

河西走廊盐渍化草地芨芨草“肥岛”对土壤养分空间分布的影响

高瑞,曹文侠,王辛有,王世林

(甘肃农业大学草业学院,草业生态系统教育部重点实验室,中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃兰州 730070)

摘要:以酒泉盐碱地芨芨草(*Achnatherum splendens*)草丛为研究对象,选取冠幅相近、生长状况良好、大小适中的芨芨草草丛,对每株芨芨草草丛按4个垂直方位,每个方位按5个距离梯度(草丛中心、距草丛中心20、40、60、100 cm)设置样点,每个样点按5个土层深度(0~10,10~20,20~30,30~40,40~60 cm)进行土壤取样和分析。结果表明,芨芨草中土壤养分呈现如下的空间分布特征:(1)土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾的含量随离草丛中心距离的减少而增加,随土层深度的增加而减少,土壤养分主要富集于草丛下,而且表层土壤更加明显。(2)与草丛外土壤相比,草丛内土壤含水量较高、pH值较低,对盐碱地恶劣的土壤环境治理恢复有重要作用。

关键词:肥岛效应;芨芨草;土壤养分

中图分类号:S8112.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2022)02-0083-08

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2022.02.012



“肥岛”效应是土壤养分资源在生物和非生物作用下,逐渐向草丛内流动,造成草丛内土壤养分显著高于草丛外养分,在空间分布上呈现出一种养分汇集的现象^[1]。“肥岛”的形成改变了土壤养分的空间格局,而在受资源胁迫的干旱、盐碱生态系统中,土壤养分能够促进根系的生长^[5],提高植物的存活率^[6],对植被结构和功能有重要影响^[7]。比如“肥岛”有利于植物的更新和扩散,同时又抑制了草本植物的生产力,北美干旱草原受这一机制的影响加速了荒漠化进程^[8],因此“肥岛”现象在干旱区备受关注^[9]。

河西走廊地区存在大面积的盐碱土地,盐碱化程度较重,在利用耐盐植物改良盐碱地土壤的大趋势下,干旱盐碱化地区土壤养分空间分布特征和植物间关系成为重要研究课题。许捷等^[10]的研究表明,同一群落

不同养分的“肥岛”作用范围不同;何玉惠等^[11]的研究结果表明,在灌丛下土壤养分在表层土壤富集;苟博文等^[12]的研究表明,梭梭根区具有的“肥岛”效应聚集在0~40 cm土层;裴世芳等^[13]的研究显示,灌丛对土壤的有机质、氮有明显的富集和保护作用,对磷无明显作用。然而,目前关于干旱盐碱化地区“肥岛”效应的研究多集中于灌丛“肥岛”方向,缺少丛生型草本植物“肥岛”效应对土壤影响的相关研究。芨芨草(*Achnatherum splendens*)是生长在干旱地区的多年生草本植物,具有较强的耐旱、耐寒、耐盐性^[14],其根系发达,入土深,能形成大的密丛,根系将土壤固结,能防风固沙,有效阻止地表径流,防止水土流失,是改良盐碱地土壤的可选植物之一,也是天然的生态保护屏障。目前对于芨芨草的研究比较广泛,但有关盐碱地芨芨草“肥岛”效应对土壤养分空间分布的研究报道较少。

本研究以河西走廊盐碱化草地芨芨草草丛为研究对象,通过对芨芨草草丛土壤养分的初步分析,来揭示芨芨草草丛土壤养分空间分布特征,从而对合理有效保护和改善芨芨草草地、改良生态环境提供参考依据。

收稿日期:2021-03-16;修回日期:2021-03-22

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0400306)

作者简介:高瑞(1995-),男,甘肃张掖人,在读硕士。

E-mail:502730547@qq.com

曹文侠为通信作者。

E-mail:caowx@gsau.edu.cn

1 材料和方法

1.1 试验地概况

试验地点为甘肃省酒泉市肃州区漫水滩村(N 39°40'52", E 98°46'35"),地处河西走廊西端阿尔金山、祁连山与马鬃山之间的荒漠干旱草原地带,三面环山,平均海拔 1 385.7 m。北部是平坦的戈壁滩,蒸发量大,降水缺乏,属典型大陆性温带干旱气候,年平均气温 7.3 °C,年平均降水量仅 87.7 mm,年平均蒸发量 2 141 mm;温差较大,降水分布不均,由北到南、从西到东逐渐递增,夏季干热期较短,冬季寒冷期较长^[15]。

试验地土壤盐碱含量高,有机质缺乏,养分含量低,受水分及盐碱条件限制,试验地区植被呈斑块状格局分布,群落结构简单,物种组成单一。优势种为聚盐和泌盐的灌木或多年生草本植物,如怪柳(*Tamarix chinensis*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)、芦苇(*Phragmites australis*)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)等。伴生种主要为耐盐碱的多年生草本植物,如:盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)、赖草(*Leymus secalinus*)、藜(*Chenopodium album*)和獐毛(*Aeluropus sinensis*)等。

1.2 试验设计

1.2.1 样品采集 2019年7月根据试验样地内芨芨草生长情况,选取冠幅相近、生长状况良好、大小适中的芨芨草草丛[基径为(35~39) cm×(36~43) cm]共6丛,作为研究草丛。对选取的每株芨芨草草丛,分别按照4个不同方位,每个方位按距离草丛中心(指肥岛的几何中心位置)20,40,60,100 cm分为5个取样点,分别用YC(草丛中心)、Y0(距草丛中心20 cm)、Y1(距草丛中心40 cm)、Y2(距草丛中心60 cm)、Y3(距草丛中心100 cm)来表示,各点按0~10,10~20,20~30,30~40,40~60 cm(5个土层)深度采集土壤样品。然后将土样置于已标记好的塑料袋中,带回实验室将土风干后进行土壤指标的测定。

1.2.2 测定方法 土壤水分含量测定采用烘干恒重法,土壤pH值测定采用pH计(PHS-25,中国上海仪电科学仪器股份有限公司)测定,有机质测定采用重铬酸钾外加热法,全氮测定采用凯氏定氮法,碱解氮测定采用碱解扩散法,全磷和速效磷测定采用钼锑抗比色法,全钾和速效钾测定采用火焰光度计法^[17]。

1.3 数据分析

利用SPSS 20.0进行统计分析,采用单因素方差分析对相同土层芨芨草草丛距草丛中心不同距离的土壤养分进行比较分析,显著性水平设定为 $P < 0.05$ 。利用Microsoft Excel 2016进行图表绘制。

2 结果与分析

2.1 土壤水分含量变化特征

芨芨草草丛周围土壤含水量的空间分布特征从YC到Y3,随着距离的增加土壤含水量逐渐降低,随着土层深度的增加,含水量逐渐增加,除0~10 cm土层外,其余各土层YC含水量显著高于其他各点($P < 0.01$),10~60 cm各土层从YC到Y0,含水量分别从10.73%下降到5.06%,从12.61%下降到6.10%,从13.79%下降到8.36%,从14.46%下降到9.96%。0~10 cm土层,YC或Y0>Y1>Y2($P < 0.01$),YC和Y0差异不显著($P > 0.05$),Y1和Y3差异不显著($P > 0.05$),Y2和Y3差异不显著($P > 0.05$)。10~20 cm土层,从YC到Y0,含水量下降较大,Y0到Y1含水量有所回升,YC>Y1>Y0、Y2、Y3($P < 0.01$),Y0、Y2和Y3之间差异均不显著($P > 0.05$)。20~30 cm土层,YC>Y0、Y1、Y2、Y3($P < 0.01$),Y0、Y1、Y2和Y3之间差异均不显著($P > 0.05$)。30~40 cm土层,YC到Y0变化速率较大,YC>Y0、Y1、Y2、Y3($P < 0.01$),Y0、Y1、Y2和Y3之间差异均不显著($P > 0.05$)。40~60 cm土层,YC>Y1>Y2($P > 0.05$),Y0、Y2和Y3之间差异均不显著($P > 0.05$)(图1)。

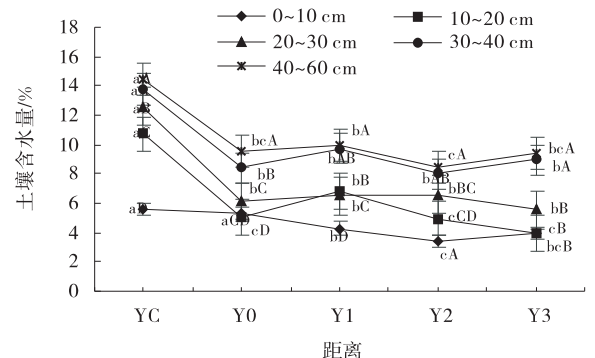


图1 芨芨草草丛土壤含水量

Fig. 1 Soil water content of *Achnatherum splendens* tussock

注:图中不同小写字母表示同一土层差异显著($P < 0.05$),不同大写字母分别表示不同土层差异显著($P < 0.05$)

综上,土壤水分含量随着离草丛中心的距离增加而下降,且随着土层深度的增加而增加,在各土层中,草丛中心含水量明显高于其余各点,距草丛中心 40 cm 处有小幅升高,随后又开始下降。

2.2 土壤 pH 值变化特征

芨芨草草丛周围土壤 pH 值变化特征表现为各土层 YC 处 pH 值明显低于其余各点,随土层深度的增加 pH 值逐渐增大, Y0 到 Y3, 随土层深度的增加 pH 值逐渐减小, 40~60 cm 土层 pH 值又有所升高。从 YC 到 Y0, 0~60 cm 各土层 pH 值分别从 7.73 上升到 8.59, 从 7.94 上升到 8.49, 从 8.24 上升到 8.32, 从 8.18 上升到 8.46, 从 8.25 上升到 8.45。0~10 cm 土层, YC 和各点差异显著 ($P < 0.05$), 其余各点之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。10~20 cm 土层, YC 和各点差异显著 ($P < 0.01$), 其余各点之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。20~30 cm 土层, Y1 > YC, Y0 ($P < 0.01$), Y3 > Y2 ($P < 0.05$), Y1 和 Y3、YC、Y0 和 Y2 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。30~40 cm 土层, Y0、Y1 > Y2、Y3 > YC ($P < 0.01$), Y0 和 Y1、Y2 和 Y3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。40~60 cm 土层, YC > Y0、Y1、Y2、Y3 ($P < 0.01$), Y0、Y1、Y2 和 Y3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$) (图 2)。

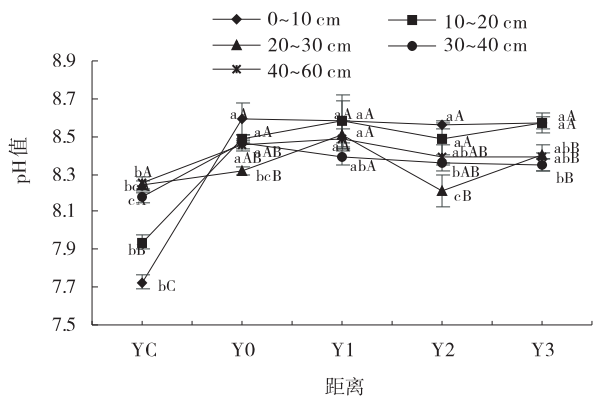


图 2 芨芨草草丛土壤 pH 值

Fig. 2 Soil pH of *Achnatherum splendens* tussock

综上,同土层以草丛中心的 pH 值最低,随土层深度的增加而增大。0~30 cm 土层草丛中心到距草丛中心 20 cm 处 pH 值变化较大,30~60 cm 变化较小,除了草丛中心外,其他各点随距离的增加变化不显著。草丛中心到距草丛中心 100 cm 内,0~30 cm 土层,随着土层深度的增加土壤 pH 值逐渐降低,到 30~60 cm 土层, pH 值又有小幅的回升。

2.3 土壤有机质含量变化特征

随着距离的增加,土壤有机质含量逐渐减少, YC 到 Y0 下降速率最大, 0~60 cm 各土层有机质分别从 13.73 g/kg 下降到 6.84 g/kg, 从 12.11 g/kg 下降到 5.18 g/kg, 从 11.24 g/kg 下降到 5.18 g/kg, 从 7.12 g/kg 下降到 6.04 g/kg, 从 8.34 g/kg 下降到 5.48 g/kg, 随着土层深度的增加有机质含量也在逐渐减少。0~10 cm 土层, YC 到 Y0 土壤有机质含量下降较快, Y0 到 Y3 缓慢下降, YC > Y0、Y1 > Y2、Y3 ($P < 0.01$), Y0 和 Y1、Y2 和 Y3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。10~20 cm 土层, YC > Y0、Y1、Y2 > Y3 ($P < 0.01$), Y0、Y1 和 Y2 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。20~30 cm 土层, YC > Y0、Y1 > Y2、Y3 ($P < 0.01$), Y0 和 Y1、Y2 和 Y3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。30~40 cm 土层, 相比其他土层下降缓慢, YC > Y0 > Y1 > Y2 ($P < 0.01$), Y1 和 Y3、Y2 和 Y3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。40~60 cm 土层, YC、Y2 > Y0、Y1、Y3 ($P < 0.01$), YC 和 Y2 之间差异不显著 ($P > 0.05$), Y0、Y1 和 Y3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$) (图 3)。

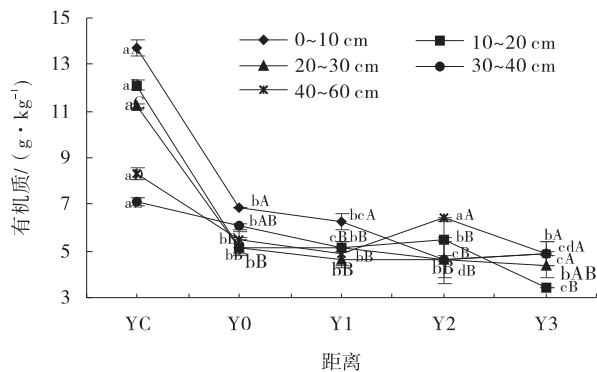


图 3 芨芨草草丛土壤有机质含量

Fig. 3 Soil organic matter content of *Achnatherum splendens* tussock

综上,随着距离的增加,有机质含量逐渐减少,草丛中心到距草丛中心 20 cm, 0~30 cm 土层下降速率最大, 30~60 cm 土层下降速率较小,但差异均显著。随着土层深度的增加有机质含量也在逐渐减少,草丛中心到距草丛中心 20 cm 差异显著,距草丛中心 20~100 cm 中,随着土层深度的增加有机质含量也在逐渐减少,但差异不显著。

2.4 土壤全氮含量变化特征

芨芨草草丛周围土壤全氮含量的空间分布 0~10 cm 土层, YC > Y0、Y2 > Y1、Y3 ($P < 0.01$), Y0 和 Y2、

Y1 和 Y3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。10~20 cm 土层, $Y_C, Y_0 > Y_2 > Y_1, Y_3$ ($P < 0.01$), Y_C 和 Y_0, Y_1 和 Y_3 之间差异均不显著。20~30 cm 土层, $Y_C, Y_0, Y_3 > Y_2 > Y_1$ ($P < 0.01$), Y_C, Y_0 和 Y_3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。30~40 cm 土层, $Y_0 > Y_C, Y_1, Y_2, Y_3$ ($P < 0.01$), Y_C, Y_1, Y_2 和 Y_3 ($P > 0.05$)。40~60 cm 土层, $Y_C > Y_0, Y_1, Y_3 > Y_2$ ($P < 0.01$), Y_C, Y_1 和 Y_3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$), Y_0, Y_1 和 Y_3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$), Y_0 和 Y_2 之间差异均不显著 ($P > 0.05$) (图 4)。

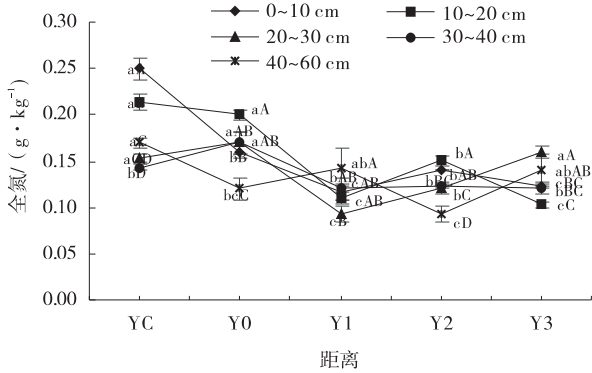


图 4 芨芨草草丛土壤全氮含量

Fig. 4 Soil total N content of *Achnatherum splendens tussock*

综上, 草丛中心到距草丛中心 20 cm 呈现出明显的下降趋势, 距草丛中心 20 cm 到距草丛中心 100 cm 变化趋势不明显。在距草丛中心 20 cm 处, 除了 40~60 cm 土层, 全氮含量在其余各土层基本处于最低值。

2.5 土壤全磷含量变化特征

芨芨草草丛周围土壤全磷含量随着距离的增加逐渐减小, Y_3 处有所回升, 随着土层深度的增加, 全磷含量逐渐减小。除 0~10 cm 土层外, 其余各土层先减小到 Y_2 , 然后 Y_3 处又有所回升。0~10 cm 土层, $Y_C > Y_0, Y_1 > Y_2, Y_3$ ($P < 0.01$), Y_0 和 Y_1, Y_2 和 Y_3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。10~20 cm 土层, $Y_C > Y_0 > Y_1, Y_3 > Y_2$ ($P < 0.01$), Y_1 和 Y_3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。20~30 cm 土层, $Y_C > Y_0 > Y_1, Y_3 > Y_2$ ($P < 0.01$), Y_1 和 Y_3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。30~40 cm 土层, $Y_C > Y_0 > Y_1, Y_2, Y_3$ ($P < 0.01$), Y_1, Y_2 和 Y_3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。40~60 cm 土层, $Y_C > Y_0 > Y_1 > Y_3 > Y_2$ ($P < 0.01$) (图 5)。

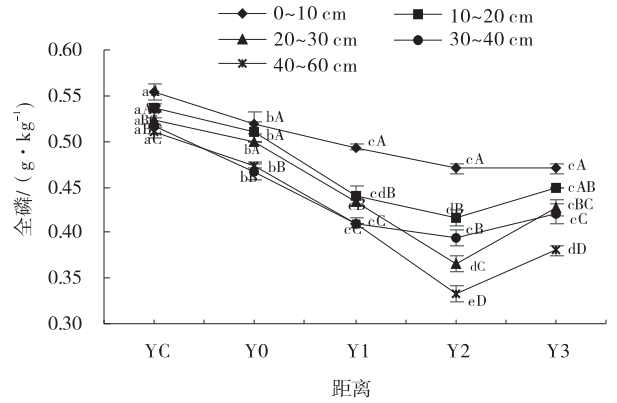


图 5 芨芨草草丛土壤全磷含量

Fig. 5 Soil total P content of *Achnatherum splendens tussock*

综上, 随着距离的增加全磷含量逐渐减小, 距草丛中心 40 cm 处达到最低值, 距草丛中心 100 cm 处有所回升。随着土层深度的增加, 全磷含量逐渐减小, 草丛中心到距草丛中心 40 cm 处变化差异不显著, 距草丛中心 40 cm 到距草丛中心 100 cm 处, 变化差异显著。

2.6 土壤全钾含量变化特征

芨芨草草丛周围土壤全钾含量的空间分布特征总体来看, 随着距离的增加全钾含量都有先增加, 再降低, 再增加在降低的变化趋势。0~10 cm 土层, $Y_C, Y_0, Y_2 > Y_1 > Y_3$ ($P < 0.01$), Y_C, Y_0, Y_2 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。10~20 cm 土层, Y_0 和各点差异显著, 其余各点均无显著差异。20~30 cm 土层, $Y_0 > Y_1 > Y_3$ ($P < 0.01$), Y_0 和 Y_1, Y_C 和 Y_2, Y_1 和 Y_3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。30~40 cm 土层, $Y_0 > Y_C, Y_1, Y_2, Y_3$ ($P < 0.01$), Y_C, Y_1, Y_2 和 Y_3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。40~60 cm 土层, $Y_0, Y_1 > Y_3 > Y_C$ ($P < 0.01$), Y_0, Y_1 和 Y_2 之间差异均不显著 ($P > 0.05$), Y_2 和 Y_3 之间差异不显著 ($P > 0.05$) (图 6)。

综上, 土壤全钾含量随着距草丛中心的增加都有先增加, 再降低, 再增加再降低的变化趋势, 其余变化差异不显著。

2.7 土壤碱解氮含量变化特征

芨芨草草丛周围土壤碱解氮含量总体上随距离的增加逐渐减小, Y_C 到 Y_0 处, 下降速率较大。0~10 cm 土层, 从 Y_0 到 Y_1 有大幅度回升, 其他各段都在减小, $Y_C > Y_1 > Y_0, Y_2,$

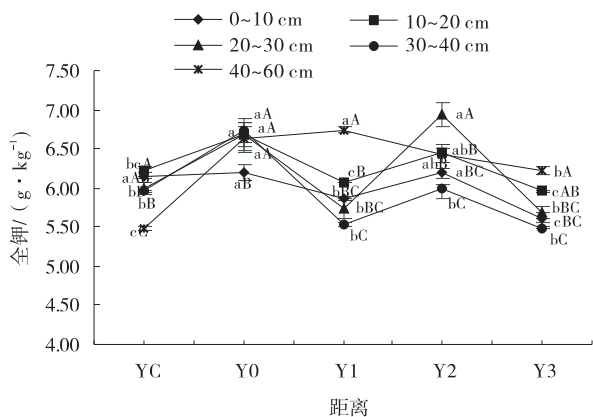


图 6 芨芨草草丛土壤全钾含量

Fig. 6 Soil total K content of *Achnatherum splendens* tussock

Y3 ($P < 0.01$), Y0、Y2 和 Y3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。10~20 cm 土层, YC > Y0、Y1、Y2 > Y3 ($P < 0.01$), Y0、Y1 和 Y2 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。20~30 cm 土层, 从 Y0 到 Y1 有所回升, 其余各段均逐渐减小, YC > Y1、Y2 > Y0、Y3 ($P < 0.01$), Y0 和 Y3、Y1 和 Y2 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。30~40 cm 土层, 变化波动不大, YC > Y3 > Y0 > Y2 ($P < 0.01$), YC 和 Y1、Y1 和 Y3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。40~60 cm 土层, YC > Y0、Y2 > Y1 > Y3 ($P < 0.01$), Y0 和 Y2 之间差异不显著 ($P > 0.05$) (图 7)。

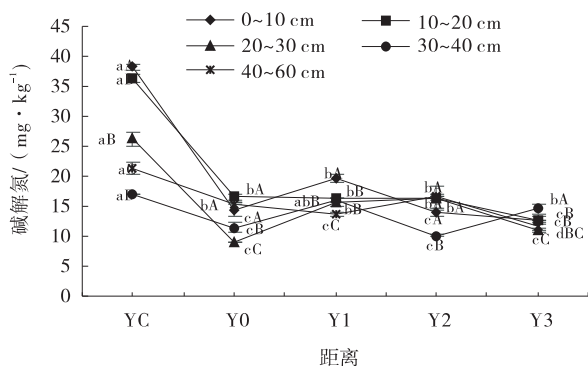


图 7 芨芨草草丛土壤碱解氮含量

Fig. 7 Soil available N content of *Achnatherum splendens* tussock

综上, 土壤碱解氮含量变化随距离的增加碱解氮含量逐渐减小, 草丛中心到距草丛中心 20 cm 处, 下降速率较大。草丛中心随土层变化显著, 逐渐降低, 距草丛中心 20~100 cm 变化不明显。

2.8 土壤速效磷含量变化特征

芨芨草草丛周围土壤速效磷含量的空间变化特征, 0~30 cm 土层随距离增加速效磷含量逐渐减小,

30~60 cm 土层从 Y1 到 Y2 小幅回升, 其余的段都减小。0~10 cm 土层, YC > Y0 > Y1、Y2 > Y3 ($P < 0.01$), Y1 和 Y2 之间差异不显著 ($P > 0.05$)。10~20 cm 土层, YC > Y0 > Y1 > Y2、Y3 ($P < 0.01$), Y2 和 Y3 之间差异不显著 ($P > 0.05$)。20~30 cm 土层, Y1、Y2 > Y3 ($P < 0.01$), Y0、Y1 和 Y2 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。30~40 cm 土层, YC > Y1 > Y3 ($P < 0.01$), YC 和 Y2、Y0 和 Y1、Y1 和 Y3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。40~60 cm 土层, YC > Y2 > Y1 ($P < 0.01$), Y3 > Y1 ($P < 0.01$), YC、Y2 和 Y3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$), Y0、Y1 和 Y3 之间差异均不显著 ($P > 0.05$) (图 8)。

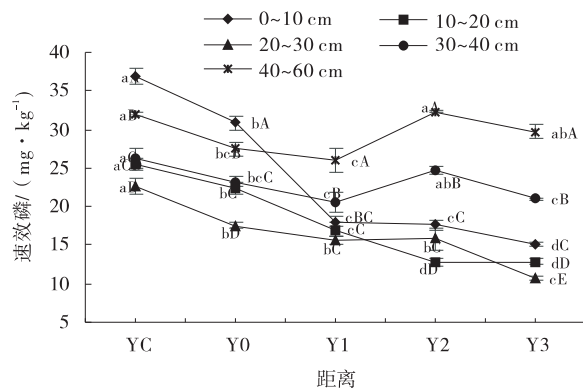


图 8 芨芨草草丛土壤速效磷含量

Fig. 8 Soil available P content of *Achnatherum splendens* tussock

综上, 土壤速效磷含量 0~30 cm 土层, 随距离增加速效磷含量逐渐减小, 草丛中心到距草丛中心 20 cm, 速效磷含量逐渐下降, 且差异显著, 距草丛中心 40~100 cm 变化不显著, 随着土层深度的增加速效磷含量逐渐降低。30~60 cm 土层, 随距离增加下降至距草丛中心 40 cm 处, 随后又逐渐增加, 随着土层深度的增加速效磷含量逐渐升高。

2.9 土壤速效钾含量变化特征

芨芨草草丛周围土壤速效钾含量的空间分布特征, 0~10 cm 土层, 随距离草丛中心增加速效钾含量逐渐降低, YC > Y0 > Y1 > Y2、Y3, Y2 和 Y3 之间差异不显著。10~20 cm 土层, YC > Y2 > Y1 > Y0 > Y3。20~30 cm 土层, YC > Y0 > Y1 > Y2 > Y3 ($P < 0.01$)。30~40 cm 土层, 逐渐减小, Y0 > YC > Y1、Y2 > Y3, Y1 和 Y2 之间差异均不显著 ($P > 0.05$)。40~60 cm 土层, YC > Y3 > Y0、Y2 > Y1, Y0 和 Y2 之间差异不显著 (图 9)。

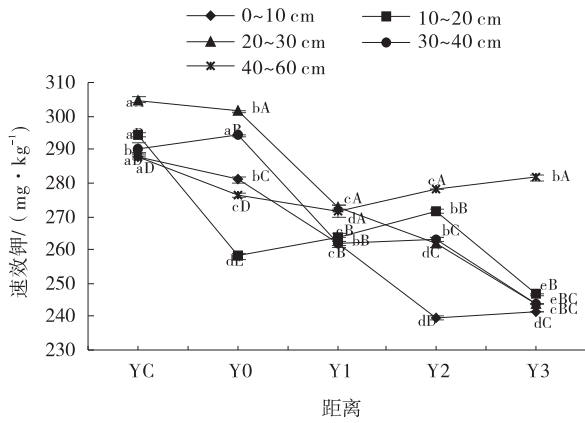


图9 芨芨草草丛土壤速效钾含量变化

Fig. 9 Soil available K content of *Achnatherum splendens* tussock

综上,随距离增加速效钾含量逐渐减小,随着土层深度的变化差异不显著。

3 讨论

当今世界人口不断膨胀,土地退化,可利用土地资源匮乏,促使人们将注意力转向盐碱荒地的开发和利用。盐碱地具有巨大的经济价值和生产潜力,优化盐碱地土壤的开发、改良技术,对于合理利用盐碱地,缓解耕地少、后备土地资源不足,提高农业生产力,实现农业可持续发展具有重要意义^[17]。本研究通过分析芨芨草草丛土壤养分含量,揭示芨芨草草丛对贫瘠盐碱地生境的适应和改良机制。结果表明土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾均在草丛冠下富集,土壤表层养分含量草丛内明显高于草丛外,具有典型的“肥岛”效应。这表明“肥岛”效应的形成与芨芨草形态结构特征有着密切关系。可能是由于一方面芨芨草地上部分能形成隐蔽性很好的密丛,可以为各种动物提供良好的栖居环境,动物产生的排泄物及其残体可以增加养分富集^[18],同时高大的密丛还可以减弱风蚀,保持凋落物^[10,19],并且可以有效减少辐射量,降低土壤温度,以植物蒸腾代替地表蒸发,另外根系对离子的选择性吸收和植物有机酸的分泌造成草丛中心碱性低于草丛外^[20-21],草丛内对降水的再分配使得草丛内形成低 pH 值、高含水量和低盐含量的土壤环境^[22-23],这种土壤环境有利于微生物的活动,对分解凋落物和动物残体有很大帮助,从而使草丛内养分含量高于草丛外养分含量。另一方面芨芨草地下根系分布于浅土层^[24],根系脱落物和对养分地吸收转运是草

丛内土壤养分的主要来源,因此呈现出从土壤表层至深层养分含量逐渐递减的趋势,这与王勇辉等^[24]、苏永忠等^[5]和 Klemmenson 等^[26]研究结果一致。这两个方面共同作用形成了芨芨草草丛土壤养分的空间异质性。

芨芨草草丛不仅在不同土层、不同距离下富集养分有差异,且对不同土壤养分的富集效果也不同,这种土壤养分的富集差异受植被类型、生长状况和土层深度等因素共同影响^[27]。“肥岛”对土壤有机质的影响主要在于芨芨草自身残枝落叶地返还和通过阻风固尘作用截获风中的凋谢物^[28],因此草丛内土壤有机质等养分含量较高。肥岛对土壤全氮有明显的富集作用,这与芨芨草生长发育合成蛋白质需要通过根系吸收氮素有关,全氮含量会随根系的扩张而变化。全钾无显著变化规律,肥岛对全钾含量影响较小,全钾含量可能主要与当地成土母质有关^[29]。速效养分是可通过植物吸收且快速利用的,芨芨草生长发育需要吸收大量养分,使养分在根系分布附近大量积累^[30-31],促使芨芨草快速生长,不断扩大根系的空间分布。

4 结论

1)土壤有机质、全氮、全磷、碱解氮、速效磷、速效钾的含量随离草丛中心距离的减少而增加,随土层深度的增加而减少,土壤养分主要富集于草丛下,而且表层土壤更加明显。

2)与草丛外土壤相比,草丛内土壤含水量较高、pH 值较低,对盐碱地恶劣的土壤环境治理恢复有重要作用。

参考文献:

- [1] Schlesinger W H, Raikes J A, Hartley A E, et al. Erratum: On the Spatial Pattern of Soil Nutrients in Desert Ecosystems[J]. Ecology, 1996, 77(2): 364-374.
- [2] Titus J H, Nowak R S, Smith S D. Soil resource heterogeneity in the Mojave Desert[J]. Journal of Arid Environments, 2002, 52(3): 269-292.
- [3] Hagos M G, Smit G N. Soil enrichment by *Acacia mellifera* subsp. *detinens* on nutrient poor sandy soil in a semi-arid southern African savanna[J]. Journal of Arid Environments, 2005, 61(1): 47-59.
- [4] 郭小龙,王明力,赵来朋,等. 干旱区梭梭与胡杨冠下“肥岛”效应[J]. 西南农业学报, 2020, 33(5): 141-147.
- [5] 苏永中,赵哈林,张铜会. 几种灌木、半灌木对沙地土壤肥

- 力影响机制的研究[J]. 应用生态学报, 2002(7): 35-39.
- [6] 陈广生, 曾德慧, 陈伏生, 等. 干旱和半干旱地区灌木下土壤“肥岛”研究进展[J]. 应用生态学报, 2004, 14(12): 2295-2300.
- [7] Aguiar M R, Sala O E. Patch structure, dynamics and implications for the functioning of arid ecosystems [J]. Trends in Ecology & Evolution, 1999, 14(7): 273-277.
- [8] Schlesinger W H, Reynolds J F, Cunningham G L, *et al.* Biological Feedbacks in Global Desertification [J]. Science, 1990, 247(4946): 1043-1048.
- [9] 李君, 赵成义, 朱宏, 等. 柽柳 (*Tamarix* spp.) 和梭梭 (*Haloxylon ammodendron*) 的“肥岛”效应[J]. 生态学报, 2008, 27(12): 5138-5147.
- [10] 许婕, 陈永金, 刘加珍. 盐生植物灌丛对土壤养分和盐分空间分布的影响及其机制研究进展[J]. 安徽农业科学, 2020, 48(1): 19-23+69.
- [11] 何玉惠, 刘新平, 谢忠奎. 红砂灌丛对土壤盐分和养分的富集作用[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(3): 115-119.
- [12] 苟博文, 魏博, 马松梅, 等. 古尔班通古特沙漠南缘梭梭根区土壤养分的分布特征研究[J]. 西南农业学报, 2020, 33(6): 1229-1234.
- [13] 裴世芳, 傅华, 陈亚明, 等. 放牧和围封下霸王灌丛对土壤肥力的影响[J]. 中国沙漠, 2004(6): 103-107.
- [14] 韩玲, 赵成章, 徐婷, 等. 张掖湿地芨芨草叶大小和叶脉密度的权衡关系[J]. 植物生态学报, 2016(8): 788-797.
- [15] 王世林, 曹文侠, 王小军, 等. 河西走廊荒漠盐碱地人工柽柳林土壤水盐分布[J]. 应用生态学报, 2019, 30(8): 2531-2540.
- [16] 姜右锦, 张松林, 刘阳. 盐碱地土壤养分和盐分含量的空间变异特征研究[J]. 河南农业科学, 2020, 49(3): 70-78.
- [17] 王启龙. 定边盐碱地治理改良技术研究与工程实践[J]. 南方农机, 2019, 50(21): 2.
- [18] Bonanomi G, Incerti G, Mazzoleni S. Assessing occurrence, specificity, and mechanisms of plant facilitation in terrestrial ecosystems [J]. PLANT ECOLOGY, 2011, 212(11): 1777-1790.
- [19] Whitford W G, Anderson J, Rice P M. Stemflow contribution to the ‘fertile island’ effect in creosotebush, *Larrea tridentata* [J]. Journal of arid environments, 1997, 35(3): 450-457.
- [20] 董社琴. 芨芨草的生物学特性与生态经济效益[J]. 科技情报开发与经济, 2004, 14(4): 190-191.
- [21] 董秋丽, 夏方山, 董宽虎, 等. 盐胁迫对芨芨草苗期生长和脯氨酸含量的影响[J]. 草原与草坪, 2010, 30(3): 29-32.
- [22] Kizito F, Dragila M I, M Senè, *et al.* Hydraulic redistribution by two semi-arid shrub species: Implications for Sahelian agro-ecosystems [J]. Journal of Arid Environments, 2012, 83(4): 69-77.
- [23] 诸海焘, 付子轼, 周丕生, 等. 崇明东滩土壤盐分的时空分布变化研究[J]. 上海农业学报, 2019, 35(5): 77-82.
- [24] 陈斌, 刘茂松, 黄峥, 张明娟, 徐驰. 西北干旱区灌草型白刺-芨芨草群落根系分布与互作[J]. 生态学杂志, 2017, 36(10): 2692-2698.
- [25] 王勇辉, 何旭, 海米提·依米提. 艾比湖湿地土壤粒度特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2014, 32(6): 183-187.
- [26] Klemmedson J O, Barth R C. Distribution and balance of biomass and nutrients in desert shrub ecosystems. US/IBP Desert Biome Res. Memo [M]. Logan; Utah State University Press, 1975: 18.
- [27] 刘学东, 陈林, 杨新国, 等. 荒漠草原 2 种柠条 (*Caragana korshinskii*) 和油蒿 (*Artemisia ordosica*) 灌丛土壤养分“肥岛”效应[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(4): 26-32+92.
- [28] 王库. 芨芨草水土保持功能的初步研究[J]. 水土保持研究, 2001, 8(2): 157-159.
- [29] 张生楹. 芨芨草草从肥岛特征研究 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
- [30] 高军, 武红旗, 朱建雯, 等. 塔里木河中游胡杨 (*Populus euphraticu*) “肥岛”的养分特征研究[J]. 新疆农业大学学报, 2008(5): 51-56.
- [31] 许文强, 罗格平, 陈曦. 干旱区绿洲-荒漠过渡带灌丛土壤属性研究[J]. 应用生态学报, 2006, 17(4): 583-586.

yield, dry grass yield, dry-fresh ratio and other and five nutritional quality related indexes of crude protein, acid detergent fiber, neutral detergent fiber, crude ash and crude fat for six multi-cropping forage millet varieties (lines) after wheat cropping. The results showed that among the 9 indexes, the variation coefficient of fresh grass yield, crude protein, crude fat and ash content was large, which had great potential for improvement. Among the 6 forage millet varieties (lines) replanted after wheat, Red Calcium Valley had the best comprehensive evaluation performance. Therefore, Red Calcium Valley could be used as a candidate material for special varieties of high-quality forage millet replanted after wheat cropping.

Key words: millet ; the agro-pastoral ecotone; nutritional quality ; gray correlation ; comprehensive evaluation

(上接 87 页)

Effects of *Achnatherum splendens* tussock fertile island on the spatial distribution of soil nutrient in Salinized-Grasslands of the Hexi Corridor

GAO Rui, CAO Wen-xia, WANG Xin-you, WANG Shi-lin

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Ministry of Education, Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: There are large areas of saline soils in the Hexi Corridor, the *Achnatherum splendens* is a salt-tolerant plant, which has an important role in the improvement of dry saline soils. We selected *A. splendens* tussocks with similar crown size, good growth condition, and moderate size. The sampling sites for each tussock were set up in four vertical orientations with five distance gradients (center of the tussock, 20 cm, 40 cm, 60 cm, and 100 cm from the center of the tussock) and each sampling site at five soil depths (0~10 cm, 10~20 cm, 20~30 cm, 30~40 cm, and 40~60 cm). Soil samples from each site were collected and analysed. The results showed that due to the structural characteristics of *A. splendens*, the soil nutrients showed the following spatial distribution: (1) The content of soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus, available nitrogen, available phosphorus, and available potassium increased with the decrease of distance from the center of the clump and decreased with the increase of soil depth. The soil nutrients were mainly enriched under the clump, particularly in the surface soil. (2) Compared with the outside of the grass, the soil under the grass has higher water content and lower pH, which is important for the management and restoration of the poor soil condition of saline land.

Key words: Fertile island; *Achnatherum splendens*; soil nutrient