,26(8):87-94.
- [8] 韩霁昌,付佩,王欢元,等. 砒砂岩与沙复配成土技术在毛乌素沙地土

- 地整治工程中的推广应用[J]. 科学技术与工程,2013,13(25):7287-7293.
- [9] 韩霁昌,李娟,李晓明. 砒砂岩与沙复配成土的物理性状及其对冬小麦产量的影响[J]. 西北农业学报,2013,22(11):15-19.
- [10] 张露,韩霁昌,罗林涛,等. 砒砂岩与风沙土复配土壤的持水特性研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(2):207-214.
- [11] 张露,韩霁昌,马增辉,等. 砒砂岩与沙复配“土壤”的质地性状[J]. 西北农业学报,2014,23(4):166-172.