

# 宁夏南部黄土丘陵区典型草本群落根系 垂直分布特征与土壤团聚体的关系

万海霞<sup>1</sup>, 马 璠<sup>1</sup>, 许 浩<sup>1</sup>, 韩新生<sup>1</sup>, 王月玲<sup>1</sup>, 郭永忠<sup>1</sup>, 蔡进军<sup>2</sup>

(1. 宁夏农林科学院 荒漠化治理研究所, 银川 750002; 2. 宁夏农林科学院 农业资源与环境研究所, 银川 750002)

**摘 要:**为揭示宁夏南部黄土丘陵区典型草本群落根系垂直分布特征及与土壤团聚体的关系,初步评估乡土草本植物根系对团聚体发育的作用,选取 5 种典型草本群落(胡枝子、百里香、星毛委陵菜、猪毛蒿、长芒草),研究了草本根系垂直分布特征、土壤团聚体组成和稳定性以及根系与土壤团聚体之间的关系。结果表明:5 种草本根系生物量、根长密度和表面积密度为  $0.44 \sim 2.11 \text{ g/m}^3$ ,  $0.31 \sim 3.51 \text{ cm/m}^3$ ,  $0.04 \sim 1.10 \text{ cm}^2/\text{m}^3$ , 随土层加深逐渐减小,呈表层聚集型分布。土壤团聚体粒径组成特征为  $>5 \text{ mm}$  团聚体最多( $54.44\% \sim 67.80\%$ , 除猪毛蒿),较裸地提高  $17.5\% \sim 50.4\%$ ,  $<0.25 \text{ mm}$  团聚体第二,其他粒径团聚体很少( $<5\%$ )。0—30 cm 土壤团聚体  $R_{0.25}$ , MWD, GMD 值为  $52.03\% \sim 84.64\%$ ,  $9.57 \sim 21.01 \text{ mm}$ ,  $1.94 \sim 15.17 \text{ mm}$ , 草本群落间团聚体稳定性差异显著,百里香、星毛委陵菜群落团聚体稳定性最好,各草本群落土壤团聚体  $R_{0.25}$ , MWD, GWD 随土层加深先升后降。分析草本根系与土壤团聚体的关系,发现根参数和土壤团聚体稳定性指标未表现出显著相关性,说明几种草本根系在土壤结构变化中的作用尚不明确,试验有待细化。

**关键词:**黄土丘陵区;草本群落;根系分布;土壤团聚体

中图分类号:S157

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2019)06-0080-07

## Relationship Between Vertical Distribution Characteristics of Roots and Soil Aggregates in Typical Herb Communities in Loess Area of Southern Ningxia

WAN Haixia<sup>1</sup>, MA Fan<sup>1</sup>, XU Hao<sup>1</sup>, HAN Xinsheng<sup>1</sup>, WANG Yueling<sup>1</sup>, GUO Yongzhong<sup>1</sup>, CAI Jinjun<sup>2</sup>

(1. Institute of Desertification Control, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China; 2. Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China)

**Abstract:** In order to reveal the vertical distribution characteristics of roots and their relationship with soil aggregates in typical herb communities in the loess hilly region of southern Ningxia, and to evaluate the effects of native herb roots on the development of aggregates preliminarily, five typical herb communities (*Lespedeza bicolor*, *Thymus mongolicus*, *Potentilla acaulis*, *Artemisia scoparia*, *Stipa bungeana*) were selected to study the vertical distribution characteristics of herb roots, the composition and stability of soil aggregate, and the relationship between roots and soil aggregate. The results showed that the root biomass, root length densities and surface area densities of five types of herbs were  $0.44 \sim 2.11 \text{ g/m}^3$ ,  $0.31 \sim 3.51 \text{ cm/m}^3$ ,  $0.04 \sim 1.10 \text{ cm}^2/\text{m}^3$ , respectively, these three indicators gradually decreased with the depth of soil layer, and they mainly distributed in the surface layer. The contents of  $>5 \text{ mm}$  soil aggregates were the greatest, ranged from  $4.44\%$  to  $67.80\%$ , and increased by  $17.5\% \sim 50.4\%$  in the communities except *Artemisia scoparia* compared with the bare land, followed by  $<0.25 \text{ mm}$  aggregates, the contents of the other aggregates were the lest ( $<5\%$ ). The  $R_{0.25}$  contents, MWD and GMD values of soil aggregate in 0—30 cm soil layer were  $52.03\% \sim 84.64\%$ ,  $9.57 \sim 21.01 \text{ mm}$ ,  $1.94 \sim 15.17 \text{ mm}$ , respectively. There were significant differences in the stabilities of aggregates in different herb communities, the stabilities of aggregate in *Thymus mongolicus*, *Potentilla acaulis* communities were the highest.  $R_{0.25}$ , MWD and GWD of soil aggregate of each herb community showed the pattern of rising at first and then decreasing with the depth of the

收稿日期:2019-03-28

修回日期:2019-04-30

资助项目:宁夏自然科学基金(2018AAC03278);国家自然科学基金(41561058);宁夏回族自治区全产业链创新示范项目(QCYL-2018-12)

第一作者:万海霞(1982—),女,宁夏平罗人,助理研究员,主要研究方向为植被恢复与水土保持。E-mail:whx3802@126.com

通信作者:蔡进军(1976—),男,宁夏平罗人,副研究员,主要研究方向为黄土丘陵区流域生态修复。E-mail:ncyccai@163.com

soil layer. The relationship between root distributions and soil aggregates in herb communities was analyzed, it was found that root parameters and soil aggregate stability indicators did not show significant correlation, indicating that the roles of several typical herb roots in soil structure changes were not clear, the trial is to be refined gradually.

**Keywords:** loess hilly area; herb community; root distribution; soil aggregate

在我国加强生态文明建设的大背景下,宁夏政府提出改善生态环境,实施生态优先发展的战略方向,在国家及地方相关政策的引领下,当地民众保护水土资源,控制水土流失,防止土地退化的环境诉求越来越迫切,同时相关的科学研究也开始广泛展开。考虑当地生态恢复建设现状,在生态工程中选择合适的乡土草本植物对重建植被、改善生态环境具有重要意义。对多年实施的各类恢复措施进行多角度、系统评价也是一个不可缺少的重要环节。植被措施是生态恢复建设最直接有效的手段,植被根系对防止土壤侵蚀发生发挥着极为重要的作用,一方面根系通过对土壤的缠绕,包裹使土壤紧实,不易分散。另一方面,根系通过根系分泌物或有机、无机胶体对土粒的胶结使土壤颗粒粘结形成团粒结构,土壤孔隙增大,渗透性增强,利于水分下渗,减少了径流及水流对表土的冲刷。此外,根系还能促进微生物活性,使有机质加速分解,增加团聚体的稳定性。尤其是草本的根系,它在降低土壤冲刷方面有决定性作用,主要是根系对土体的盘绕、缠结作用以及推迟、延缓、缩短产流产沙时间。如何有目的地选择对土壤结构稳定最有效的植物并将其用于生态工程中是当今和未来我国生态恢复建设可持续发展面临的严峻考验。不同类型植被具有不同的根系特征,对水土保持的作用也会不同。草本植物的根系多数位于土壤浅层(0—30 cm),分布密集,根系类型多样,在提高土壤抗侵蚀方面的作用与乔灌木植被有很大不同。不同植物根系的时空分布不同,同一植物在不同的环境条件和不同时间下根系的分布特征也各异<sup>[1]</sup>。植物根系的形态和空间分布特征在反映根系对地下资源的利用效果和潜力同时也会对土壤状况(水分、养分)及一些物化特性(容重、孔隙度、团聚体状况)做出响应,在生态恢复建设中植被根系空间分布一方面反映植被采取的生存策略,另一方面也体现着生态治理措施对土壤质量的影响作用。例如,植被根系对土壤团聚体的形成及稳定性就具有重要的影响。据测定,黄土高原林草地土壤表层>0.25 mm水稳性团聚体含量(74.4%)是黄土母质(14.79%)的5.3倍,人工刺槐林(3~9 a)土壤>5 mm水稳性团粒含量比无根系土壤提高1.77~6.29倍<sup>[2]</sup>。张冀研究发现好的自然植被通过根系作用可以改善土壤水稳性团聚体的形

成、土壤孔隙度和有机质含量等理化性质<sup>[3]</sup>。贾恩吉等研究作物根茬对土壤物理性状的影响,显示根茬能够增加土壤中水稳性团聚体的数量,进而提高土壤结构稳定性<sup>[4]</sup>,李勇等对根系强化土壤抗冲性的有效性及改善土壤物理、水文性质的作用机制进行研究,结果表明:植物群落根径级≤1 mm的根密度及根量(有效根密度)对土壤结构稳定性及土壤抗冲性具有明显改善作用<sup>[5]</sup>。刘国彬等指出,直径0.1~0.4 mm的根系表面着生有丰富的根毛,大大增加了根的表面积,利于大团聚体(>2 mm)的形成<sup>[6]</sup>,因此本研究选取5种典型草本群落(胡枝子、百里香、星毛委陵菜、猪毛蒿、长芒草),了解草本根系垂直分布特征、土壤团聚体组成和稳定性以及根系与土壤团聚体之间的关系,研究结果将揭示宁夏南部黄土丘陵区典型草本群落根系及根系层土壤团聚体分布特征,为从根系和土壤结构恢复角度为黄土丘陵区生态恢复成效评估提供理论依据。另一方面,初步评估乡土草本植物对团聚体发育的促进作用,为研究区植被恢复初期草种的选择和优化配置提供一定的技术支撑,研究对生态恢复实践具有指导意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于我国黄土高原西部的宁夏半干旱黄土丘陵区,地貌类型属于黄土高原腹地梁峁丘陵地,地形破碎,地面倾斜度大,平均海拔1 600~1 700 m。流域气候类型为典型的温带大陆性气候,年平均风速2.7 m/s,年平均气温7.6℃,≥10℃的有效积温为2 200~2 750℃,日照时数为2 200~2 700 h,无霜期140~160 d;年平均降水433.6 mm左右,有明显的旱季和雨季,降水集中且分配不均,主要集中在7—9月,年平均潜在蒸发量1 360.6 mm。土壤以普通黑垆土为主,土层深厚,土质疏松,pH值8~8.5。

植被以草原植被为基础,主要草本植物有长芒草(*Stipa bungeana*)、铁杆蒿(*Artemisia gmelinii*)、赖草(*Leymus secalinus*)、达乌里胡枝子(*Lespedeza davurica*)、二裂委陵菜(*Potentilla bifurca*)、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、猪毛蒿(*Artemisia scoparia*)、山苦荬(*Ixeris denticulata*)等。

### 1.2 样地选择

彭阳中庄为宁夏农林科学院荒漠化治理所水土保

持研究团队的一个长期定位观测基点,植被调查表明,胡枝子、猪毛蒿、长芒草、百里香及星毛委陵菜为本地常见草本,且常常集中连片分布,选择这 5 种典型草本群

落分布样地进行调查取样,每个样地随机设置 6 个 1 m×1 m 的样方,调查每个样方植被的群落盖度、物种组成、地上生物量等。样地基本情况见表 1。

表 1 样地信息

草本群落 类型	海拔/ m	坡度/ (°)	坡向	经度/纬度	地上部生物量/ (g·m <sup>-2</sup> )	总盖度/ %
胡枝子群落	1588	撂荒地	—	106°43′N/35°56′E	289.98	93.5
猪毛蒿群落	1650	撂荒地	—	106°43′N/35°57′E	240.7	69.8
长芒草群落	1647	20	半阳坡	106°43′N/35°57′E	145.24	93.5
百里香群落	1701	20	半阴坡	106°45′N/35°56′E	172.52	81.8
星毛委陵菜群落	1694	20	半阴坡	106°45′N/35°56′E	215.69	84.3

1.3 研究方法

根系测定:于植物生长末期,在样方内进行 S 型四点取样,用根钻(直径 7 cm,高 10 cm)将草本植物根系按 0—5 cm,5—10 cm,10—20 cm 和 20—30 cm 分别挖出,用筛子将各层样品过筛并拣出所有根系,所获的根系用水清洗干净后,采用浙江万深 LA-S 系列植物根系分析仪测定分析根系的平均直径、根长、表面积等,最后对根系编号后装入牛皮纸信封,采用烘箱法测定生物量(80℃下烘 48 h)。

土壤团聚体测定:在样方内挖 30 cm 深的土壤剖面,用特制取样器按 0—5 cm,5—10 cm,10—20 cm,20—30 cm 分层取直径为 7 cm,高为 10 cm 的原状土柱,土样装入铝盒避免震荡挤压并带回实验室,室内自然风干。依据 Yoder 的土壤团聚体湿筛法测定。具体方法为:将样品放置于孔径自上而下为 5 mm,2 mm,1 mm,0.5 mm 和 0.25 mm 的各级套筛之上,先用水缓慢润湿后,再放入水中;在整个套筛处于最下端时,最顶层筛的上边缘保持低于水面,竖直上下振荡 30 min(振荡频率 30 次/min);然后将各级筛层上的团聚体冲洗收集并过滤,最后将团聚体连同滤纸一起烘干,空气中平衡 2 h 后称重,计算各级团聚体的质量百分比,平均重量直径(MWD)、几何平均直径(GMD)及分形维数(D)。

1.4 计算方法

- (1) 根长密度= $\frac{L}{v}$
- 式中: $L$  为根系长度(cm); $v$  为土样体积(cm<sup>3</sup>)。
- (2) 比根长= $\frac{L}{m}$
- 式中: $L$  为根系长度(m); $m$  为根系重量(g)。
- (3) 不同粒径水稳性团聚体的质量百分比。

$w_i = \frac{W_{wi}}{M_T} \times 100\%$

式中: $w_i$  为某级团聚体的质量分数(%); $W_{wi}$  为该级团聚体的风干质量(g); $M_T$  为团聚体的风干总质量(g)。

(4) 水稳性大团聚体的质量百分比。

$w_{0.25} = \frac{W_{i>0.25}}{M_T} \times 100\%$

式中: $w_{0.25}$  为水稳性大团聚体(>0.25 mm)的质量分数(%); $W_{i>0.25}$  为直径大于 0.25 mm 团聚体的风干质量(g); $M_T$  为团聚体的风干总质量(g)。

(5) 水稳性土壤团聚体的平均重量直径(MWD)。

$MWD = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{x}_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$

式中: $\bar{x}_i$  为每个粒径下的团聚体平均直径(mm); $w_i$  为每个粒径下团聚体质量百分数(%)。

(6) 水稳性土壤团聚体的几何平均直径(GMD)。

$GMD = \exp(\frac{\sum_{i=1}^n W_i \ln \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n W_i})$

式中: $w_i$  为土壤不同粒径团聚体的质量百分数(%); $\ln \bar{x}_i$  为土壤粒径平均直径的自然对数。

(7) 团聚体的分形维数(D)

土壤团聚体的质量分形维数(D)是基于假设不同粒级的土壤密度相同提出来的。公式如下:

$\frac{M(r < \bar{x}_i)}{M_T} = (\frac{\bar{x}_i}{x_{max}})^{3-D}$

两边取以 10 为底的对数:

$\lg[\frac{M(r < \bar{x}_i)}{M_T}] = (3-D) \lg(\frac{\bar{x}_i}{x_{max}})$

式中: $M(r < \bar{x}_i)$  为直径小于  $\bar{x}_i$  的团聚体的质量(g); $M_T$  为团聚体总质量(g); $\bar{x}_i$  为某级团聚体的平均直径(mm); $x_{max}$  为团聚体的最大直径(mm)。

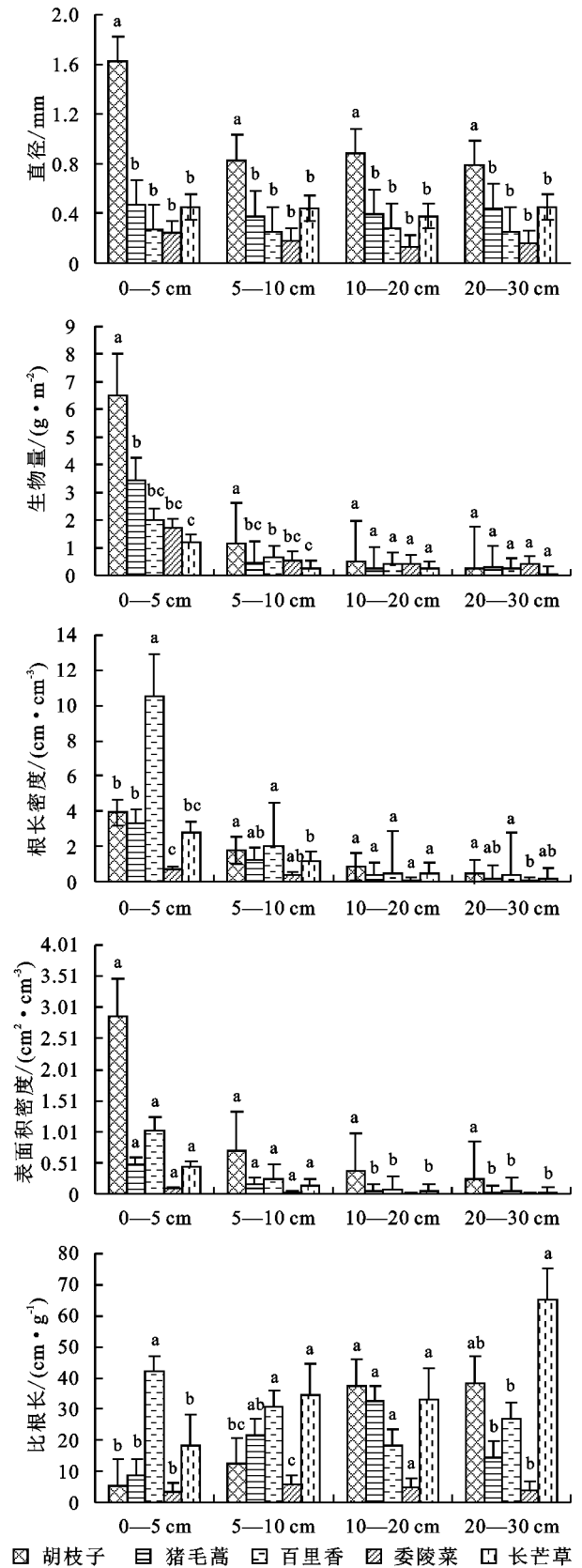
2 结果与分析

2.1 不同草本植被根参数垂直分布特征

对宁南黄土丘陵区 5 种典型草本的根系及垂直分布特征进行调查,结果显示(图 1),5 种草本 0—30

cm 土层根系生物量为  $0.44 \sim 2.11 \text{ g/m}^3$ , 根长密度  $0.31 \sim 3.51 \text{ cm/m}^3$ , 表面积密度  $0.04 \sim 1.10 \text{ cm}^2/\text{m}^3$ , 随土层加深, 各参数值逐渐减小, 草本间差异也变小。0—5 cm 土层根系各参数值最大, 分别占根系总量 (0—30 cm 根系生物量、根长密度、表面积密度) 的  $56.71\% \sim 78.61\%$ ,  $63.85\% \sim 84.97\%$ ,  $71.48\% \sim 80.05\%$ , 可以看出 5 种草本根系生物量、根长、表面积在垂直分布上具有相似的分布规律, 呈表层聚集型分布。对不同草本根系参数的方差分析表明, 根系平均直径随土层加深, 胡枝子下降明显, 其他草本变幅很小, 草本间存在差异显著 ( $p < 0.05$ ), 胡枝子最大, 与其他草本差异显著, 其余草本间差异不显著。5 种草本 0—30 cm 土层的根系生物量具有显著性差异, 依次为胡枝子 > 猪毛蒿 > 百里香 > 星毛委陵菜 > 长芒草, 草本间显著性差异出现在 0—10 cm 土层 ( $p < 0.05$ ), 之后差异变小。5 种草本 0—30 cm 土层的根长密度存在显著差异 ( $p < 0.05$ ), 依次为百里香 > 胡枝子 > 猪毛蒿 > 长芒草 > 星毛委陵菜, 百里香与星毛委陵菜差异显著, 胡枝子与百里香、星毛委陵菜差异也显著。不同土层草本间根长密度差异有变化, 0—5 cm 土层百里香最大, 与胡枝子、猪毛蒿、长芒草差异显著, 星毛委陵菜最小。10—20 cm 土层各草本根长密度差异不显著。20—30 cm 土层草本间又表现出了显著差异性, 仅百里香与星毛委陵菜差异显著, 胡枝子、猪毛蒿、长芒草间差异不显著。各草本 0—30 cm 土层的根表面积密度差异也显著 ( $p < 0.05$ ), 其中胡枝子最大, 与其他草本差异显著, 其他草本之间差异并不显著。不同土层各草本根表面积密度在 10 cm 以下才出现显著差异。

草本的比根长为  $4.30 \sim 37.81 \text{ cm/g}$ , 随土层加深变化不同。随土层增加, 胡枝子、长芒草比根长表现出增加趋势, 长芒草增幅更大, 百里香比根长先减后增, 猪毛蒿比根长先增后减 (拐点均在 20 cm 土层以后), 星毛委陵菜变幅较小。不同土层草本间比根长的差异有变化, 方差分析表明, 0—5 cm 土层百里香最大, 与其他草本差异显著。5—10 cm 土层百里香、长芒草最大, 与胡枝子差异显著, 星毛委陵菜最小, 与猪毛蒿差异显著。10—20 cm 土层草本间差异不显著。20—30 cm 土层长芒草最大, 除胡枝子外与其他草本差异显著。5 种草本 0—30 cm 土层比根长差异显著, 比根长依次为长芒草 > 百里香 > 胡枝子 > 猪毛蒿 > 星毛委陵菜, 百里香、长芒草差异不显著, 但与委陵菜差异显著, 长芒草与胡枝子、猪毛蒿差异显著, 百里香与胡枝子、猪毛蒿差异不显著。



注: 小写字母表示同一土层 5 种草本类型在 5% 水平上的差异。

图 1 5 种典型草本根系参数在 0—30 cm 土层分布特征

## 2.2 不同草本类型下土壤水稳性团聚体粒径组成及分布特征

试验结果显示 (图 2), 不同草本群落 0—30 cm 土层



团聚体粒径组成相似,呈“两头大中间小”的分布特征,即粒径>5 mm 的团聚体含量最多,为 54.44%~67.80%,大于裸地对照(除猪毛蒿),粒径<0.25 mm 团聚体含量排第二,为 6.59%~17.91%,小于裸地(除猪毛蒿),其他粒径团聚体很少,含量不到 5%。随土层深度增加(0—30 cm),>5 mm 的团聚体含量先升后降,5—10 cm 土层最大,变幅最大,<0.25 mm 团聚体含量呈增多趋势,变幅次之,其他粒径团聚体变幅很小。试验还

发现,草本群落土壤各粒径团聚体的垂直分布情况有所不同,百里香群落与委陵菜群落相似,>5 mm 团聚体含量最多,较裸地提高 44.1%~50.4%,10 cm 以下随土层加深下降缓慢。胡枝子群落与长芒草群落相似,>5 mm 团聚体含量居中,较裸地提高 17.5%~20.0%,10 cm 以下随土层加深下降快。猪毛蒿群落与裸地对照相似,>5 mm 粒径团聚体含量最少,10 cm 以下随土层加深呈直线下降,20—30 cm 土层时含量低于 30%。

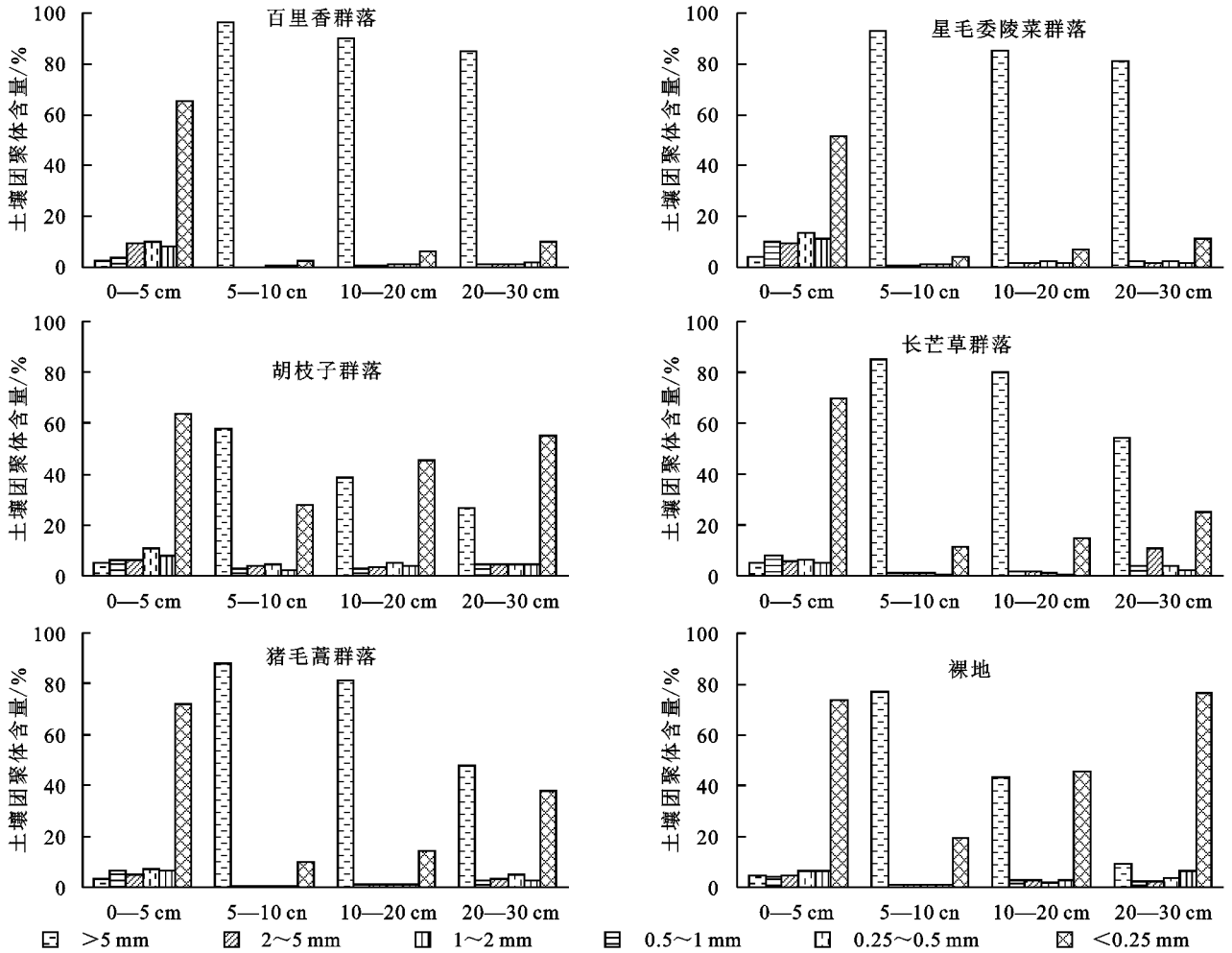


图 2 不同草本 0—30 cm 土层土壤团聚体粒径分布

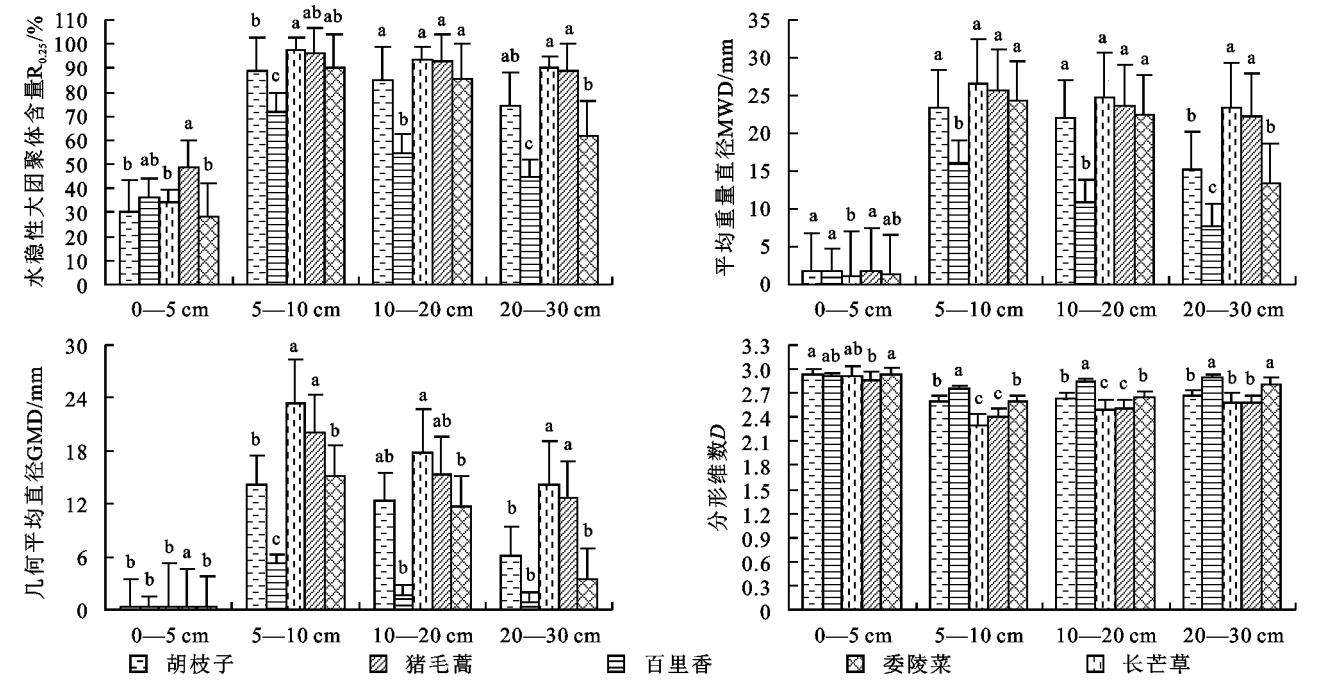
2.3 不同草本群落土壤团聚体的稳定性

试验结果显示(图 3),5 种草本群落 0—30 cm 土层  $R_{0.25}$  含量为 52.03%~84.64%,MWD,GMD 值分别为 9.57~21.01 mm,1.94~15.17 mm, $D$  值为 2.56~2.83。各草本群落团聚体稳定性有差异,百里香、委陵菜群落土壤团聚体的  $R_{0.25}$ ,MWD,GMD 值最大,二者无显著差异,胡枝子、长芒草群落土壤团聚体的  $R_{0.25}$ ,MWD,GMD 值次之,二者也无显著性差异,但它们与百里香、星毛委陵菜土壤团聚体差异显著,猪毛蒿群落土壤团聚体稳定性参数值最小,与胡枝子、长芒草差异显著,3 个层次群落土壤团聚体稳定性差异显著。各草本群落  $D$  值排序与  $R_{0.25}$ ,MWD,

GMD 相反。在垂直分布上不同草本群落同一土层的团聚体稳定性有差异(图 3),在 0—5 cm 土层,星毛委陵菜群落土壤团聚体的  $R_{0.25}$ ,GMD 最大, $D$  最小,与长芒草和胡枝子群落差异显著。5—10 cm 土层,百里香、星毛委陵菜群落土壤团聚体的  $R_{0.25}$ ,MWD,GWD 值居一、二位,猪毛蒿群落的 MWD,GWD 值最小,百里香、星毛委陵菜与猪毛蒿差异显著。10—30 cm 土层,百里香、星毛委陵菜、猪毛蒿 3 个群落的土壤团聚体稳定性参数值大小排序不变,草本间显著性差异有所变化。草本群落土壤团聚体的  $R_{0.25}$ ,MWD,GWD 值均随土层加深先增后降,在 5—10 cm 土层最大,之后逐步下降。百里香、星毛委陵

菜群落  $R_{0.25}$ , MWD, GMD 值变幅较大, 胡枝子、长芒

草群落各稳定性参数值变幅次之。



注:小写字母表示同一土层 5 种草本类型在 5% 水平上的差异。

图3 草本群落不同土层深度上的土壤团聚体稳定性

2.4 草本根系特征与土壤团聚体稳定性参数的相关性分析

为探索植被根系与土壤结构稳定性的关系,对典型草本的根系参数与土壤团聚体的稳定性指标进行相关分析,结果发现(表 2),在 0—30 cm 土层草本根参数和土壤团聚体稳定性指标未表现出显著相关性,仅在根参数之间或土壤团聚体稳定性参数之间有显

著相关性,如根系生物量与比根长、根长密度与根表面积密度显著正相关。土壤团聚体的  $R_{0.25}$  与 MWD, GMD 呈显著正相关,与  $D$  呈显著负相关, MWD 与 GMD 极显著正相关,与  $D$  显著负相关,可以看出,研究区典型草本的根系对团聚体结构影响作用不明显。由于野外试验取样样本量有限,加之选取样地存在不同程度的变异性,本试验结果有待于进一步研究。

表 2 典型草本群落土壤团聚体水稳性指标和根系特征参数的相关性分析

项目	$R_{0.25}$	MWD	GMD	$D$	根系生物量	根长密度	根表面积密度	比根长
$R_{0.25}$	1.000							
MWD	0.868*	1.000						
GMD	0.816*	0.990**	1.000					
$D$	-0.912*	-0.824*	-0.808	1.0000				
根系生物量	-0.429	0.015	0.090	0.354	1.000			
根长密度	0.439	0.465	0.423	-0.213	0.289	1.000		
根表面积	0.004	0.160	0.169	0.145	0.631	0.878*	1.000	
比根长	-0.297	0.079	0.149	0.373	0.869*	0.504	0.799	1.0000

注: \* 和 \*\* 分别代表相关系数显著性达 0.05, 0.01 水平。

3 讨论与结论

因为根系结构的变化并不一定伴随根系生物量的变化,所以根系生物量无法做到全面表示根系的特征,对根系的研究除了生物量外,还应包括根长密度,根表面积密度、直径和比根长等指标的测定。本文就对宁南黄土丘陵区 5 种典型草本群落的根系生物量、根长密度、根表面积密度、直径和比根长进行了研究,

发现各草本群落根系生物量、根长密度、表面积密度随土层加深逐渐减小,呈表层聚集型分布,说明几种草本根系对浅层土的固土效果最好。与韦兰英研究不同演替阶段草地植被细根垂直分布特征时发现细根各参数(生物量、根长密度、表面积密度)具有垂直分布特征,随土层加深而减小<sup>[7]</sup>,以及李建兴等<sup>[8]</sup>研究得出 4 种护坡草本根长密度、表面积密度及根重密度随土层深度的增加递减,且随深度的增加草本间差

异逐渐缩小的结果一致。

研究草本群落土壤团聚体粒径分布特征发现,各草本群落 0—30 cm 土层团聚体粒径组成均呈“两头大中间小”的分布特征。随土层深度增加,大团聚体(粒径 $>5$  mm)含量先升后降,小团聚体( $<0.25$  mm)含量呈增多趋势,与王甜、陈帅等研究结果相似<sup>[9-10]</sup>。有研究指出草原类型对团聚体组分有显著影响,可能与气候因子,地上、地下生物量,微生物生物量及组成相关<sup>[9]</sup>。我们发现,不同草本群落类型的团聚体分布有差异,百里香与星毛委陵菜 $>5$  mm 团聚体数量最多,土壤结构组成较好,猪毛蒿 $>5$  mm 粒径团聚体数量最少,土壤结构组成最差,不同草本群落间差异推测可能更多与根系特点及生理功能、根区土壤微生物活动及组成、植被覆盖有关<sup>[11]</sup>。猪毛蒿群落的大团聚体数量最少(仅占 31.25%),土壤结构较差可能是分布区土壤本身较为疏松造成的。学界普遍选用水稳性团聚体  $R_{0.25}$ , MWD, GMD,  $D$  衡量土壤团聚体稳定性。0.25 mm 被认为是划分大团聚体和微团聚体的分界线,其含量是定量评价土壤团聚体的重要指标。 $>0.25$  mm 水稳性团聚体含量越高,土壤稳定性越好。本研究中草本群落土壤团聚体以  $R_{0.25}$  为主,达 52.03%~84.64%,微团聚体较少,说明各草本群落土壤团聚性好,结构稳定。通常土壤团聚体稳定性指标 MWD, GMD 越大,代表土壤团聚体的稳定性越好,分形维数  $D$  与之正好相反。本研究发现,百里香、星毛委陵菜群落土壤团聚体(0—30 cm)的 MWD, GMD 值最大,团聚体稳定性最好,猪毛蒿群落最差。随土层加深,不同草本群落团聚体稳定性指标变化规律与 $>5$  mm 团聚体含量在 0—30 cm 土层以及根系参数如根系生物量、根长密度、表面积密度在 5—30 cm 土层变化一致,相互之间可能存在影响,这与前人研究刺槐林根系稳定土壤结构的土层范围与其细根在土壤剖面中的分布特征一致<sup>[12]</sup>,以及水稳性大团聚体、MWD, GMD 随土层加深(每隔 20 cm 土层取样)而显著降低<sup>[13-14]</sup>的结果相似。草根根系分布浅,其根系对团聚体的形成和稳定性具有重要作用,5—10 cm 土层可能因为根系的密集分布,团聚体稳定性最好。10—30 cm 土层随土层加深土壤团聚体稳定性越低,可能一方面是因为植物根系的减少直接或间接影响团聚体聚合,进而导致团聚体稳定性在深度上的变化,另一方面是因为土壤有机碳含量、微生物生物量及组成随土层加深而降低影响了土壤团聚体的形成<sup>[9-10]</sup>。0—5 cm 土层虽然分布根系较多,但因为土壤与环境直接接触,加之人为扰动,团聚体有破坏,稳定性低。影响草本群落土壤团聚体稳定的因素

有很多,哪些因素起主要作用,是如何起作用的?以及不同因素之间的互作关系还有待进一步研究。

植物根系对土壤水稳性团聚体形成具有重要作用,有研究表明不同演替阶段群落表层(0—20 cm) 0.5~2 mm 的细根根长、表面积与根系生物量和土壤团聚体稳定性极显著相关<sup>[15]</sup>。还有研究指出 0.1~0.4 mm 的毛根利于大团聚体( $>2$  mm)的形成,用毛根表面积评价根系提高土壤水稳性团聚体的作用比用有效根密度和根系生物量更能揭示其固结土壤的作用机制<sup>[6]</sup>。有研究对不同径级( $>10$  mm, 10~5 mm, 5~2 mm, 2~1 mm,  $<1$  mm)的根密度、根量与土壤物理性质的相关性,发现 $\leq 1$  mm 的须根密度及根量(有效根密度)与土壤物理性质相关性最为显著,单位土体 $\leq 1$  mm 径级须根的根量是不同植物群落改善土壤结构稳定性的有效根参数<sup>[12]</sup>。吴彦等对 3 种林型不同径级( $>5$  mm, 5~2 mm, 2~1 mm,  $\leq 1$  mm)的根量和根密度与土壤水稳性团聚体含量进行相关性分析,发现 $\leq 1$  mm 的须根对改善土壤团聚体结构才是有效的<sup>[16]</sup>。本研究采用常用的 4 个根参数,根生物量、根长密度、根表面积密度和比根长与团聚体稳定性指标进行相关关系分析,结果发现草根参数和土壤团聚体稳定性指标未表现出显著相关性,说明几种典型草根根在研究区土壤结构变化中的作用尚不明确,此结果的原因可能是试验没有按照径级对根系进行分类,根系与土壤团聚体的关系分析还较为粗略,也可能是选取样地的变异性较大,因此试验有待细化,以便对结果进行更加客观的分析和认识。

#### 参考文献:

- [1] 侯晓娟.武功山地草甸根系空间分布格局及影响因素研究[D].南昌:江西农业大学,2018.
- [2] 刘定辉,李勇.植物根系提高土壤抗侵蚀性机理研究[J].水土保持学报,2003,17(3):34-37,115.
- [3] 张冀.黄土高原丘陵沟壑区土壤侵蚀研究进展[J].水土保持学报,2001,15(2):121-124.
- [4] 贾恩吉,何文安,赵立华,等.作物根茬对土壤物理性状的影响[J].吉林农业科学,1996(3):55-57.
- [5] 李勇,吴钦孝,朱显谟,等.黄土高原植物根系提高土壤抗冲性能的研究[J].水土保持学报,1990,4(1):1-6.
- [6] 刘国彬.黄土高原草地土壤抗冲性及其机理研究[J].水土保持学报,1998,4(1):93-96.
- [7] 韦兰英,上官周平.黄土高原不同演替阶段草地植被细根垂直分布特征与土壤环境的关系[J].生态学报,2006,26(11):3740-3748.
- [8] 李建兴,何炳辉,湛芸,等.不同护坡草本植物的根系分布特征及其对土壤抗剪强度的影响[J].农业工程学报,2013,29(10):144-152.



层(0—20 cm)有机质、全磷、碱解氮和速效磷含量均有大幅提高,分别是裸露对照的 22.24,3.58,8.14,8.86 倍;玉米秸秆沙障仅提高了表层(0—20 cm)土壤有机质含量(对照的 3.62 倍),说明单叶蔓荆沙障对土壤化学性质的改良作用大于玉米秸秆沙障。

(3) 通过试验研究,发现设置单叶蔓荆沙障是改良流动沙丘土壤性状的有效方法,单叶蔓荆又是乡土的治沙先锋树种,为流动沙地的治理提供了充足的植物沙障材料。鄱阳湖滨湖地区具有特殊的气候及水文特点,采用活体单叶蔓荆枝条扦插沙障,是一项成本低,见效快,效益好,易推广的治沙和改良土壤措施。

参考文献:

[1] 朱震达.中国沙漠、沙漠化、荒漠化及其治理的对策[M].北京:中国环境科学出版社,1999.

[2] 史培军,张宏,王平,等.我国沙区防沙治沙的区域模式[J].自然灾害学报,2000,9(3):1-7.

[3] 杨洁.鄱阳湖滨湖沙地生态修复技术与经济开发模式[C]//中华人民共和国水利部水土保持司,中国科学院资源环境科学与技术局.全国水土保持生态修复研讨会论文汇编.中国水土保持学会,2004.

[4] 张利超,喻荣岗,陈浩,等.江西省水土流失易发区划分研究[J].水土保持应用技术,2017(6):39-42.

[5] 丁明军,郑林,聂勇.鄱阳湖沙山地区沙化土地特征及成因分析[J].水土保持通报,2010,30(2):159-163.

[6] 王丽英,李红丽,董智,等.沙柳方格沙障对库布齐沙漠防风固沙效应的影响[J].水土保持学报,2013,27(5):115-118,124.

[7] Miao R H, Qiu X L, Guo M X, et al. Accuracy of space-for-time Substitution for vegetation state prediction following shrub restoration[J]. Journal of Plant Ecology,2018,11(2):208-217.

[8] 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.

[9] 孙浩,刘晋浩,黄青青,等.多边形草沙障防风效果研究[J].北京林业大学学报,2017,39(10):90-94.

[10] 刘世增,詹科杰,方峨天,等.草基高立式葵花秸秆沙障的压制方法及防风固沙效能研究[J].水土保持研究,2016,23(6):98-101.

[11] 张圆,李芳,屈建军,等.机械沙障组合对土壤含水量及温度的影响[J].中国沙漠,2016,36(6):1533-1538.

[12] 蒙仲举,任晓萌,高永.半隐蔽式沙柳沙障的防风阻沙效益[J].水土保持通报,2014,34(3):178-180,206.

[13] 张利超.江西省水土保持区划及防治布局研究[J].中国水土保持,2016(2):36-41.

[14] 莫明浩,杨洁,段剑,等.鄱阳湖沙地植物调查及植被恢复试验研究[J].人民长江,2012,43(20):70-74.

[15] 张利超,谢颂华.江西省水土流失重点防治区的复核和划分[J].水土保持通报,2016,36(1):230-235.

[16] 胡胜华,于吉涛,张建新,等.鄱阳湖砂山地区风沙化过程中物种多样性的变化[J].中国沙漠,2006,26(5):729-733.

[17] 段剑,杨洁,刘仁林,等.鄱阳湖滨沙地植物多样性特征[J].中国沙漠,2013,33(4):1034-1040.

[18] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科技出版社,2000.

[19] 王明明,刘新平,李玉霖,等.不同植被盖度沙质草地生长季土壤水分动态[J].中国沙漠,2019,39(5):1-8.

[20] 李凤英,张露,何小武,等.鄱阳湖滨不同植被类型沙地土壤有效持水能力研究[J].水土保持研究,2019,26(2):107-111.

[21] 左长清,杨洁,李相玺.江西省鄱阳湖湖滨沙地蔓荆的固沙效益[J].中国水土保持科学,2003,1(2):38-41.



(上接第 86 页)

[9] 王甜,徐珊,赵梦颖,等.内蒙古不同类型草原土壤团聚体含量的分配及其稳定性[J].植物生态学报,2017,41(11):1168-1176.

[10] 陈帅,孙涛,松嫩草地不同退化阶段的土壤团聚体稳定性[J].草业科学,2017,34(2):217-223.

[11] 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.

[12] 李勇,武淑霞,夏侯国风.紫色土区刺槐林根系对土壤结构的稳定作用[J].水土侵蚀与水土保持学报,1998,4(2):1-7.

[13] 庄正,张芸,张颖,等.不同发育阶段杉木人工林土壤团

聚体分布特征及其稳定性研究[J].水土保持学报,2017,31(6):183-188.

[14] 赵世伟,苏静,吴金水,等.子午岭植被恢复过程中土壤团聚体有机碳含量的变化[J].水土保持学报,2006,20(3):114-117.

[15] 由政,姚旭,景航,等.不同演替阶段群落根系分布于土壤团聚体特征的协同变化[J].水土保持研究,2016,23(6):20-31.

[16] 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].水土侵蚀与水土保持学报,1997,3(1):45-49.