

围栏封育对红松洼自然保护区草原植物群落特征及多样性的影响

李慧¹, 钱金平¹, 陈辉¹, 董建新², 王运静³

(1. 河北师范大学 资源与环境科学学院 环境演变与生态建设重点实验室, 石家庄 050016;

2. 河北民族师范学院, 河北 承德 067000; 3. 河北省红松洼自然保护区管理处, 河北 围场 068457)

摘要:以红松洼自然保护区草原植物群落为研究对象,采用样方法对研究区2012—2016年连续5年围栏封育植被进行了调查分析。结果表明:围封5年的植物群落优势种并未发生明显更替变化,但随围封年限增加,围栏内优势种及其他物种的重要值发生改变,其中地榆(*Sanguisorba officinalis*)、裂叶蒿(*Artemisia tanacetifolia*)重要值明显增加,细叶苔草(*Carex rigescens*)降低最多。围栏封育使植物群落的高度、盖度、生物量均明显增加($p < 0.05$)。从不同经济类群分析,其优良牧草类、药用类植物比例增加,而杂类草比例相对下降。围封5年,植物群落丰富度指数、物种多样性指数、均匀度指数显著增加($p < 0.05$)。

关键词:围栏封育; 红松洼自然保护区; 植物群落特征; 生物多样性

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2017)04-0274-05

Effects of Enclosure on Community Characteristics and Species Diversity in Hongsongwa Natural Reserve

LI Hui¹, QIAN Jinping¹, CHEN Hui¹, DONG Jianxin², WANG Yunjing³

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Hebei Key Laboratory of Environmental Change and

Ecological Construction, Hebei Normal University, Shijiazhuang 050016, China; 2. Hebei Normal University for Nationalities, Chengde, Hebei 067000, China; 3. Hongsongwa Natural Reserve, Weichang, Hebei 068457, China)

Abstract: A field survey was conducted to investigate the vegetation community characteristics and species diversity of enclosure with the quadrat method in Hongsongwa Natural Reserve for 5 years from 2012 to 2015. The results showed that the dominant species of the plant community did not change significantly during the five years of enclosure, but with the increase of enclosure age, the important values of the dominant species and other species in the fence changed. In particular, *Sanguisorba officinalis*, *Artemisia tanacetifolia* increased significantly, and *Carex rigescens* decreased most. The height, coverage and aboveground biomass of plant communities increased obviously ($p < 0.05$). From the analysis of different economic groups, the proportion of excellent forages and medicinal plants increased, while the proportion of miscellaneous grass decreased. The plant community richness index, species diversity index and evenness index increased significantly ($p < 0.05$) after five years of enclosure.

Keywords: enclosure; Hongsongwa Natural Reserve; community characteristics; species diversity

草地是以草本植物种类占优势所构成的植物群落及其生长环境结合的自然综合体。草地资源作为可再生自然资源,是畜牧业赖以生存和发展的重要物质基础,同时具有气候调节、空气净化、防风固沙、涵养水源、土壤改良和旅游观赏等生态功能^[1-2]。红松

洼自然保护区是我国北方保存最好的原始自然草原之一,其地理位置特殊,在河北省承德农牧交错地带北段,地处东北、华北和内蒙古三大植物区系交汇地带,是我国中温型森林草原的生物物种基因库,具有重要的保护和科研价值,且对于保护首都北京及华北

地区免受北部风沙侵入具有生态屏障功能^[3-4]。近年来,在气候变化与超载放牧、滥采乱挖的共同影响下,草地逐渐退化,风沙危害、水土流失日益严重,草原生态环境恶化,致使生态服务功能的难以正常发挥,生物多样性面临威胁,并阻碍了当地社会、经济、生态的可持续发展^[5]。围栏封育作为一种投资少又见效快的恢复退化草原的措施^[6],国内学者就围栏封育对青海湖地区芨芨草草原、呼伦贝尔草原等的草原群落特征^[7-8]、物种多样性^[9-10]、土壤理化性质^[11]、土壤微生物^[12]等进行了大量研究。

作为我国草地资源重要组成部分的红松洼自然保护区,近年来我国学者从不同方面对其进行了科学研究。李莲芳和刘海丰等提出,在不同保护措施和管理模式下,红松洼自然保护区核心区、缓冲区和试验区三区群落表现出不同响应模式^[13-14]。庞建光指出,立枯物在红松洼草地的保持水土方面具有重要的生态意义,立枯物对幼苗建成有明显影响^[15]。李中林等认为短期围栏封育提高草地群落数量特征值,但多样性指数差异不明显^[16]。刘漫萍等提出短期围栏封育,使红松洼草原土壤螨群落结构和多样性特征对地表植物的放牧啃食和恢复变化具有不同的敏感性响应^[17]。但关于围栏封育对红松洼自然保护区草原植物群落特征的中长期影响的研究相对较少。本研究以红松洼自然保护区草原植物群落为研究对象,2012年起连续5 a对围栏草地植被进行调查,分析围栏封育对该区植物群落特征及多样性的影响,以期为红松洼自然保护区植被恢复、可持续开发和利用草地资源提供理论依据,同时为红松洼自然保护区的合理规划、优化生产模式和生物多样性的有效管理提供基础资料。

1 研究区概况

红松洼国家级自然保护区,位于河北省承德市围场满族蒙古族自治县的最北端,地处大兴安岭南段塞罕坝东段和冀北山地北段的汇合处,地理坐标为42°10′—42°20′N, 117°18′—117°35′E。该地区属于温带大陆性气候,春季干燥多风,夏季凉爽短促,秋季气温急降,冬季寒冷漫长。年均温为-0.3℃,最高温为29.8℃,最低温为-42.9℃,昼夜温差大,无霜期为70~80 d。年均降水量450~500 mm,主要集中在7—8月,占年降水量的75%左右,属半干旱地区,积雪期长达7个月。因处于蒙古高原南缘,以山地为主,平均海拔1 750 m,土壤以山地草甸土和山地黑土为主。植被类型为草甸化草原,植物种类多样,群落以细叶苔草(*Carex rigescens*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、地榆(*Sanguisorba officinalis*)、

裂叶蒿(*Artemisia tanacetifolia*)等多年生中生杂类草为优势植物。

1994年,红松洼被批准建立了省级自然保护区,1998年晋升为国家级自然保护区。该保护区总面积7 970 hm²,被划分为三个功能区:核心区、缓冲区、试验区,面积分别为1 200 hm², 2 000 hm², 4 770 hm²。

2 研究方法

2.1 样地设置

在保护区蘑菇山试验区选择具有代表性的1块样地(100 m×100 m)进行围栏封育,117°38′59″E, 42°34′24″N。围栏内指2012年3月起设置水泥桩、铁丝网进行围栏的天然草地,终年禁止人类和家畜入内。围栏外指常年连续自由放牧,周边有牦牛、绵羊等牲畜啃食、踩踏以及人类刨药、采摘等活动。

于2012—2016年8月初在植物生长高峰期,进行野外调查。采用五点取样法,在围栏内中心和四角划分5个10 m×10 m的大样方,每个大样方的中心和四角再划分5个1 m×1 m的小样方,共设置25个小样方。围栏外四周各设置4个10 m×10 m的大样方,每个大样方内采用五点取样法再划分5个1 m×1 m的小样方,共设置20个小样方。取1 m×1 m的小样方(3次重复),对围栏内外45个草本小样方种类组成、数量特征和物种多样性等进行调查,分别测定植物株数、高度、盖度、密度、频度和地上生物量等。

2.2 计算方法

对于草本植物,重要值的计算公式为:

$$\text{重要值} = (\text{相对密度} + \text{相对盖度} + \text{相对频度}) / 3 \quad (1)$$

物种多样性采用 Margalef 丰富度指数(R):

$$R = \frac{S-1}{\ln N} \quad (2)$$

式中: S 为样方调查物种数目; N 为样方内所有物种个体数目。

Simpson 多样性指数(D):

$$D = 1 - \sum \left(\frac{N_i}{N} \right)^2 \quad (3)$$

式中: N_i 为第*i*个物种的个体数; N 为所有物种个体数目。

Shannon-Wiener 多样性指数(H):

$$H = - \sum P_i \ln P_i \quad (4)$$

式中: $P_i = N_i / N$

Pielou 均匀度指数(JP):

$$JP = - \frac{\sum P_i \ln P_i}{\ln S} = \frac{H}{\ln S} \quad (5)$$

Alatalo 均匀度指数(E):

$$E=\frac{1/\sum P_i^2-1}{e^H-1}$$

(6)

2.3 数据处理

采用 Execl 2010 和 SPSS 19.0 进行相关数据处理与分析。

3 结果与分析

3.1 群落植物优势种及重要值变化

由表 1 可知,围封 5 a 的优势种并未发生明显变化,

仍为细叶苔草、珠芽蓼、地榆、裂叶蒿。围栏 5 a,珠芽蓼、地榆、裂叶蒿、山岩黄芪(*Hedysarum alpinum*)等牧草的重要值呈增大趋势,其中,地榆、裂叶蒿的重要值分别由未围封 0.079,0.063 增加到围封 5 a 的 0.215,0.151,各增加了 172.2%,139.7%,优势度明显增加。问荆(*Equisetum arvense*)、黑柴胡(*Bupleurum smithii*)、狼毒(*Stellera chamaejasme*)等药用类植物的重要值基本也逐年增加。而细叶苔草等植物的优势地位相对下降,由未围封到围封 5 a,重要值下降了 25.7%。

表 1 围栏封育植物群落主要物种重要值的变化

植物经济功能群	物种	未围封	围封第 1 年	围封第 2 年	围封第 3 年	围封第 4 年	围封第 5 年
优良牧草类	珠芽蓼 <i>Polygonum viviparum</i>	0.123	0.125	0.131	0.133	0.135	0.132
	地榆 <i>Sanguisorba officinalis</i>	0.079	0.111	0.125	0.154	0.183	0.215
	裂叶蒿 <i>Artemisia tanacetifolia</i>	0.063	0.067	0.082	0.135	0.139	0.151
	野火球 <i>Trifolium lupinaster</i>	0.038	0.043	0.045	0.032	0.039	0.031
	山岩黄芪 <i>Hedysarum alpinum</i>	0.008	0.023	0.025	0.016	0.021	0.022
药用类	硬质早熟禾 <i>Poa sphondylodes</i>	0.049	0.057	0.059	0.055	0.061	0.053
	毛茛 <i>Ranunculus japonicus</i>	0.046	0.055	0.059	0.051	0.049	0.042
	柳叶绒背蓟 <i>Cirsium vlassovianum</i>	0.027	0.036	0.041	0.029	0.022	0.019
	鹅绒委陵菜 <i>Potentilla anserina</i>	0.032	0.029	0.034	0.029	0.027	0.031
	柳叶蒿 <i>Artemisia integri folia</i>	0.022	0.035	0.037	0.034	0.029	0.029
	问荆 <i>Equisetum arvense</i>	0.009	0.011	0.012	0.013	0.016	0.018
	黑柴胡 <i>Bupleurum smithii</i>	0.002	0.003	0.006	0.005	0.007	0.007
	狼毒 <i>Stellera chamaejasme</i>	0.001	0.002	0.002	0.002	0.003	0.005
杂类草	细叶苔草 <i>Carex rigescens</i>	0.237	0.225	0.217	0.211	0.192	0.176
	蹄叶橐吾 <i>Ligularia fischeri</i>	0.016	0.015	0.013	0.013	0.009	0.007
	老鹳草 <i>Geranium wilfordii</i>	0.003	0.003	0.002	0.001	0.002	0.001

3.2 草原植物群落数量特征

3.2.1 植物平均高度、盖度和地上生物量变化 由表 2 可知,围栏内植物平均高度、盖度、生物量大致呈增长趋势。2012—2016 年度,期间未围封、围封 1 a、围封 2 a、围封 3 a、围封 4 a、围封 5 a,各样地草群平均高度分别为9.91,17.71,35.09,38.35,39.37,40.26 cm。方差分析结果表明:6 种类型样地的草群平均高度差异显著($p<0.05$),围栏封育可以显著增加群落植物的平均高度。其中未围封样地与其他 5 种围封样地相比,差异显著。6 种样地类型植物平均高度分别增长了 78.7%,98.1%,9.3%,2.7%,2.3%。围封 2 a 较围封 1 a 样地,植物平均高度增加了 98.1%,增长了近 1 倍。说明对自由放牧区围栏封育,植物平均高度呈增长趋势,且短期内增长明显,尤其是围封 2 a 植物增速最大,但随着围封年限延长,高度增长不明显。

未围封、围封 1 a、围封 2 a、围封 3 a、围封 4 a、围封 5 a,各样地草群盖度分别为 50.56%,63.65%,75.33%,76.51%,77.45%,77.83%。方差分析结果表明:6 种类型样地的草群盖度差异显著($p<0.05$)。

未围封样地与其他 5 种围封样地对比,差异显著。6 种类型样地草原植物盖度分别增加了 25.9%,18.4%,1.6%,1.2%,0.5%。说明短期围封 2 a,草群盖度增速较快,随着围封年限的延长,盖度仍在增长,增速明显变慢。

未围封、围封 1 a、围封 2 a、围封 3 a、围封 4 a、围封 5 a,各样地植物地上生物量干重分别为 368.15,412.25,594.53,620.11,628.26,638.72 g/m²。方差分析结果表明:6 种类型样地的植物地上生物量差异显著($p<0.05$)。未围封样地与其他 5 种围封样地对比,差异显著。6 种类型样地植物群落地上生物量分别增加了 11.9%,44.2%,4.3%,1.3%,1.7%。说明围栏内植物地上生长量逐年增加,短期内增加明显,随着围封年限延长,增速减慢,但围封 5 a 生物量增速高于围封 4 a。

3.2.2 植物群落不同经济功能群地上生物量变化 由表 3 可知,未围封、围封 1 a、围封 2 a、围封 3 a、围封 4 a、围封 5 a,植物群落优良牧草类、药用类和杂类草地上生物量的多少、组成比例发生了不同程度的变化。6 种样地类

型优良牧草类比例分别增长了 3.08%,1.72%,1.39%,0.9%,0.36%;药用类植物比例分别增长了 2.61%,1.07%,0.58%,0.4%,0.06%;杂类草植物比例分别增长了一 5.69%,一 2.79%,一 1.97%,一 1.30%,一 0.42%。其中优良牧草类、药用类植物组成比例呈增长趋势,杂类草植物比例下降。说明围栏封育对红松洼自然保护区自由放牧区不同经济功能群的生物量及组成比例具有明显影响。

表 3 围栏封育对草原植物群落不同经济功能群地上生物量的影响

年份	处理	优良牧草类		药用类		杂类草	
		生物量/(g·m ⁻²)	比例/%	生物量/(g·m ⁻²)	比例/%	生物量/(g·m ⁻²)	比例/%
2012	未围封	71.16±11.45	19.33	105.40±20.09	28.63	191.59±38.59	52.04
2012	围封 1 年	92.39±20.31	22.41	128.79±27.77	31.24	191.07±51.56	46.35
2013	围封 2 年	143.46±23.67	24.13	192.09±31.54	32.31	258.98±37.45	43.56
2014	围封 3 年	158.25±19.17	25.52	203.95±34.9	32.89	257.91±45.90	41.59
2015	围封 4 年	165.97±17.57	26.42	209.15±28.97	33.29	253.14±38.70	40.29
2016	围封 5 年	171.05±26.09	26.78	213.01±43.78	33.35	254.66±28.96	39.87

3.3 物种多样性

采用丰富度指数 Richness、物种多样性指数 Shannon-Wiener 和 Simpson 以及均匀度指数 Pielou,Alatalo,对围封不同年限的植物群落进行统计分析。由表 4 可知,围封 5 a,植物群落的丰富度指数、物种多样性指数、均匀度指数基本呈现增长趋势。短期围栏 2 a,数值存在波动性,围封 1 a 除 Shannon-

表 2 围栏封育对植物群落高度、盖度、地上生物量的影响

年份	处理	高度/cm	盖度/%	地上生物量/(g·m ⁻²)
2012	未围封	9.92±0.98	50.56±5.77	368.15±125.22
2012	围封 1 年	17.71±2.31	63.65±3.12	412.25±120.93
2013	围封 2 年	35.09±1.89	75.33±3.08	594.53±127.66
2014	围封 3 年	38.35±2.13	76.51±1.96	620.11±123.84
2015	围封 4 年	39.37±2.68	77.45±2.19	628.26±118.60
2016	围封 5 年	40.26±2.56	77.83±0.99	638.72±124.94

Wiener 指数外,其他各指数增加,围封 2 a 各指数数值均降低。围封第 3 a 开始,围栏内丰富度、多样性及均匀度指数显著高于未围封区($p<0.05$),并且丰富度指数值在 1.8 以上,Shannon-Wiener 指数值在 2.7 以上,均匀度指数在 0.87 左右。说明随着围栏封育时间延长,物种多样性增加,群落复杂程度变高,物种分布更均匀。

表 4 围栏封育植物群落丰富度指数、多样性指数、均匀度指数的变化

年份	处理	丰富度指数	物种多样性指数		均匀度指数	
		Richness	Shannon-Wiener	Simpson	Pielou	Alatalo
2012	未围封	1.53±0.06	2.697±0.104	0.889±0.049	0.816±0.026	0.725±0.016
2012	围封 1 年	1.61±0.08	2.655±0.112	0.902±0.024	0.854±0.018	0.754±0.017
2013	围封 2 年	1.46±0.08	2.552±0.113	0.880±0.034	0.808±0.038	0.712±0.018
2014	围封 3 年	1.82±0.11	2.776±0.089	0.911±0.025	0.862±0.015	0.768±0.037
2015	围封 4 年	2.16±0.11	2.867±0.102	0.928±0.019	0.875±0.017	0.783±0.022
2016	围封 5 年	2.20±0.13	2.963±0.096	0.932±0.028	0.886±0.024	0.792±0.026

4 讨论和结论

4.1 讨论

在一个植物群落中,并不是所有物种都具有同等的重要性,只有少数几个种由于个体数量多、盖度大、密度高、生活能力强等,在整个群落中的外型、结构组成中起主导作用。一般,重要值用来表示某个种在群落中所具有的地位和作用大小,是群落优势度分析指标。某个种的该指标值越大,表示其在群落中作用越大,该种即为群落的优势种。优势种决定着群落的内部结构和生境,在群落中具有重要意义。本研究中,围栏封育 5 a,优势种仍以细叶苔草、珠芽蓼、地榆和裂叶蒿为主,这与已有文献^[3,16]的研究基本吻合。本研究区草原采取围栏封育措施,由于禁止牦牛、羊等

牲畜的啃食及人类采摘、刨药等干扰行为,围栏内群落植物高度、盖度、地上生物量呈增长趋势,这与前人^[8,10,18-24]等的研究结果一致。植物功能群是对特定环境因素有相似反应的一类物种(分类群),作为具有确定植物功能特征的一系列植物组合,对群落种间和种内关系、生产力和稳定性有重要影响^[25-26]。本文中,优良牧草类、药用类、杂类草组成比例随着围封年限的增加产生变化,优良牧草类、药用类植物生物量增加,提高了物种竞争力,与刘雪明等^[2]围栏封育措施对天然草地影响的结果相似。

物种多样性是对一个群落内物种分布的数量和均匀程度的测度指标,反映了群落物种的丰富程度以及群落的稳定性与动态^[27]。研究区内,短期围栏物种多样性数值存在波动,是由于植被长期被牲畜啃

食、踩踏及人类行为影响,生长发育受到抑制^[28]。随围封年限延长,草原物种多样性增加,这与单桂莲等^[29]研究结果相符。

闫玉春等认为围封对草地影响具有双面性,合理围封可以提高物种多样性和草地生产力,利于退化草地的恢复,但长期的围封不利于草原繁殖更新^[30]。王蕾等认为围封时间长短应根据草原环境、恢复状况决定,围封达到一定期限适当刈割或放牧可以促进牧草再生^[31]。由于草原类型各异,围栏封育的时间长短及放牧强度等差异,研究结果也不一样^[27,32]。本研究区物种多样性、地上生物量是否随着围栏时间延长不断增加,围栏多长时间草地植被恢复达到最佳效果,仍需要长期进一步研究。

4.2 结论

(1) 围封 5 a 的优势种并未发生明显更替变化,但随着围封年限增加,围栏内优势种及其他物种的重要值发生改变。

(2) 对自由放牧区围栏封育 5 a,植物群落的高度、盖度和地上生物量都有了不同程度的提高($p < 0.05$)。短期围封 2 a,草群高度、盖度、地上生物量增速较快,随着围封年限的延长,草群高度、盖度、地上生物量仍在增长,增速逐年变慢,除围封 5 a 生物量增速高于围封 4 a。

(3) 围栏封育使研究区草原植物群落不同经济功能群的生物量及组成比例发生不同程度的变化。

(4) 随着围栏封育时间延长,植物群落的丰富度指数、物种多样性指数、均匀度指数大致呈现增长趋势。

参考文献:

- [1] 魏雯,师尚礼,胡涛,等.农牧交错区草地面积动态变化研究:以内蒙古太仆寺旗为例[J].草原与草坪,2012,32(1):29-33.
- [2] 刘雪明,聂学敏.围栏封育对高寒草地植被数量特征的影响[J].草业科学,2012,29(1):112-116.
- [3] 李连方,王培,王警龙,等.红松洼草地自然保护区种子植物区系的研究[J].中国草地学报,1999(5):36-42.
- [4] 魏鹏程,付卓,李连芳.坝上明珠:红松洼国家级自然保护区[J].大自然,2011(5):15-15.
- [5] 邹声文.我国天然草原 90%在退化[J].草业科学,2002,19(4):59.
- [6] 李政海,王炜,刘钟林.退化草原围封恢复过程中草场质量动态的研究[J].内蒙古大学学报,1995,26(3):334-338.
- [7] 周国英,陈桂琛,韩友吉,等.围栏封育对青海湖地区芨芨草原群落特征的影响[J].中国草地学报,2007,29(1):19-23.
- [8] 聂莹莹,王国庆,彭芳华,等.围栏封育对呼伦贝尔草甸草原群落特征的影响[J].中国草地学报,2016,38(1):87-92.
- [9] 朱丽,李广宇,王芳,等.围栏封育对草地生物多样性的影响[J].草业与畜牧,2010,29(5):1-3.
- [10] 孙宗玖,安沙舟,马金昌.围栏封育对草原植被及多样性的影响[J].干旱区研究,2007,24(5):669-674.
- [11] 苏建红,朱新萍,贾宏涛,等.围栏封育对巴音布鲁克草原土壤理化性质的影响[J].地球环境学报,2016,7(5):501-508.
- [12] 柴晓虹,姚拓,王理德,等.围栏封育对高寒草地土壤微生物特性的影响[J].草原与草坪,2014,34(5):26-31.
- [13] 李连方,王培,殷甫络,等.不同保护措施对山地草甸植物多样性的影响[J].草地学报,1999,7(2):106-112.
- [14] 刘海丰,李连芳.红松洼自然保护区草甸群落结构与多样性对管理模式的影响[J].生态学杂志,2012,31(5):1082-1087.
- [15] 庞建光.立枯物对红松洼自然保护区植物物种多样性的影响[D].北京:中国农业大学,2005.
- [16] 李中林,秦卫华,周守标,等.短期围栏封育对红松洼自然保护区群落数量特征的影响[J].草地学报,2015,23(1):21-26.
- [17] 刘漫萍,秦卫华,李中林,等.红松洼自然保护区土壤螨群落结构对短期围栏封育的响应研究[J].生态环境学报,2016,25(5):768-774.
- [18] 郑翠玲,曹子龙,王贤,等.围栏封育在呼伦贝尔沙化草地植被恢复中的作用[J].中国水土保持科学,2005,3(3):78-81.
- [19] 马克平,黄建辉,于顺利,等.北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II 丰富度、均匀度和物种多样性指数[J].生态学报,1995,15(3):268-277.
- [20] Renne I J, Tracy B F. Disturbance persistence in managed grassland: shifts in aboveground community structure and the weed seed bank [J]. Plant Ecology, 2007,190(1):71-80.
- [21] Osem Y, Perevolotsky A, Kigel J. Site productivity and plant size explain the response of annual species to grazing exclusion in a Mediterranean semi-arid rangeland[J]. Journal of Ecology, 2004,92(2):297-309.
- [22] Howard K S C, Eldridge D J, Soliveres S. Positive effects of shrubs on plant species diversity do not change along a gradient in grazing pressure in an arid shrubland[J]. Basic and Applied Ecology, 2012,13(2):159-168.
- [23] Scimone M, Rook A, Garel J P, et al. Effects of live-stock breed and grazing intensity on grazing systems: Effects on diversity of vegetation[J]. Grass and Forage Science, 2007,62(2):172-184.
- [24] 刁兆岩,冯朝阳,徐立荣,等.草地围封内外植物多样性变化研究:以辉河自然保护区为例[J].水土保持研究,2011,18(5):148-151.

表 4 三直线模型拟合表

类型	α	k	γ	r	n	s	U_A	U_B	U_s
YC	3.54	2.78	1.95	0.22	1.64	1.14	0.15	0.21	0.26
HL	0.95	4.0	0.094	0.45	0.23	0.62	0.12	0.16	0.21
TX	4.74	0.48	0.67	0.06	0.68	0.69	0.16	0.22	0.25
LP	1.78	1.1	1.0	0.44	0.66	0.9	0.19	0.24	0.27

3 结 论

通过对六盘山(LP)、贺兰县(HL)、同心县(TX)和盐池县(YC)四地的土壤通过取样,对其平均容重、土壤水分特征曲线进行测定分析,并且对脱水过程中土壤收缩特征进行定量测定,结果表明 V-G 模型对四种土壤的水分特征曲线的拟合均具有较高的精度,决定系数 R^2 都在 0.99 以上,LP 砂壤土水分特征曲线中拟合中 V-G 模型和 LNG 模型精度最高,HL 黏土 B-C 模型决定系数最大,TX 黏壤土和 YC 轻壤土均是 V-G 模型拟合效果最好。不同区域由于土壤类型的差异,土壤有效收缩度对土壤吸力值的反映也不同,总体有效收缩度相对值依次为 $HL>TX>YC>LP$,收缩最大的为黏土。脱水过程中比容曲线可以分为“滞留段、正常段、结构段”三个阶段,不同区域的土壤分别达到这三个阶段的土壤含水率 LP 土壤为 19%,24%,HL 土壤为 13%,20%,TX 土壤为 16%,26%,YC 土壤为 14%,22%,曲线总体上表现为 LP 曲线比较平缓,其余三种土壤跳跃性比较大。脱水后容重相对大小为 $LP>TX>YC>HL$,这与土壤各颗粒级配组成密切相关。

土壤水分特征曲线是表征土壤水分能量和数量的重要水力参数,其主要受土壤机械组成、土壤孔隙结构、土壤容重、温度、土壤孔隙变化等多种因素的影响,其对研究土壤水分保持和运动的基本物理参数。目前测定方法主要有压力膜法、离心机法,以及土壤水分特征曲线测定仪,不同方法原理不同,测定结果

略有误差。通过研究土壤脱水过程中的土壤收缩特性,为土壤不同尺度水力参数估算、土壤涨缩缩性及溶质运移等提供基础,本研究中,供试土壤取自不同的区域,其容重、机械组成、土壤结构等因素均存在一定差异,因此关于土壤水分特征曲线影响因素的研究需要进一步研究。

参考文献:

[1] 王淑英,路苹,王建立.不同研究尺度下土壤有机质和全氮的空间变异特征:以北京市平谷区为例[J].生态学报,2008,28(10):4957-4964.

[2] 寇薇.内蒙古河套灌区土壤水盐空间变异性研究[D].兰州:西北师范大学,2008.

[3] Eghball B, Sche pers J S, Negahban M, et al. Spatial andtemporal variability of soil nitrate and corn yield: multifractal analysis [J]. Agronomy Journal, 2003, 95 (2):339-346.

[4] Peitgen H O, Jurgens H, Saupe D. Chaos and Fractals: New Frontier of Science[M]. NewYork: Springer-Verlag,1992:737.

[5] 邢旭光,赵文刚,马孝义,等.分特征曲线测定过程中土壤收缩特性研究[J].水利学报,2015,46(10):1181-1188.

[6] 邵明安,吕殿青.土壤收缩特征曲线的试验研究[J].土壤学报,2003,40(3):471-474.

[7] 吕殿青,王宏,王玲.离心机法测定持水特征中的土壤收缩变化研究[J].水土保持学报,2010,24(3):209-216.

[8] 杨绍镠,黄元仿.关于土壤收缩特征曲线的探讨[J].土壤通报,2007,38(40):749-752.

[9] 魏玉杰,吴新亮,蔡崇法.崩岗体剖面土壤收缩特性的空间变异性[J].农业机械学报,2015,46(6):153-159.

(上接第 278 页)

[25] 孙国钧,张荣,周立.植物功能多样性与功能群研究进展[J].生态学报,2003,23(7):1430-1435.

[26] 白永飞,陈佐忠.锡林河流域羊草草原植物种群和功能群的长期变异性及其对群落稳定性的影响[J].植物生态学报,2000,24(6):641-647.

[27] 周国英,陈桂琛,赵以莲,等.施肥和围栏封育对青海湖地区高寒草原影响的比较研究 I 群落结构及其物种多样性[J].草业学报,2004,13(1):26-31.

[28] 郑伟,朱进忠,潘存德.草地植物多样性对人类干扰的多尺度响应[J].草业科学,2009,26(8):72-80.

[29] 单贵莲,徐柱,宁发,等.围封年限对典型草原群落结构及物种多样性的影响[J].草业学报,2008,17(6):1-8.

[30] 闫玉春,唐海萍,辛小平,等.围封对草地的影响研究进展[J].生态学报,2009,29(9):5039-5046.

[31] 王蕾,许冬梅,张晶晶.封育对荒漠草原植物群落组成和物种多样性的影响[J].草业科学,2012,29(10):1512-1516.

[32] 张继义,赵哈林,张铜会,等.科尔沁沙地植被恢复系列上群落演替与物种多样性的恢复动态[J].植物生态学报,2004,28(1):86-92.