

贝壳砂生境典型灌草植被的土壤水分生态特征

孙一惠^{1,2}, 夏江宝¹, 任冉冉^{1,3}, 赵自国¹

(1. 滨州学院 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室, 山东 滨州 256603; 2. 北京林业大学 水土保持学院, 北京 100083;
3. 山东农业大学 林学院, 山东 泰安 271018)

摘要: 为探讨黄河三角洲贝壳堤岛典型灌草植被的土壤蓄水及持水性能,选取贝壳砂生境的酸枣(*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*)、杠柳(*Periploca sepium*)和二色补血草(*Limonium bicolor*) 3种典型植被,以裸地作为对照,测定分析不同植被类型下的土壤颗粒组成、水分物理参数和土壤水分特征曲线,以明确贝壳砂生境不同植被类型的土壤水分生态特征。结果表明:(1)贝壳砂生境下,不同灌草植被均具有减少石砾和粗砂粒、增加细砂粒和粉黏粒含量的作用,其中酸枣林可显著减少粗砂粒、增加粉黏粒含量;杠柳林可显著减少石砾、增加细砂粒含量;草本对减少粗砂粒和石砾含量、增加细砂粒和粉黏粒含量的作用较弱。(2)灌草植被可显著提高贝壳砂的蓄水能力,其中酸枣林最强,杠柳林次之,草本最差。0~30 cm 土层的有效含蓄量和含蓄降雨量均值均表现为酸枣林>杠柳林>草地>裸地。(3)0~30 cm 的酸枣林贝壳砂持水能力最强,杠柳林次之,草本最差;同一植被类型下 0~15 cm 贝壳砂的持水能力显著高于 15~30 cm 的持水能力。贝壳砂生境 3 种植被类型改善土壤物理性质及蓄水保土功能表现为灌木林优于草地,其中酸枣林的蓄持水分能力最强,杠柳林次之,草本最差。酸枣更适于贝壳砂生境退化生态系统的植被恢复。

关键词: 土壤粒径; 土壤水分; 蓄水; 水分特征曲线; 植被; 黄河三角洲

文章编号: 1000-694X(2018)01-0133-07

DOI: 10. 7522/j. issn. 1000-694X. 2017. 00064

中图分类号: S152. 7

文献标志码: A

0 引言

贝壳堤岛由海生贝壳及其碎片和细砂、粗砂、粉黏粒组成,是与海岸大致平行或交角很小的堤状地貌堆积体,具有自己独特水文、土壤与生物特性。黄河三角洲境内拥有目前世界上保存最完整且新老堤并存的贝壳堤岛。近几年来,由于风暴袭击、海岸侵蚀等自热因素和乱挖贝壳砂资源、盲目发展滩涂养殖、乱砍滥伐等人类活动急剧增加,黄河三角洲贝壳堤岛这一独特的生态系统遭到严重破坏,植被面积逐年减少,生物多样性锐减。目前许多学者对黄河三角洲贝壳堤岛的研究主要集中在贝壳堤岛土壤盐分的空间分布特征^[1]、微生物多样性及其活性^[2]、怪柳(*Tamarix chinensis*)水分和盐分胁迫适应机制^[3-4]、土壤颗粒分形特征^[5]等方面,而对该区域主要灌草植被恢复措施下的贝壳砂土壤粒径组成及贝壳砂生境土壤水分特性等的研究还不深入,导致该区域植被类型选择和植树造林的水分管理缺少理论指导。

土壤中各固体组分的大小、数量、形状及其结合方式决定着土壤的质地与结构,并进而影响土壤的物理性质^[6]。土壤粒径组成是土壤结构的重要组成部分之一,定量描述土壤粒径组成是研究土壤结构的重要内容^[7]。土壤与植物之间的关系是二者长期生存适应的结果,植物通过与土壤之间的相互作用,会对土壤的发育产生影响,进而改变土壤中各粒级颗粒的百分含量^[8]。土壤水分对植被分布格局及生物生产力影响较大^[9-10],而植被通过改善土壤理化性质以及植物水分传输、蒸腾耗散等过程影响着土壤蓄持水分能力和水分渗透性能^[11-12]。土壤水分特征曲线是研究土壤水分运动、调节利用土壤水分、改良土壤结构等方面最重要和最基本的工具^[13]。土壤水分特征曲线可反映土壤的持水性和土壤水分的有效性,对了解土壤中各级大小孔隙的分布,以及定量分析土壤水分运动特征具有重要的作用。土壤水分是贝壳堤生境的主要影响因素,贝壳砂土壤本身导热性强,受干热气候的影响,土壤温度变化较快,对

收稿日期: 2017-07-11; **改回日期:** 2017-08-17

资助项目: 国家自然科学基金项目(31770761); 山东省自然科学基金重点项目(ZR2015JL014); 山东省重点研发计划项目(2017GSF17104)

作者简介: 孙一惠(1993—),男,山东菏泽人,硕士研究生,主要从事水土保持研究。E-mail: syh2222222@163.com

通信作者: 夏江宝(E-mail: xiajb@163.com)

土壤水汽运动产生较大影响。但目前对土壤水分的研究主要集中在黄土丘陵区 and 土石山区,而对贝壳堤生境土壤水分的研究较缺乏,在一定程度上影响了该区域的植被恢复与重建。上述自然和人为因素强烈干扰甚至破坏了贝壳堤岛生态系统的平衡,造成黄河三角洲贝壳堤岛生态系统退化,而土壤水分与植被相互关系的研究可为贝壳堤退化生态系统的恢复提供植被水分生态管理及植物种选择方面的依据。

本文以黄河三角洲贝壳砂生境的酸枣(*Ziziphus jujuba* var. *spinosa*)、杠柳(*Periploca sepium*)、二色补血草(*Limonium bicolor*) 3 种典型灌草植被为研究对象,并以裸地为对照,测定分析不同植被类型下的土壤颗粒组成、毛管贮水量、非毛管贮水量以及土壤贮水量等参数;采用 CR21N 高速冷冻离心机测定不同植被类型的土壤水分特征曲线,探讨不同植被类型对土壤物理结构的改良作用及贝壳砂的蓄持水分能力,以期为黄河三角洲贝壳堤岛灌草种类选择及模式构建提供理论依据和技术参考。

1 研究区概况

无棣贝壳堤岛位于山东省滨州市无棣县西北部渤海西南岸。境内北部分布两列古贝壳堤,本实验设置于埕口镇东北,大口河—旺子堡—赵砂子一线,此岛长近 22 km,由 40 余个贝壳岛组成,属裸露开敞型。该区属典型的暖温带半湿润气候,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥,年平均气温为 12℃,年平均降水量 650 mm,集中在 7—8 月,年平均蒸发量为 2 500 mm。贝壳堤岛地势平坦,海拔一般在 5.0 m 以下,潜水水位浅,矿化度高。贝壳砂厚度 1.0~2.5 m,局部达 4.0 m,土壤类别主要是贝壳砂土类和滨海盐土类。贝壳堤岛的植被类型以草本、灌木为主,主要为酸枣、杠柳、怪柳等形成的天然次生灌木林,草本以砂引草(*Messerschmidia sibirica*)、獐毛(*Aeluropus sinensis*)、二色补血草等为主^[1]。

2 材料与方法

2.1 样地设置

2015 年 3 月,在黄河三角洲贝壳堤岛灌草植被集中分布的地带,选择生境条件一致的酸枣、杠柳天然次生灌木林,及以二色补血草为主的草地共 3 种植被类型,并以相同地段的贝壳砂裸地作为对照。在每种植被类型内设置 3 个面积为 10 m×10 m 的样地,在每样地上随机选取 5 个测点。并按照 0~15 cm、15

~30 cm 两个土层进行土壤样品的采集与测试。

2.2 土壤颗粒组成和土壤水分物理参数的测定

室内试验于 2015 年 4—5 月在滨州学院黄河三角洲生态环境重点实验室进行。以干筛法和湿筛法分别测定土壤各粒径的组成含量;以环刀法测定毛管贮水量、非毛管贮水量、土壤贮水量、有效含蓄量及涵蓄降雨量等土壤水分物理指标。

2.3 土壤水分特征曲线的测定

2015 年 3 月在取样地用离心机配套的环刀取土样,将取回的土样带回实验室放进托盘中,加入蒸馏水与环刀上表面齐平,浸泡 48 h,使其达到饱和状态,取出称重。将环刀放进装有土样的离心盒,配平并盖上盖子,放入到 CR21N 型(HITACHI,日本)高速冷冻离心机转子中,设定转子室温度;设定 10 个不同的转速,依次设定为 500、1 000、1 500、2 000、2 500、3 000、4 000、5 000、6 000、7 000 r·min⁻¹,设定离心时间为 100 min;每次离心结束后,用游标卡尺量出去盖后的离心盒的顶端到土样表面的距离,并称取土样和环刀的重量。所有转速的离心结束后,将土样放入烘箱中,设定温度 105℃,烘 24 h,然后再称重。根据所得数据可计算出不同转速下所对应的土壤含水量(%)和吸力值(cm)^[14],并根据 1 cm 水柱等于 98.0661 Pa 把单位 cm 换算成 Pa,从而得到土壤水分特征曲线。并采用 Gardner 等^[15]提出的土壤水分特征曲线数学经验方程进行拟合,方程为:

$$\theta = AS^{-B}$$

式中: θ 为土壤含水量,单位为%; S 为土壤吸力,单位为 kPa; A 和 B 均为参数。参数 A 表示曲线的高低程度,即土壤持水能力的大小, A 值越大,土壤持水能力就越强; B 表示曲线的走向,即土壤含水量随土壤水吸力降低而递减的快慢。

3 结果与分析

3.1 不同植被类型的土壤颗粒组成

由表 1 可知,不同植被类型的贝壳砂土壤中,0~30 cm 土层粗砂粒含量最高,为 37.13%~57.55%,平均为 47.86%;石砾含量次之,为 20.59%~46.65%,平均为 33.02%;细砂粒含量为 5.84%~20.09%,平均为 17.04%;粉黏粒含量最低,为 0.34%~6.57%,平均为 2.08%。这表明贝壳砂生境内粗砂粒含量高于石砾,而细砂粒和粉黏

粒含量最低。3 种植被类型下 0~30 cm 土壤剖面中粗砂粒均值酸枣林<草地<杠柳林，分别比裸地低 4.84%、0.67%、0.33%。石砾均值杠柳林<草地<酸枣林，分别比裸地低 9.30%、4.67%、2.66%。细砂粒均值杠柳林>酸枣林>草地，分别比裸地高 8.29%、5.79%、4.99%。粉黏粒均值酸枣林>杠柳林>草地，分别比裸地高 3.42%、2.70%、0.68%。这表明酸枣林减少粗砂粒含量、增加粉黏粒含量的作用表现十分明显，杠柳林减少石

砾含量、增加细砂粒含量的作用表现十分明显，草地减少粗砂粒和石砾含量、增加细砂粒和粉黏粒含量的作用表现不如酸枣林、杠柳林明显。垂直分布上，不同灌草植被类型下的土壤颗粒分布存在着一定的差异，除酸枣林外，其他植被类型粗砂粒含量均表现为 0~15 cm 低于 15~30 cm。石砾含量均表现为 0~15 cm 高于 15~30 cm。除草地外，其他植被类型细砂粒含量均表现为 0~15 cm 低于 15~30 cm。粉黏粒表现不明显。

表 1 干筛法测定各种植被类型下不同粒径范围土壤颗粒质量占总质量百分比(单位:%)

Table 1 Ration of soil particle mass of different size to total mass in different vegetation types by dry sieving method (unit:%)

| 植被类型 | 土层深度 /cm | 石砾 | | 粗砂粒 | | 细砂粒 | 粉黏粒 |
|------|-------------|--------|--------------|--------------|---------------|----------------|-----------|
| | | >2 mm | 2. 0~1. 0 mm | 1. 0~0. 5 mm | 0. 5~0. 25 mm | 0. 25~0. 05 mm | <0. 05 mm |
| 酸枣林 | 0~15 | 18. 46 | 17. 94 | 34. 74 | 10. 34 | 17. 49 | 1. 03 |
| | 15~30 | 15. 73 | 19. 90 | 29. 57 | 7. 56 | 20. 67 | 6. 57 |
| 杠柳林 | 0~15 | 6. 29 | 18. 59 | 33. 90 | 12. 48 | 23. 07 | 5. 67 |
| | 15~30 | 4. 78 | 15. 81 | 39. 66 | 14. 18 | 25. 09 | 0. 48 |
| 草地 | 0~15 | 19. 53 | 17. 90 | 30. 03 | 11. 31 | 20. 30 | 0. 93 |
| | 15~30 | 9. 11 | 17. 46 | 40. 05 | 17. 50 | 14. 70 | 1. 18 |
| 裸地 | 0~15 | 18. 77 | 27. 88 | 33. 48 | 13. 69 | 5. 84 | 0. 34 |
| | 15~30 | 15. 60 | 20. 42 | 41. 06 | 13. 32 | 9. 18 | 0. 42 |

土壤颗粒组成差异性除了与土壤母质、物理化学风化过程有关外，还与植被类型^[16-18]、根系含量^[19]有一定关系，而不同植被类型下土壤颗粒组成这一差异与植被覆盖度高、生物量大、根系发达有一定的关系。根系的生长影响土壤的物理化学以及生物学性质，加快了腐殖质的形成，有利于细沙粒物质的固定，而在无植被覆盖的地方，表层因风蚀而引起细颗粒和营养物质被吹蚀，土壤有粗粒化变重的趋势，粗砂粒含量最多，保水性最差，植被生长困

难^[20-21]。灌木林地和草地均具有减少石砾和粗砂粒的含量、增加细砂粒和粉黏粒的作用，这与杨慧玲等^[18]、吕圣桥等^[7]和夏江宝等^[5]研究结论相似。

湿筛法测定不同植被类型的土壤颗粒组，可较好地反映土壤团聚体水稳定性。由表 2 可知，湿筛法下 0~30 cm 贝壳砂土层粗砂粒含量最高，为 41.34%~71%，平均为 49.48%；石砾含量次之，为 12.54%~34.82%，平均为 26.76%；细砂粒含量为 5.54%~40.04%，平均为 19.47%；粉黏粒含量最

表 2 湿筛法测定各植被类型不同粒径范围土壤颗粒质量占总质量百分比(单位:%)

Table 2 Ration of soil particle mass of different size to total mass in different vegetation types by Yoder method (unit:%)

| 植被类型 | 土层深度 /cm | 石砾 | | 粗砂粒 | | 细砂粒 | 粉黏粒 |
|------|-------------|--------|--------------|--------------|---------------|----------------|-----------|
| | | >2 mm | 2. 0~1. 0 mm | 1. 0~0. 5 mm | 0. 5~0. 25 mm | 0. 25~0. 05 mm | <0. 05 mm |
| 酸枣林 | 0~15 | 14. 01 | 16. 05 | 22. 56 | 19. 33 | 22. 17 | 5. 88 |
| | 15~30 | 18. 59 | 16. 23 | 25. 78 | 17. 22 | 15. 91 | 6. 27 |
| 杠柳林 | 0~15 | 1. 51 | 31. 23 | 32. 93 | 12. 98 | 19. 38 | 1. 97 |
| | 15~30 | 11. 94 | 15. 53 | 33. 28 | 32. 61 | 5. 54 | 1. 10 |
| 草地 | 0~15 | 8. 86 | 17. 73 | 27. 72 | 16. 00 | 24. 94 | 4. 75 |
| | 15~30 | 3. 54 | 11. 80 | 60. 50 | 10. 50 | 9. 66 | 4. 00 |
| 裸地 | 0~15 | 10. 38 | 24. 10 | 29. 18 | 13. 90 | 18. 15 | 4. 29 |
| | 15~30 | 1. 46 | 11. 08 | 23. 02 | 18. 32 | 40. 04 | 6. 08 |

低,为 1.10%~6.27%,平均为 4.29%。与干筛法测定相比,湿筛法下各植被类型粗砂粒含量大致不变,石砾含量减少,细沙粒含量和粉黏粒含量增加。

土壤团聚体是土壤结构基本单元,其粒径分布及稳定性不仅影响着土壤的孔隙分布,还关系到水分在土表及土体内的迁移途径与方式。土壤水稳性团聚体的数量和稳定性是制约土壤抗蚀性和抗冲性的重要因子,常用>0.25 mm 水稳性团粒的含量表征。由表 2 可知,不同植被类型土壤水稳性团聚体各粒级的组成比例存在较大差异。>0.25 mm 水稳性团聚体含量杠柳林>草地>酸枣林,分别比裸地高 30.87%、19.18%、13.95%。这表明与裸地相比,灌木林地和草地的抗蚀性均有所提高,不同植被类型下土壤团聚体含量这一差异与土壤微生物^[22]、<1.0 mm 细根根系含量^[23-24] 有一定的关系,另外土壤团聚体的形成与土壤胶体含量也密切相关^[25]。土壤微生物通过直接改造或物理缠绕、分泌有机物或者改变土壤疏水性等机制影响土壤团聚体结构的形成和稳定,根系分泌物能显著提高水稳定性团聚体稳定性^[26],大粒径土壤团聚体是小粒径土壤团聚体在植物根系和菌丝共同缠绕作用下形成的,特别是植物细根能够提高大粒径团聚体的含量和土壤团聚体的总量^[24]。

3.2 不同植被类型的土壤蓄水性能

土壤蓄水能力的增强能有效渗蓄降水,防止水土流失的发生。由表 3 可以看出,不同植被类型下 0~30 cm 的土壤贮水量均值表现为酸枣林>草地>杠柳林,分别比裸地高 4.87%、3.61%、0.25%,表明不同灌草植被类型在减少地表径流、增加贝壳

砂土壤蓄水能力和防止贝壳砂水土流失方面具有一定的作用。土壤蓄水能力主要表现在土壤毛管贮水能力上,土壤毛管贮水能力越高,土壤蓄水能力就越强。不同植被类型下 0~30 cm 的毛管贮水量均值表现为杠柳林>酸枣林>草地,分别比裸地高 1.34%、0.71%、0.15%,表明不同灌草植被改善了土壤蓄水性能,但以杠柳林和酸枣林改善土壤蓄水性能最佳。0~30 cm 非毛管贮水量均值表现为杠柳林<草地<酸枣林<裸地,表明杠柳林地更利于贮存供植物生长利用的土壤水分。有效储蓄量大,有利于调节地表径流,增加土壤有效水,减少降水的无效损失和表土的流失。0~30 cm 有效储蓄量和含蓄降雨量均值均表现为酸枣林>杠柳林>草地>裸地,表明营造酸枣林、杠柳林和草地均可以改良土壤,减少地表径流,增加土壤水分。垂直结构上,裸地除外,其他植被类型均表现为 0~15 cm 的毛管贮水量小于 15~30 cm 的毛管贮水量。草地除外,其他植被类型均表现为 0~15 cm 的有效储蓄量小于 15~30 cm 的有效储蓄量。这表明同一植被类型下土壤下层水分优于表层,这与其上层受枯落物形成的腐殖质层改善土壤物理结构有较大关系^[27]。

土壤水源涵养性能主要受植被类型、土壤性质、枯落物等因素影响^[28],在土层厚度一定时,水源涵养性能主要取决于土壤的孔隙特性^[29],而土壤的孔隙特性受到土壤腐殖质层、植被覆盖度、根系等因素的影响^[5]。酸枣林、杠柳林和草地覆盖度分别为 93%、85%、80%,林下枯枝落叶较多,土壤腐殖质层较厚,植被较高的覆盖度在一定程度上减弱了风蚀和雨滴击溅侵蚀,且酸枣林和杠柳林具有比较广阔的地表根系,在一定程度上增大了土壤孔隙度,有效

表 3 不同植被类型的土壤蓄水指标
Table 3 Soil water-storage capacity in different vegetation types

| 植被类型 | 土层深度 /cm | 毛管贮水量 /(t·hm ⁻²) | 非毛管贮水量 /(t·hm ⁻²) | 土壤贮水量 /(t·hm ⁻²) | 有效储蓄量 /mm | 涵蓄降雨量 /mm |
|------|-------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------|
| 酸枣林 | 0~15 | 363.94 | 68.30 | 432.24 | 29.28 | 36.11 |
| | 15~30 | 419.47 | 33.00 | 452.47 | 35.47 | 38.77 |
| 杠柳林 | 0~15 | 386.30 | 12.40 | 398.70 | 31.44 | 32.68 |
| | 15~30 | 401.78 | 43.95 | 445.73 | 31.61 | 36.01 |
| 草地 | 0~15 | 384.39 | 59.15 | 438.54 | 29.94 | 35.86 |
| | 15~30 | 394.74 | 40.80 | 435.54 | 27.43 | 31.51 |
| 裸地 | 0~15 | 400.76 | 34.55 | 423.31 | 26.17 | 35.92 |
| | 15~30 | 377.17 | 69.15 | 420.32 | 29.30 | 30.81 |

地改善了土壤的透气状况,提高了土壤的蓄水性能。

3.3 不同植被类型的持水性能

土壤水分特征曲线是反映土壤水吸力与土壤含水量之间关系的基本土壤水力参数,通过土壤水分特征曲线能了解土壤的持水性、土壤水分的有效性。由图 1 可知:随着土壤吸力的增加,土壤含水量呈现减少的趋势。在吸力范围 0~100 kPa,土壤水分特征曲线均比较陡直,这是因为此吸力段毛管孔隙大,对土壤施加微小的吸力,大孔隙水分就会被释放能

有效地被植物根系所吸收的水分,所以曲线均比较陡直^[30];在吸力范围 0~100 kPa,各植被类型土壤释放的水分表现为酸枣林(8.5%)>草地(6.9%)>杠柳林(6.2%)>裸地(5.9%),此吸力下贝壳砂释放的水分可以直接为植物所利用,成为植物生长的有效水。在吸力范围 100 k~1 200 kPa,土壤得到了更大程度的压实,孔隙度减少,特别是大孔隙降低较大,中等孔隙则相对增加。此吸力阶段,随水吸力的提高,土壤水分特征曲线则变得比较平缓,裸地土壤水分特征曲线显示均比较平缓,各植被类型土壤

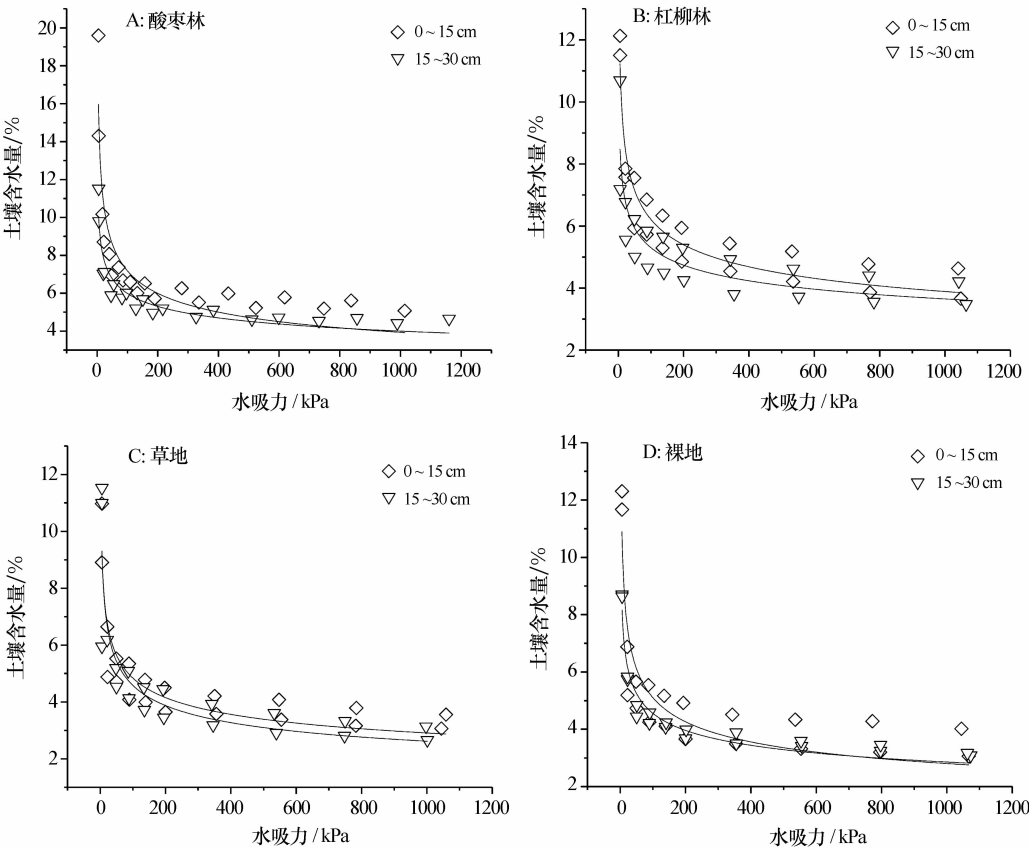


图 1 不同植被类型下不同土层的土壤水分特征曲线
Fig. 1 Water characteristic curves at different soil layers in different vegetation types

释放出较少的水。

由表 4 可知:采用 Gardner 等^[15]提出的经验方程对不同灌草植被类型模式土壤水分特征曲线进行拟合,具有较好的拟合性,决定系数 R^2 较高,为 0.772~0.936($P<0.001$)。不同植被类型下 0~15 cm 土壤层所对应的 A 值酸枣林>杠柳林>草地,分别比裸地高 41.14%、12.55%、5.13%。这表明 0~15 cm 酸枣林的持水能力最强,特别不容易失水,杠柳林次之,草地最差。不同植被类型下 15~30 cm 土壤层所对应的 A 值酸枣林>草地>杠柳林,分别比裸地高 15.74%、10.01%、0.49%。这表明

15~30 cm 酸枣林的持水能力最强,草地次之,杠柳林最差。植苗造林不仅减小了土层中的含盐量,还使得土壤结构得以改善,孔隙度增大^[31],这些因素均使造林地的持水性和有效水含量增大,土壤水分特征曲线异于裸地。相同植被类型下 0~15 cm 土壤层所对应的 A 值分别比 15~30 cm 土壤层所对应的 A 值高 53.64%、41.42%、20.67%、26.27%。这表明相同植被类型下 0~15 cm 的土壤持水能力比 15~30 cm 的土壤持水能力强,这与王丽琴等^[30]和尹勤瑞^[31]研究结论相似。不同植被类型下 0~15 cm 土壤层所对应的 B 值草地>裸地>酸枣林>杠

柳林,表现为随着土壤吸力的增加土壤含水量递减越来越慢,土壤水分特征曲线越来越趋于平缓。不同植被类型下 15~30 cm 土壤层所对应的 B 值草

地>裸地>酸枣林>杠柳林,依次表现为随着土壤吸力的增加土壤含水量递减越来越慢,依次表现为土壤水分特征曲线越来越趋于平缓。

表 4 土壤水分特征曲线的数学模型及相关参数

| Table 4 Soil moisture characteristic curve mathematical model and relevant parameter | | | | | |
|--|---------|--------|--------|---------------------------|-------|
| 植被类型 | 土层深度/cm | 参数 A | 参数 B | 数学模型 | R^2 |
| 酸枣林 | 0~15 | 18.408 | 0.200 | $\theta=18.408S^{-0.200}$ | 0.853 |
| | 15~30 | 11.981 | 0.151 | $\theta=11.981S^{-0.151}$ | 0.897 |
| 杠柳林 | 0~15 | 14.712 | 0.187 | $\theta=14.712S^{-0.187}$ | 0.892 |
| | 15~30 | 10.403 | 0.148 | $\theta=10.403S^{-0.148}$ | 0.772 |
| 草地 | 0~151 | 3.742 | 0.240 | $\theta=13.742S^{-0.240}$ | 0.915 |
| | 15~30 | 11.388 | 0.186 | $\theta=11.388S^{-0.186}$ | 0.833 |
| 裸地 | 0~15 | 13.071 | 0.203 | $\theta=13.071S^{-0.203}$ | 0.781 |
| | 15~30 | 10.352 | 0.178 | $\theta=10.352S^{-0.178}$ | 0.936 |

4 结论

灌木林和草地具有减少石砾和粗砂粒含量、增加细砂粒和粉黏粒的含量的作用,其中酸枣林减少粗砂粒含量、增加粉黏粒含量的作用表现十分明显,杠柳林减少石砾含量、增加细沙粒含量的作用表现突出,草地减少粗砂粒和石砾含量、增加细沙粒和粉黏粒含量的作用表现不如酸枣林和杠柳林明显。垂直结构上,0~15 cm 土壤因风蚀而引起细沙粒被吹蚀,土壤逐渐粗粒化。

灌木林和草地均能提高土壤蓄水性能,其中酸枣林的土壤蓄水能力最强,杠柳林次之,草地最差。在涵养降雨和有效水分供给方面酸枣林较好,其次是杠柳林,草地稍差。垂直结构上,裸地除外,其他植被类型均表现为 0~15 cm 的土壤蓄水能力小于 15~30 cm 的土壤蓄水能力。同一植被类型下土壤下层水分优于表层。

酸枣林的持水能力最强,其次是杠柳林,草地最差,其中同一植被类型下 0~15 cm 土壤的持水能力比 15~30 cm 的持水能力强。

参考文献:

[1] 董林水,宋爱云,孙景宽,等. 黄河三角洲贝壳堤岛土壤盐分空间分异特征[J]. 水土保持学报,2016,30(6):289-295.

[2] 范延辉,王君,王进宾. 黄河三角洲贝壳堤放线菌多样性及抑菌活性[J]. 土壤通报,2016,47(5):1142-1147.

[3] 朱金方,刘京涛,陆兆华,等. 黄河三角洲贝壳堤岛怪柳水分利用策略初步研究[J]. 湿地科学,2015,13(6):765-771.

[4] 孔庆仙,夏江宝,赵自国,等. 不同地下水矿化度对怪柳光合特征及树干液流的影响[J]. 植物生态学报,2016,40(12):1298-1309.

[5] 夏江宝,张淑勇,王荣荣,等. 贝壳堤岛 3 种植被类型的土壤颗粒分形及水分生态特征[J]. 生态学报,2013,33(21):7013-7022.

[6] 黄冠华,詹卫华. 土壤颗粒的分形特征及其应用[J]. 土壤学报,2002,39(4):490-497.

[7] 吕圣桥,高鹏,耿广坡,等. 黄河三角洲滩地土壤颗粒分形特征及其与土壤有机质的关系[J]. 水土保持学报,2011,25(6):134-138.

[8] 王贤,张洪江,程金花,等. 重庆四面山几种林地土壤颗粒分形特征及其影响因素[J]. 水土保持学报,2011,25(3):154-159.

[9] 安乐生,赵全升,叶思源,等. 黄河三角洲地下水关键水盐因子及其植被效应[J]. 水科学进展,2011,22(5):689-695.

[10] 贾国栋,余新晓,邓文平,等. 北京山区典型树种土壤水分利用特征[J]. 应用基础与工程科学学报,2013,21(3):403-411.

[11] Mori M, Nagai H, Ogata T, et al. Soil moisture variability on a steep slope near a ridge in a forested mountain range, Shikoku, Japan: a model study[J]. Biologia, 2013, 68(6): 1109-1112.

[12] 夏江宝,孔雪华,陆兆华,等. 滨海湿地不同密度怪柳林土壤调蓄水功能[J]. 水科学进展,2012,23(5):628-634.

[13] Tang Y Q, Li J, Zhang X H, et al. Fractal characteristics and stability of soil aggregates in karst rocky desertification areas[J]. Natural Hazards, 2013, 65: 563-579.

[14] 郝振纯,杨兆,王加虎,等. 淮北平原典型土壤水分特征曲线测定与分析[J]. 水电能源科学,2013,31(2):106-108.

[15] Gardner W R, Hillel D, Benyamini Y. Post-irrigation movement of soil water: 1. Redistribution[J]. Water Resource Research, 1970, 6: 851-861.

[16] 高传友,赵清贺,刘倩. 北江干流河岸带不同植被类型土壤粒径分形特征[J]. 水土保持研究,2016,23(3):37-42.

[17] 夏江宝,顾祝军,周峰,等. 红壤丘陵区不同植被类型土壤颗粒分形与水分物理特征[J]. 中国水土保持科学,2012,10(5):9-15.

[18] 杨慧玲,高鹏,王华伟,等. 大黑山生态修复区不同植被类型土

壤颗粒的分形特征[J]. 中国水土保持科学, 2009, 7(5): 52—57.

[19] 陶俊. 三峡库区不同护坡草带根系分布对土壤理化性质的时间尺度效应[D]. 重庆: 西南大学, 2013.

[20] 舒向阳, 胡玉福, 蒋双龙, 等. 川西北草地沙化对土壤颗粒组成和土壤磷钾养分的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(8): 173—179.

[21] 李红丽, 万玲玲, 董智, 等. 沙柳沙障对沙丘土壤颗粒粒径及分形维数的影响[J]. 土壤通报, 2012, 43(3): 540—545.

[22] 李娜, 韩晓增, 尤孟阳, 等. 土壤团聚体与微生物相互作用研究[J]. 生态环境学报, 2013, 22(9): 1625—1632.

[23] 熊燕梅, 夏汉平, 李志安, 等. 植物根系固坡抗蚀的效应与机理研究进展[J]. 应用生态学报, 2007, 18(4): 895—904.

[24] 吴彦, 刘世全, 付秀琴, 等. 植物根系提高土壤水稳性团粒含量的研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1997, 3(1): 46—50.

[25] 卢金伟, 李占斌. 土壤团聚体研究进展[J]. 水土保持研究, 2002, 9(1): 81—85.

[26] 宋日, 刘利, 马丽艳, 等. 作物根系分泌物对土壤团聚体大小及其稳定性的影响[J]. 南京农业大学学报, 2009, 32(3): 93—97.

[27] 武鹏艳, 张玉珍. 3 种人工林枯落物持水性能及土壤水文效应的研究[J]. 西南农业学报, 2016, 29(12): 2930—2934.

[28] Haggerty G, Kahoud D, Walsh E, et al. Comparing the space-time distribution of soil water storage for two forest ecosystems using spatio-temporal kriging[J]. Geoderma, 2005, 128(3): 258—273.

[29] 廖超林, 傅灵芝, 盛浩, 等. 紫色丘陵区旱地撂荒自然恢复提高土壤蓄水性能[J]. 农业工程学报, 2014, 30(21): 111—119.

[30] 王丽琴, 李红丽, 董智, 等. 黄河三角洲盐碱地造林对土壤水分特性的影响[J]. 中国水土保持科学, 2014, 12(1): 38—45.

[31] 尹勤瑞. 盐碱化对土壤物理及水动力学性质的影响[D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2011.

Soil Water Ecological Characteristics of Typical Vegetation Types in Sand Habitat Formed from Seashell

Sun Yihui^{1,2}, Xia Jiangbao¹, Ren Ranran^{1,3}, Zhao Ziguol¹

(1. Shandong Provincial Key Laboratory of Eco-Environmental Science for Yellow River Delta, Binzhou University, Binzhou 256603, Shandong, China; 2. College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Forestry College, Shandong Agricultural University, Taian 271018, Shandong, China)

Abstract: In order to investigate soil water storage and hold capacity under typical shrub vegetations in shell island, *Ziziphus jujube* var. *spinosa*, *Periploca sepium* and *Limonium bicolor* located on the Yellow River Delta were analyzed in contrast with bare soil to determine the soil particle composition, water physical characteristics and soil water characteristic curves, to explore the water characteristic curve under different vegetation types. The results show that: (1) Shrub and grass can reduce gravel and coarse sand content, increase the content of fine sand and clay powder, including *Z. jujuba* var. *spinosa* can reduce the coarse sand significantly and increase clay content; *P. sepium* can reduce the gravel significantly and increase fine sand content; The role of herbs in the reduction of coarse sand and gravel content and increase of fine sand and powder clay content is weak. (2) Shrub vegetation can improve the soil properties and the effect of soil water storage ability. The sequence is as follows: *Z. jujuba* var. *spinosa* > *P. sepium* > grassland > bare land, reflected in the two indicators of effective rainfall and implicit rainfall. (3) The sequence of water holding capacity is as follows: *Z. jujuba* var. *spinosa* > *P. sepium* > grassland > bare land, and 0—15 cm soil water-holding capacity is more than 15—30 cm under the same vegetation type. The results show that the three kinds of vegetation types improve the soil physical properties and the function of water storage and soil preservation. The shrubs are better than the grassland, among which the *Z. jujuba* var. *spinosa* is the strongest, and the grassland is the worst. Improving effects of the soil physical property, soil potential water storage and holding capacity of shell sand soil are evaluated as follows: *Z. jujuba* var. *spinosa* > *P. sepium* > grassland > bare land. The results show that *Z. jujube* var. *spinosa* is more suitable for vegetation restoration in degraded ecosystem.

Key words: soil particle size; soil moisture; water storage; water characteristic curve; vegetation; Yellow River Delta