

晋北赖草草地演替过程中土壤理化性质的变化

介瑞琪, 邢鹏飞, 张宾宾, 赵祥

(山西农业大学 草业学院, 山西 太谷 030801)

摘要:以晋北赖草草地盐碱化斑块演替过程中的土壤为研究对象,采用空间替代时间法研究不同斑块土壤的理化特征,探究斑块演替过程中土壤理化性质的响应,旨在为草地植被恢复与盐碱化草地治理提供理论依据。结果表明:随着光碱斑→碱蒿斑块→芦苇斑块→碱茅斑块→虎尾草斑块→赖草斑块的演替变化,土壤容重从 2.20 g/cm^3 降低到 1.61 g/cm^3 、pH从10.85降低到8.82、速效磷含量从 2.25 mg/kg 降低到 1.49 mg/kg 、土壤含水量从8.33%上升到18.46%、有机质含量从0.33%上升到1.11%、全氮含量从 0.04 mg/kg 上升到 0.14 mg/kg 、全磷含量从0.02%上升到0.03%、全钾含量从2.31%上升到2.59%、速效氮含量从 42.71 mg/kg 上升到 92.27 mg/kg 、速效钾含量从 61.36 mg/kg 上升到 81.78 mg/kg ;各土壤理化性质发生相应变化。

关键词:赖草草地;盐碱化;斑块演替;土壤理化性质

中图分类号:S812.6;Q948.15 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2020)06-0010-06

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2020.06.002

截至2014年,山西省盐碱地面积为 $27.36\times 10^4\text{ hm}^2$ 。按盐碱程度划分,轻度盐碱地 $13.63\times 10^4\text{ hm}^2$,中度盐碱地 $6.91\times 10^4\text{ hm}^2$,重度盐碱地 $4.12\times 10^4\text{ hm}^2$,极重度盐碱地 $2.63\times 10^4\text{ hm}^2$,分别占到全省盐碱地面积的50.05%,25.27%,15.07%,9.60%。按所在地域划分,大同市、朔州市、忻州市盐碱地分别占到全省盐碱地总面积的20.85%,39.67%,12.21%。晋北盐碱地现状统计,大同市轻度盐碱地、中度盐碱地、重度盐碱地、极重度盐碱地分别为 2.90×10^4 、 0.98×10^4 、 0.93×10^4 、 $0.90\times 10^4\text{ km}^2$,合计 $5.71\times 10^4\text{ km}^2$;朔州市分别为 6.20×10^4 、 3.06×10^4 、 0.74×10^4 、 $0.85\times 10^4\text{ km}^2$,合计 $10.85\times 10^4\text{ km}^2$;忻州市分别为 1.59×10^4 、 0.73×10^4 、 0.73×10^4 、 $0.29\times 10^4\text{ km}^2$,合计 $3.34\times 10^4\text{ km}^2$ [1]。

土壤不仅影响植物群落演替的速度,而且决定着植物群落演替的方向[2-3]。黄文娟[4]研究了吉林西部

草原土壤微域性特征及植被与土壤耦合关系,发现植物演替顺序与土壤盐碱化程度的大小顺序相一致。郑慧莹等[5]研究表明东北盐碱化草地的恢复演替顺序是盐碱斑→碱蓬→虎尾草→星星草→羊草,是一个盐碱化程度由强到弱的序列。

晋北右玉县是我国北方半干旱农牧交错带的典型区域,由于人为因素的过度干扰,导致了坡地草地严重退化和低洼地方草地盐碱化,使得原来连续分布的草地被分割为众多大小不一的斑块。赵祥等[6]发现晋北盐碱草地的自然恢复演替序列为光碱斑→碱蒿→芦苇→碱茅→虎尾草→赖草斑块,而且对草地群落斑块的重要值、多样性指数等特征进行了研究。目前关于草地斑块演替过程中的土壤理化性质的变化报道较少。为此,本研究主要以晋北赖草草地群落斑块演替过程中的盐碱化土壤为研究对象,采用空间代替时间的研究方法,探讨群落斑块演替过程中的土壤理化性质的特征和变化趋势动态变化,为草地植被恢复与盐碱化草地的治理提供理论支撑。

1 材料和方法

1.1 试验地自然概况

试验地位于山西省晋北地区朔州市右玉县威远镇

收稿日期:2020-04-16;修回日期:2020-05-13

基金项目:国家自然科学基金(31870438);山西省优秀人才创新项目(201805D211018)

作者简介:介瑞琪(1993-),女,山西沁源人,硕士研究生。

E-mail:jrq0917@163.com

赵祥为通讯作者。E-mail:sxndzhaox@126.com

后所堡村。地理坐标为 N 39°59′48.5″, E 112°19′39.6″, 海拔 1 348 m, 气候类型是温带半干旱气候。年平均气温 3.6℃, 年均降水量 450 mm, 雨季主要集中在每年 7~9 月。最冷月(1 月)均温低至 -14.3℃, 最热月(7 月)均温 19.9℃, $\geq 0^\circ\text{C}$ 年总积温在 2 600~3 600℃ 之间。土壤属于苏打草甸碱土, pH 值为 9.2。草地类型是低地草甸类, 盐化低地草甸亚类。为赖草 (*Leymus secalinus*)-鹅绒委陵菜 (*Potentilla anserina*)-杂类草群丛, 草地植被呈现出“马赛克”式的镶嵌斑块景观特征, 斑块间紧密交错相街, 不同斑块因其优势物种不同而明显区别于周围植被。

1.2 试验设计

在右玉县重度盐碱草地上, 围栏封育 3 年, 依据斑块中指示性植物或聚集的植物种群对其进行初步分

表 1 赖草草地斑块的特征

Table 1 Characteristics of *L. secalinus* grassland patch

| 斑块编号 | 斑块种类 | 斑块特征 |
|------|-------|---|
| KB | 光碱斑 | 光碱斑表面被严重破坏, 常有 1~2 cm 厚的白色盐碱结皮, 光滑且少缝隙。 |
| JH | 碱蒿斑块 | 碱蒿为表征性植物, 常在盐碱斑的外围成圈生长。 |
| LW | 芦苇斑块 | 芦苇单优群落。 |
| JM | 碱茅斑块 | 碱茅斑块, 是盐碱化特征更显著的斑块类型, 小面积的出现碱茅和赖草复合体。 |
| HWC | 虎尾草斑块 | 表征性植物为虎尾草, 有些地段与赖草成为共建群种, 构成赖草-虎尾草斑块。 |
| LC | 赖草斑块 | 该地区该类天然草地的优势草种, 它常与其他草种组成盐生草甸。 |

1.4 土壤指标测定

1.4.1 土壤样品采集 土壤取样按斑块类型进行, 每种斑块类型各取 3 个重复, 用直径为 3 cm 的土钻分层取 0~10, 10~20, 20~30 cm 土层土样, 每层钻取 3 钻并将其混合均匀。

1.4.2 斑块土壤指标测定 采用称重法测定土壤含水量, 环刀法测定土壤容重^[7]。

$$\text{土壤容重} = (M - G) \times 100 / V \times (100 + W);$$

式中, M 为环刀及湿土重(g); G 为环刀重(g); V 为环刀容积(cm^3); W 为土壤含水量(%)。

采用常规试验方法测定土壤化学指标: 用 pH 计和电导率测定仪测定 pH 值和电导率; 用硫酸重铬酸钾氧化法测定有机质含量; 用凯氏定氮法测定全 N 含量; 用氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法测定全 P 含量; 用氢氧化钠熔融-火焰光度计法测定全 K 含量; 用碱解扩散法测定土壤速效 N 含量; 用 $\text{NH}_4\text{F-HCl}$ 浸提-钼锑抗比色法测定速效 P 含量; 采用 NH_4OAc 浸提-火焰光度法测定速效钾含量^[8]。

类, 使斑块与其周围植被存在鲜明轮廓界限的表征特性, 并逐一编号。盐碱草地群落斑块面积界定在 0.5~100 m^2 。试验选取 3 个样地, 每个样地占地面积 2 000 m^2 (20 m×100 m), 总占地 6 000 m^2 。每个样地内根据群落聚集情况, 随机选择碱蒿 (*Artemisia anethifolia*)、芦苇 (*Phragmites australis*)、碱茅 (*Puccinellia distans*)、虎尾草 (*Chloris virgata*) 和赖草 5 种表征植物斑块, 以光碱斑为对照, 同类斑块的样方在同一样地内设置 3 个重复, 共计 48 个斑块。

1.3 样地基本信息

赖草草地斑块的演替顺序为光碱斑→碱蒿斑块→芦苇斑块→碱茅斑块→虎尾草斑块→赖草斑块^[6]。不同斑块特征如表 1 所示。

1.5 数据分析与处理

采用 Microsoft Excel 软件整理和计算数据。采用 SPSS 23.0 软件对不同群落斑块的土壤理化性质进行方差分析和主成分分析。采用 Sigma Plot 12.5 软件做图。

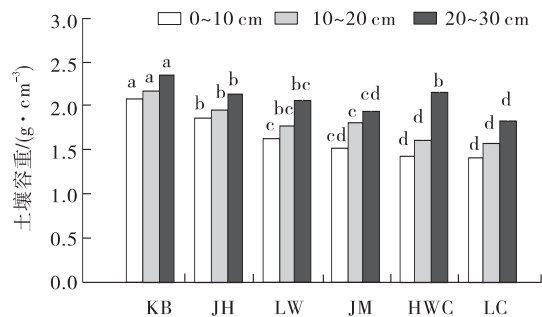
2 结果与分析

2.1 赖草草地斑块的土壤容重和含水量

在赖草草地斑块演替过程中, 不同斑块相同土层的土壤容重均呈先降低后上升的趋势, 且光碱斑显著大于其他斑块 ($P < 0.05$) (图 1)。各斑块不同土层的土壤容重在 0~30 cm 均表现为, 表层土壤容重较小, 土壤容重随着土层深度的加深逐渐增大 (图 1)。

晋北盐碱化草地围封之后, 土壤含水量呈上升趋势, 光碱斑最小, 赖草斑块最大, 光碱斑 0~10, 10~20 和 20~30 cm 土层的含水率分别为 7.36%, 8.68% 和 8.94%。当光碱斑演替为碱蒿斑块时, 0~10, 10~20 和 20~30 cm 土层的含水量分别增加了 32.35%,

16.71%和17.11%。各土层土壤的含水量除碱茅斑块和虎尾草斑块间差异不显著外,斑块间均差异显著($P<0.05$)。6种群落斑块土壤含水量在垂直剖面上



的变化一致,均表现为随着土层深度的加深,土壤含水量呈增加的趋势(图1)。

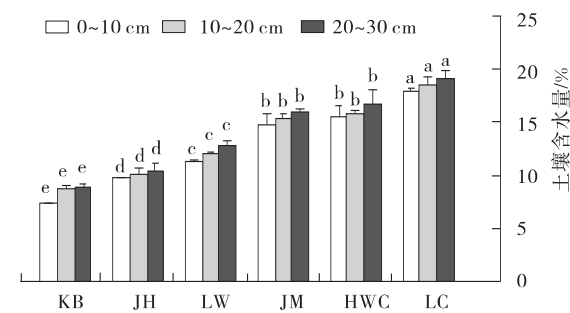


图1 赖草草地斑块土壤容重和含水量

Fig. 1 Soil bulk density and water content of *L. secalinus* grassland patch

注:图中KB、JH、LW、JM、HWC、LC分别表示光碱斑、碱蒿斑块、芦苇斑块、碱茅斑块、虎尾草斑块、赖草斑块,不同小写字母表示不同斑块间相同土层深度土壤容重、土壤含水量差异显著($P<0.05$),下同

2.2 赖草草地斑块的土壤化学性质

0~10 cm土层光碱斑块pH值明显大于其他群落斑块的pH值($P<0.05$)(图2A),赖草斑块显著低于其他斑块($P<0.05$);群落斑块有机质除10~20 cm土层的芦苇斑块外,其他斑块均大于同一土层的光碱斑块,且差异显著($P<0.05$)(图2B),土壤有机质也具有表聚性特征,表层土壤的有机质含量最高,随土层深度增加呈线性降低趋势(图2B)。

光碱斑、碱蒿斑块、芦苇斑块3种斑块间全氮含量有显著差异($P<0.05$),而芦苇斑块与其他草地斑块间无显著差异($P>0.05$)。随着斑块的演替全氮含量呈增加趋势,且表层的氮含量明显高于其他土层(图3C)。在0~20 cm,不同斑块速效氮存在显著差异,20~30 cm,光碱斑和碱蒿斑块、芦苇斑块和碱茅斑块、虎尾草斑块和赖草斑块间差异不显著($P>0.05$),但和其他斑块存在显著差异($P<0.05$)(图2D)。土壤全磷在0~10 cm土层除芦苇和碱茅斑块间及虎尾草和赖草斑块间无显著差异外,其他斑块间均存在显著差异($P<0.05$)(图2E)。不同群落斑块间速效磷存在显著差异($P<0.05$)(图2F)。赖草草地斑块土壤全氮、磷、钾、速效氮、速效钾等均随土层深度增加呈降低趋势,速效磷随土层深度增加呈增加趋势。

2.3 赖草草地斑块土壤理化性质的主成分分析

基于土壤11个理化性质指标的主成分分析表明(表2),主成分1的贡献率为62.571%,主成分2的贡献率为19.668%,主成分3的贡献率为6.674%,累计贡献率已达88.912%。因此选取这3个主成分作为

评价盐碱化土壤演变的依据。主成分1主要反映了土壤有机质、氮素、钾素、容重表征养分的信息,主成分2主要反映了土壤含水量的信息,主成分3主要反映了pH表征的信息。

表2 基于土壤理化性质的盐碱化主成分分析

Table 2 Principal component analysis of salinization grassland based on the soil physical-chemical properties

| 指标 | 主成分分析 | | |
|-------------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 |
| 土壤含水量 | -0.750 | 0.576 | 0.065 |
| 容重 | -0.908 | 0.233 | -0.009 |
| pH | -0.842 | -0.276 | -0.406 |
| 有机质 | 0.861 | 0.276 | -0.406 |
| 全氮 | 0.924 | -0.060 | 0.268 |
| 全磷 | 0.909 | -0.361 | 0.103 |
| 全钾 | 0.824 | -0.143 | 0.243 |
| 速效磷 | -0.834 | -0.266 | 0.327 |
| 速效钾 | 0.824 | -0.143 | 0.243 |
| 速效氮 | 0.880 | -0.059 | 0.369 |
| 特征值 | 6.883 | 2.163 | 0.734 |
| 贡献率/% | 62.571 | 19.668 | 6.674 |
| 累积贡献率 t / % | 62.571 | 82.238 | 88.912 |

3 讨论

3.1 赖草草地斑块的土壤物理性质的响应

容重的大小受土壤有机质含量等因素的影响。赵勇钢等^[9]对典型封育草地土壤结构特征进行研究,在施行封育措施条件下,草地在演替过程中,土壤容重逐

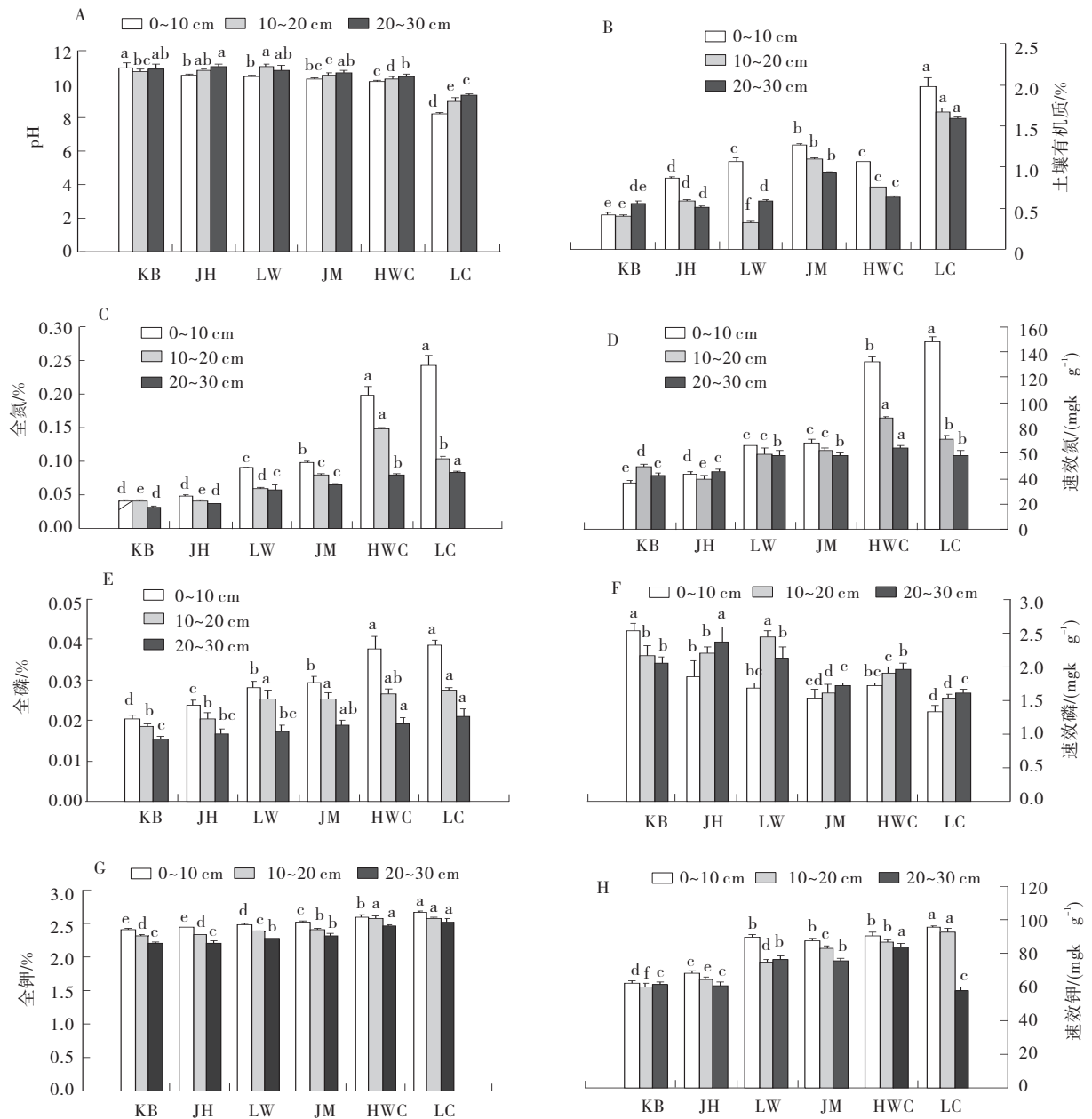


图2 赖草草地斑块土壤养分含量变化

Fig. 2 Changes of soil nutrient content of *Leymus secalinus* grassland patches

渐降低,主要是因为土壤有机碳含量的增加以及植物根系和微生物对土壤的作用,使土壤结构得到改善。本研究表明:随植物群落斑块的演替,土壤容重呈下降的趋势。主要是因为群落演替过程中,土壤容重主要受由植物根系活动和植物残体归还所增加的土壤有机质的影响。本研究斑块演替过程中,根系逐渐繁殖,特别在土壤表层分布许多细小的根系,增加了土壤孔隙度,使土壤物理性状得到很大的改善,苏永中等^[10]对科尔沁沙地围封的研究也得到相同的结论。

土壤水分受土壤特性、气象等诸多环境因子的影响^[11]。土壤水分与群落状况显著相关,植被类型、盖

度及生长情况都会影响土壤含水量^[12-13]。David等^[14]研究表明,土壤水分含量是河滩草甸植物多样性植被演替、草地恢复的决定因素。本研究中,赖草草地排除放牧等干扰后,随着群落斑块的演替,土壤含水量呈增加趋势。表明群落封育后,植被群落发生改变,地表覆盖度增加,降低了地表水分的蒸散。另外,随着群落斑块演替,赖草是多年生禾本科草本,地表枯落物增多,减少了水分的蒸发,使土壤的理化特性得到改善。这和傅伯杰等^[15]的研究结果一致。

3.2 赖草草地斑块的土壤化学性质的响应

国内外学者对草地围栏封育后的植被和土壤特征

变化做了一系列研究^[16-18],退化草地在自然恢复过程中有机质、N、P等养分含量增加^[19-22]。本研究表明草地群落斑块演替过程中,土壤容重、pH值、速效P含量呈降低趋势,有机质、全N、全P、全K、速效N和速效K含量均呈现增加趋势,与国内外学者的研究结果一致。

土壤有机质的含量,受生物、气候条件的制约。本研究中,随着群落的演替,土壤有机质含量呈上升趋势,且各斑块土壤之间差异显著($P < 0.05$)。虎尾草斑块、碱茅斑块出现,其土壤有机质含量显著高于碱蒿斑块、芦苇斑块($P < 0.05$)。主要原因是:大量植物的生长,使植物残体输入增加,土壤有机质含量增加。禾本科牧草虎尾草和碱茅的出现,是演替过程中质的变化,对土壤有机质的积累、生境的改善尤为重要。同时,虎尾草根系发达,能积累大量的有机质在土壤中,可在草丛中积累被风吹来的泥沙,这样便可以逐步形成表土层,使赖草和其他牧草可以侵入,以致碱斑缩小消失,加速了盐碱草地的恢复演替。

Agustin等^[23]的研究表明,土壤有机质在小尺度的空间异质性可通过显著地影响土壤的生物化学过程,进而促进植物的生长。土壤中的有机质可以改善土壤结构,减少地面蒸发,通过增加微生物和土壤酶活性来产生各种有机酸,中和土壤中的碱。全氮,全磷,全钾和速效养分含量的变化与有机质的变化趋势基本一致,而速效钾的变化与其变化趋势不一致。主要是因为,土壤有机质的积累对氮素含量有主导作用,这与王国梁等^[24]对纸坊沟的土壤养分研究结果一致。而本研究中速效钾含量呈降低趋势,这主要是因为土壤中参与钾素循环的主要是速效钾。速效钾受缓效钾、群落结构、环境因子等的影响,与缓效钾间存在一个动态的平衡过程。

4 结论

随着碱斑→碱蒿斑块→芦苇斑块→碱茅斑块→虎尾草斑块→赖草斑块的演替过程,土壤容重、pH值、速效磷含量降低,而土壤含水量、土壤有机质、全氮、全磷、全钾、速效氮、速效钾含量呈增加趋势。因此,在实践应用过程中,可以通过改变土壤的理化性质实现草地植被恢复与盐碱化草地治理和人工调控草地更新演替。

参考文献:

[1] 郜慧萍. 晋北盐碱地现状及植被恢复对策[J]. 山西林业

科技,2017,46(4):55-56.

- [2] De Deyn G B, Raaijmakers C E, Van Der Putten W H. Plant community development is affected by nutrients and soil biota[J]. *Journal of Ecology*, 2004, 92(5): 824-834.
- [3] 杨小波, 张桃林, 吴庆书. 海南琼北地区不同植被类型物种多样性与土壤肥力的关系[J]. *生态学报*, 2002, 22(2): 190-196
- [4] 黄文娟. 吉林省西部草原土壤微域特征极其与植被耦合关系的研究[D]. 长春: 吉林农业大学, 2005: 1-10.
- [5] 郑慧莹, 李建东. 松嫩平原的草地植被及其利用保护[M]. 北京: 科学出版社, 1993: 156-178.
- [6] Zhao X, Zhu H, Dong K, et al. Plant Community and Succession in Lowland Grasslands under Saline Alkali Conditions with Grazing Exclusion [J]. *Agronomy Journal*, 2017, 109(5): 2428-2437.
- [7] 吕渡, 杨亚辉, 赵文慧, 等. 不同恢复类型植被细根分布及与土壤理化性质的耦合关系[J]. *生态学报*, 2018, 38(11): 3979-3987.
- [8] 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: 18-96.
- [9] 赵勇钢, 赵世伟, 华娟, 等. 半干旱典型草原区封育草地土壤结构特征研究[J]. *草地学报*, 2009, 17(1): 106-112.
- [10] 苏永中, 常学向, 何志斌, 等. 祁连山典型流域谷地植被斑块演变与土壤性状[J]. *生态学报*, 2008, 28(1): 212-219.
- [11] Aranda I, Gil L, Pardos J. Seasonal water relations of three broad leaved species in a mixed stand in the center of the Iberian Peninsula [J]. *For Ecol Man*, 1996, 84(13): 219-229.
- [12] 王仁忠, 高琼, 李建东. 松嫩草原羊草群落水分生态的研究[J]. *草业学报*, 1996, 5(3): 8-13.
- [13] 许庆方, 董宽虎, 史书瑞, 等. 放牧利用白羊草灌丛草地的植被特征[J]. *草地学报*, 2004, 12(2): 136-157.
- [14] David Martin, Jeanne Chambers. Restoration of riparian meadows degraded by livestock grazing: above-and below-ground responses[J]. *Plant Ecology*, 2002, 163(1): 77-91.
- [15] 傅伯杰, 王军, 马克明. 黄土丘陵区土地利用对土壤水分的影响[J]. *中国科学基金*, 1999(4): 35-37.
- [16] 贾晓妮, 程积民, 万惠娥. 云雾山本氏针茅草地群落恢复演替过程中的物种多样性变化动态[J]. *草业学报*, 2008, 17(4): 12-18.
- [17] 曹成有, 蒋德明, 朱丽辉, 等. 科尔沁沙地草甸草场退化的原因与植物多样性变化[J]. *草业学报*, 2006, 15(3): 18

-26.

- [18] 陈楠,李广,侯扶江. 放牧对围栏封育高寒草甸植被特征和生产力的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2016,51(2):104-110.
- [19] 瞿王龙,裴世芳,周志刚,等. 放牧与围封对阿拉善荒漠草地土壤有机碳和植被特征的影响[J]. 甘肃林业科学,2004,29(2):4-6.
- [20] 文海燕,赵哈林,傅华. 开垦和封育年限对退化沙质草地土壤性状的影响[J]. 草业学报,2005,14(1):31-37.
- [21] 程杰,高亚军. 云雾山封育草地土壤养分变化特征[J]. 草地学报,2007,15(3):273-277.
- [22] 刘兵,吴宁,罗鹏,等. 草场管理措施及退化程度对土壤养分含量变化的影响[J]. 中国生态农业学报,2007,15(4):45-48.
- [23] Agust n Rubio,Adri n Escudero. Small-scale spatial soil-plant relationship in semi-arid gypsum environments[J]. Plant & Soil,2000,220(1-2):139-150.
- [24] 王国梁,刘国彬,侯喜禄. 黄土高原丘陵沟壑区植被恢复重建后的物种多样性研究[J]. 山地学报,2002,20(2):182-187.

Effect of *Leymus secalinus* grassland succession in Northern Shanxi Province on soil physical and chemical properties

JIERui-qi, XING Peng-fei, ZHANG Bin-bin, ZHAO Xiang

(College of Grassland Science, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China)

Abstract: Taking the soil in the process of salinization patches succession in *Leymus secalinus* grassland of Northern Shanxi Province as the research object, we used the method of space replacing time to study the physical and chemical characteristics of soil in different patches and explore its response to the succession process of salinization patches, which was used to provide theoretical basis for grassland vegetation restoration and salinized grassland management. The results showed that with the succession process of bare patch → *Artemisia anethifolia* patch → *Phragmites australis* patch → *Puccinellia distans* patch → *Chloris virgata* patch → *Leymus secalinus* patch, soil bulk density decreased from 2.20 to 1.61g/cm³, pH decreased from 10.85 to 8.82, and available phosphorus decreased from 2.25 to 1.49 mg/kg; soil water content increased from 8.33% to 18.46%, organic matter from 0.33% to 1.11%, total nitrogen from 0.04% to 0.14%, total phosphorus from 0.02% to 0.03%, total potassium from 2.31% to 2.59%, available nitrogen from 42.71 to 92.27mg/kg, and available potassium from 61.36 to 81.78 mg/kg; the bulk density, organic matter, nitrogen and moisture had obvious correlation with other soil physical and chemical factors, and played a key role in improving the soil quality and promoting nutrient cycling.

Key words: *Leymus secalinus* grassland, salinization, patch succession, soil physical and chemical properties