

祁连山典型流域谷地植被斑块演变与土壤性状

苏永中, 常学向, 何志斌, 王 芳

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所流域水文与应用生态实验室 中国生态系统研究网络临泽内陆河流域研究站)

摘要:植物群落演变与土壤性状变化之间的相互作用和过程研究对于认识生态系统结构和功能演变有着重要的意义。对祁连山谷地灌丛草甸退化演变过程中植物群落物种组成、土壤物理和化学性状特征、及土壤与植被的相互作用进行了研究,结果表明,在祁连山谷地阴坡林线以下较小的空间范围,植被斑块由金露梅群落向金露梅-马蔺群落斑块和马蔺群落斑块演变,植被盖度降低,但物种多样性增加。不同植被斑块之间土壤水分有显著的梯度变化,土壤水分的变化导致植被的退化演替。植被斑块的演变导致土壤性状的明显分异,从金露梅灌丛斑块向金露梅-马蔺群落斑块和马蔺群落斑块演变,土壤容重显著增加,土壤团聚体组成由大粒级的大团聚体($>1\text{mm}$)破碎为小粒级的大团聚体($1\sim0.25\text{mm}$)和微团聚体($<0.25\text{mm}$),团聚体稳定性降低,表明土壤结构的退化;土壤有机碳含量下降了 31.2% 和 55.9%,干筛各粒级土壤团聚体中有机碳含量金露梅-马蔺群落斑块和马蔺群落斑块显著低于金露梅斑块,土壤团聚体平均重量粒径与有机碳含量存在显著相关,植被退化演变中土壤有机碳的损失部分地由于团聚体的破碎引起;土壤全氮和有效氮不同斑块之间也有显著的差异,植被退化演变使氮的有效性降低;但磷、钾养分对植被变化的响应不敏感。植被的退化演变使土壤团聚体破碎、土壤结构退化,有机碳和全氮含量下降,使其抗侵蚀能力和水源涵养功能显著降低,又进一步加速植被的退化演替。在气候变暖的趋势下,马蔺斑块将进一步向林线逼近,灌丛草甸植被将会进一步退化和萎缩。

关键词:植被斑块;群落组成;土壤团聚体;土壤有机碳;土壤养分;祁连山谷地

文章编号:1000-0933(2008)01-0212-08 中图分类号:Q142, Q948, S718.51 文献标识码:A

Changes in vegetative patches and characteristics in soil properties in the valleys of Qilian Mountains

SU Yong-Zhong, CHANG Xue-Xiang, HE Zhi-Bin, WANG Fang

Laboratory of Watershed Hydrology and Applied Ecology, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Linze Inland River Basin Research Station, Chinese Ecosystem Research Network, Lanzhou 730000, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(1): 0212 ~ 0219.

Abstract: Research on interaction and processes between plant community succession and soil property changes has significant implications for understanding evolution of ecosystem structure and function. In this paper, plant species composition, characteristics in soil physical and chemical properties and vegetation-soil interactions in the degraded succession stage of shrub meadow community were investigated in the valleys of Qilian Mountains. Within a small spatial scale in the edge of forest in the valley of southern of mountains, plant community patch evolved from *Potentilla fruticosa* community to *Potentilla fruticosa*-*Iris lacteal* patch, and further to *Iris lacteal* community patch. The vegetative coverage decreased, but the species diversity increased. There was an evident gradient change in soil water content among different vegetative patches, showing that soil water availability resulted in the succession in vegetative community patches. The

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40601007; 30670375)

收稿日期:2006-11-03; 修订日期:2007-01-19

作者简介:苏永中(1966~),男,甘肃古浪人,博士,研究员,主要从事干旱区土壤学和恢复恢复生态学研究. E-mail: suyzh@ns.lzb.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40601007; 30670375)

Received date: 2006-11-03; **Accepted date:** 2007-01-19

Biography: SU Yong-Zhong, Ph. D., Professor, mainly engaged in soil science and restoration ecology. E-mail: suyzh@ns.lzb.ac.cn

evolution of vegetative patch has a strong influence on soil physical and chemical properties. From *Potentilla fruticosa* patch to *Iris lacteal* patch, soil bulk density significantly increased, the proportion of larger macro-aggregate fractions ($>1\text{mm}$) decreased and that of small macro-aggregate ($1-0.25\text{mm}$) and micro-aggregate fractions ($<0.25\text{mm}$) increased, and aggregate stability decreased, suggesting that soil structure degraded. Soil organic carbon concentration (SOC) decreased by 31.2% and 55.9% in *Potentilla fruticosa*-*Iris lacteal* patch and *Iris lacteal* patch, respectively, compared with *Potentilla fruticosa* patch. Also, OC concentration in dry-sieved aggregate classes was higher in the *Potentilla fruticosa* patch than in the other two patches. There is a close linear relationship between SOC and mean weight diameter of dry-sieved aggregates (DMWD). Loss of SOC in the degraded succession of vegetation is partly due to the breakdown of macro-aggregates. Total and available nitrogen concentrations decreased significantly from *Potentilla fruticosa* patch to *Iris lacteal* patch, but the decreased extent is less than that of SOC, resulting in a decreased C/N in *Iris lacteal* patch. However, the differences in total and available phosphorus and potassium nutrients among different vegetative patches were not observed. The degradation of soil structure due to macro-aggregate breakdown and the decline in SOC and nitrogen availability resulted in the decrease in resistance to erosion and in the function of water and soil conservation, and in turn, further accelerate degraded succession of vegetation. Under the drive of drought due to global climate warming, *Iris lacteal* community patch may further develop towards forest line and shrub meadow vegetation may further degrade and shrink.

Key Words: vegetative patch; community composition; soil aggregate; soil organic carbon; soil nutrient; in the valley of Qilian Mountains

大量研究表明,植被群落组成及其群落斑块变异强烈影响着土壤养分有效性、土壤结构、系统碳储量及土壤水热传输等^[1~5],而土壤性状的变化又反作用于植物生长、群落动态及地表水文等重要生态过程^[1,2,5~7]。因此研究植被群落组成与土壤性状之间的互馈作用对于了解生态系统结构与功能、认识生态过程与系统演变具有重要意义^[8]。

位于河西走廊南部的祁连山山地是西北干旱区第二大内陆河——黑河流域的主要水源地,区间处于高山冰川和河川水系之间的山地森林、草原生态系统对调蓄、涵养水源、保持水土、调节河川径流、保护生物多样性等方面起着重要的作用,也是流域中、下游绿洲经济可持续发展和全流域生态平衡维系的重要依托^[9]。近半个世纪以来,由于全球气候变暖和人为因素如森林砍伐、过度放牧等的影响,山地生态系统功能退化,表现为冰川退缩、天然林面积减少,山地草场退化,灌木林锐减,水源涵养功能降低,水土流失加重,引发全流域的生态问题^[10]。因此黑河流域水资源及水资源引起的环境问题近年来备受关注^[11]。山地森林草原系统的生态水文效应及生态保护成为近年来研究的热点,大量研究集中在不同植被斑块及土壤生态水文功能^[12~14]及流域不同景观格局的水文调节能力^[15]等方面。但对植被、土壤和水文效应变化之间的互馈作用尚未有深入的研究。本文选择祁连山典型流域谷地,研究灌丛植被退化演变过程中不同植被斑块的土壤性状特征,为揭示植被演变对生态水文效应的影响提供土壤学的解释。

1 研究区域和方法

1.1 研究区域概况

研究区位于祁连山自然保护区西水林场($36^{\circ}30' \sim 39^{\circ}30' \text{N}$, $93^{\circ}30' \sim 103^{\circ}30' \text{E}$),属高寒半干旱山地森林草原气候,年平均气温 0.5°C ,年均降水量 435.5mm ,海拔 $2500 \sim 3750\text{m}$ 。流域景观分异强烈,阳坡为山地干草原;阴坡为斑块状青海云杉(*Picea crassifolia*)林森林景观;阴坡向阳坡过渡的谷地,植被分布有明显的分异,阴坡林线以下为金露梅(*Potentilla fruticosa* L.)和银露梅(*Potentilla fruticosa* var. *dahurica*)为优势种的灌木群落,谷地向阳坡的过渡,水分梯度的变化,分布有成片的马蔺(*Iris lacteal* Pall. var. *Chibensis*)群落斑块,1年生和多年生草本植物主要有珠牙蓼(*Polygonum viviparum*)、大披针苔草(*Carex lanceolata* Boott.)、针茅(*Stipa* spp.)、萎陵菜(*Potentilla* spp.)、棘豆(*Oxytropis* spp.)、车前(*Plantago* spp.)等。土壤类型以山地灰褐土和亚

高山灌丛草甸土为主^[12]。

1.2 研究方法

1.2.1 样地选择

在研究区小流域青海云杉林林线以下谷地,从林线向阳坡的过渡,植被斑块发生明显的分异,从林线以下的金露梅灌丛斑块过渡为金露梅+马蔺群落斑块,最终演变为马蔺群落斑块,这种小尺度的植被斑块分异,实际是由于土壤水分梯度的变化,导致植被退化演替的结果。2004年7月,在研究区选择3个不同小流域谷地作为样地,研究不同群落斑块物种多样性和土壤性状特征。3个样地的地理位置为:样地1:38°33′18″N, 100°12′28″E;海拔2750m,坡度8°;样地2:38°32′52″N, 100°17′49″E;海拔2876m,坡度13°;样地3:38°33′36″N, 100°13′18″E;2785m,坡度10°;3个样地距林线距离约80~120m。

1.2.2 野外调查和取样

在每个样地每个群落斑块选取5个2m×2m的样方,在每个样方内测定群落盖度、高度、植物种数、频度和种类个体数及高度,5个样方的计测结果取平均值作为一个变量数据;在每个样方中取0~20cm表层土样用于化学性状分析;另取环刀样用于土壤自然含水量和容重测定。

1.2.3 室内分析和数据处理

物种多样性指数的计测用 Simpson 指数:

$$D = 1 - \sum [N_i(N_i - 1) / N(N - 1)]$$

式中, N 为样方中记录的植物种个体总数, N_i 为种 i 的个体总数;

土壤在室内风干,用手将大土块沿自然破碎面掰开,过8mm筛用于团聚体测定。取部分土样破碎过2mm筛,供土壤粒级组成和化学性质的分析;土壤团聚体组成分别用常规干筛和湿筛法测定^[16]。干筛法将团聚体分为8~5、5~2、2~1、1~0.5、0.5~0.25、0.25~0.1、0.1~0.05和<0.05mm 8级,并计算其平均重量粒径(DMWD):

$$DMWD = \sum_i^n W_i \bar{X}_i$$

式中, W_i 为第 i 粒级团聚体质量百分数, $\bar{X}_i$ 为相邻两级团聚体的平均粒径。湿筛法将团聚体分为>2、2~0.5、0.5~0.25mm,团聚体稳定性用>0.25mm团聚体质量表示。

土壤及干筛各粒级团聚体中有机碳和全氮含量用重铬酸钾氧化-硫酸亚铁滴定和凯氏法测定;氢氧化钠熔融-钼锑抗比色法测定全磷,氢氧化钠熔融-火焰光度计法测定全钾;土壤有效氮、有效磷和有效钾分别用碱解扩散法、 $\text{NH}_4\text{F-HCl}$ 浸提-钼锑抗比色法和 NH_4OAc 浸提-火焰光度法测定^[17]。

将3个样地作为3个重复,用SPSS11.5软件对不同群落之间土壤性状的差异显著性($P < 0.05$)及土壤性状之间的相关性进行分析。

2 结果分析

2.1 不同群落斑块物种组成

不同群落斑块植物种组成有显著的不同(表1)。在金露梅群落斑块中,金露梅灌丛覆盖度达到40%~60%,在灌木层下以大披针苔草和委陵菜为优势种,伴生有蒙古绣线菊(*Spiraea mongoliaca* Maxim)、节节草(*Equisetum ramosissimum*)和蒲公英(*Taraxacum mongolicum*)等植物种,形成20cm高的一层致密的草本层,盖度达100%,呈现出典型的灌丛草甸植被特征,在调查的植被斑块内,出现植物种9种,个体数平均为每平方米465株。在金露梅-马蔺群落斑块,金露梅盖度为25%~30%,马蔺盖度达15%~30%,总盖度达90%,在灌丛下草本层1年生植物种类组成,喜湿的苔草和委陵菜数量减少,出现条叶龙胆(*Gentiana manshurica* Kitag.)、早熟禾(*Poa annua* L.)等中生植物种,物种数增加到12种,每平方米出现的植物个体数平均为195株;在马蔺群落斑块,马蔺盖度达35%~80%,平均51%,在马蔺群丛下,1年生植物种类数量增加,出现的植物种数达到18种,但在每平方米出现的植物个体数量显著减少,平均为130株,植被总盖度下降到70%,湿中

生的苔草和委陵菜等植物种数量显著减少,对土壤水分敏感的马齿苋(*Portulaca oleracea* L.)、节节草和蒙古绣线菊从群落中退出,而一些相对耐旱的冰草(*Agropyron cristatum*)、狼毒(*Stellera chamaejasme* L.)、棘豆(*Oxytropis kansuensis* Bunge)等杂草大量出现,植物种类组成向阳坡植被特征过渡。当植被斑块从金露梅群落向金露梅-马蔺群落演替,最终演变为马蔺群落斑块时,植被盖度显著下降,但物种多样性增加,多样性指数(Simpson 指数)从 0.434 增加到 0.826。

表 1 不同植被群落斑块物种组成

Table 1 Plant species composition in different vegetative community patches

植物种 Species	金露梅群落 <i>P. fruticosa</i> patch			金露梅 + 马蔺群落 <i>P. fruticosa</i> + <i>I. lacteal</i> patch			马蔺群落 <i>I. lacteal</i> patch		
	<i>N</i> *	<i>H</i> (cm)	<i>P</i> (%)	<i>N</i> *	<i>H</i> (cm)	<i>P</i> (%)	<i>N</i> *	<i>H</i> (cm)	<i>P</i> (%)
金露梅 <i>Potentilla fruticosa</i>	2.4	50	100		2.1	45	100		
马蔺 <i>Iris lactea</i> Pall. var. <i>Chinesis</i>				3	30	100	8	33.6	100
蒙古绣线菊 <i>Spiraea mongoliaca</i> Maxim.	4	50	100						
苔草 <i>Carex lanceolata</i> Boott.	345	5	100	125	3	100	52	4	100
节节草 <i>Equisetum ramosissimum</i>	23	10	100	8	12	80			
珠芽蓼 <i>Polygonum viviparum</i>	14	5	100	6	20	100	0.8	3	20
委陵菜 <i>Potentilla</i> ssp.	32	4	100	20	4	60	12.6	3	60
马齿苋 <i>Portulaca oleracea</i> L.	42	8	100	16	8	60			
蒲公英 <i>Taraxacum mongolicum</i>	5	7	80						
条叶龙胆 <i>Gentiana manshurica</i> Kitag.				3	10	40	1	15	20
秦艽 <i>Gentiana dahurica</i> Fisch				4	12	60	0.2	3	10
乳白香青 <i>Anaphalis lacteal</i> Maxim.				2	6	40	0.4	5	20
早熟禾 <i>Poa annua</i> L.				3.6	24	40	6.4	28	40
甘肃棘豆 <i>Oxytropis kansuensis</i> Bunge				3.6	5	40	8.2	4	100
裂叶荆芥 <i>Schizonepeta tenuifolia</i> Briq.				4	13	20			
白苋 <i>Amaranthus albus</i> L.							12.6	10	60
三叶草 <i>Trifolium repens</i> Linn							13.6	2	80
狼毒 <i>Stellera chamaejasme</i> L.							2.6	21	80
车前 <i>Plantago asiatica</i> L.							5	2	20
针茅 <i>S. tipa</i> spp.							16	10	60
野西瓜苗 <i>Hibiscus trionum</i> L.							0.6	8	20
冰草 <i>Agropyron cristatum</i>							0.2	48	10
白蒿 <i>Artemisia scoparia</i> Waldst. et Kitaib							3	2	10
柴胡 <i>Bupleurum chinenses</i> DC.							0.6	8	10
个体数 Individual	465			195.2			143.2		
植物种数 Plant species	9			12			18		
总盖度 Coverage (%)	100			100			80		
金露梅盖度 <i>P. fruticosa</i> coverage (%)	50			25			0		
马蔺盖度 <i>I. lacteal</i> coverage (%)	0			10			51		
草本层盖度 Herb coverage (%)	100			90			60		
种类丰富度 Richness	0.434			0.571			0.826		

* *N*, *H*, *P* 表示植物种个数、高度和频度 *N*, *H*, *P* indicates the amount of plant individual, height and frequency

2.2 不同群落斑块土壤性状特征

不同植被群落斑块之间土壤含水量有极显著的差异(表 2)。在调查时金露梅斑块 0~20cm 土壤自然含水量达 30.7%,而相邻金露梅-马蔺群落斑块和马蔺群落斑块土壤含水量仅为金露梅斑块的 75%和 61%。从阴坡林线下土壤含水量的逐渐降低,导致金露梅灌丛的退化,植被盖度降低,植被向马蔺斑块演替;而植被的退化演变,保水功能减弱,加速了土壤持水性能的降低。

从土壤物理性状分析,不同群落斑块土壤有相同的粒级组成,以粉粒为主,但土壤容重和团聚体分布有显著差异(表 2,表 3)。金露梅斑块由于植被盖度高,土壤表层为致密的草皮层,土壤容重平均为 0.79 g cm⁻³,

过渡到金露梅-马蔺群落斑块土壤容重略有增加(0.84 g cm^{-3}),而马蔺群落斑块容重达到 1.0 g cm^{-3} ;干筛团聚体平均重量粒径为金露梅斑块(4.0 mm) > 金露梅-马蔺群落斑块(3.3 mm) > 马蔺群落斑块(1.8 mm),差异主要表现在金露梅斑块 > 2 mm 的大团聚体质量显著高于其它 2 个斑块,由金露梅灌丛群落向马蔺群落演变过程中,大粒级的大团聚体(> 1 mm)破碎为小粒级的大团聚体($1 \sim 0.25 \text{ mm}$)和微团聚体(< 0.25 mm) (图 1)。湿筛团聚体分析表明,尽管 > 0.25 mm 水稳定性团聚体质量不同群落斑块之间差异不显著,但 > 2 mm 和 $2 \sim 1 \text{ mm}$ 粒级团聚体质量马蔺群落斑块显著低于金露梅斑块和金露梅-马蔺群落斑块(表 3)。

土壤有机碳含量金露梅斑块显著高于其它 2 个斑块,但金露梅-马蔺群落斑块和马蔺群落斑块之间差异不显著,土壤全氮含量金露梅斑块和马蔺群落斑块之间差异显著;土壤 C/N 比与有机碳有相同的变化趋势(表 2);干筛各粒级团聚体中有机碳含量金露梅斑块也显著高于其它 2 个斑块,但全氮含量只有 > 2 mm 和 $2 \sim 1 \text{ mm}$ 2 个粒级金露梅斑块显著高于其它 2 个斑块,其余各粒级斑块之间差异不显著。 $1 \sim 0.5 \text{ mm}$ 、 $0.5 \sim 0.25 \text{ mm}$ 和 $0.25 \sim 0.1 \text{ mm}$ 3 个粒级团聚体中有较高的有机碳和全氮含量,而 < 0.05 mm 的粘粉粒中碳、氮含量较小(图 2)。回归分析表明,土壤有机碳与干筛各粒级团聚体中有机碳含量均有显著的线性相关,土壤全氮和团聚体全氮之间,除 < 0.05 mm 粘粉粒外,与其余各粒级团聚体中氮含量有显著相关(表 4),植被斑块演替过程各粒级团聚体碳、氮的损失导致土壤有机碳和全氮的下降。

土壤全磷和全钾各群落斑块之间没有显著的差异。有效养分碱解氮含量表现为金露梅斑块显著高于其它两个群落斑块,但有效磷和有效钾斑块之间没有显著差异(表 2)。

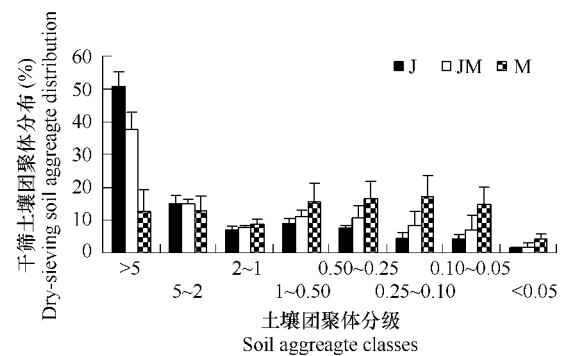


图 1 不同植被群落斑块干筛土壤团聚体分布

Fig. 1 Dry-sieving aggregate distribution in soils under different vegetative community patches

J: 金露梅群落斑块; JM: 金露梅 + 马蔺群落斑; M: 马蔺群落斑块

J: *P. fruticosa* patch; JM: *P. fruticosa* + *I. lacteal* patch; M: *I. lacteal* patch

表 2 不同植被群落斑块土壤性状

Table 2 Some selected soil properties under different vegetative community patches

土壤性状 Soil properties	金露梅群落 <i>P. fruticosa</i> patch	金露梅 + 马蔺群落 <i>P. fruticosa</i> + <i>I. lacteal</i> patch	马蔺群落 <i>I. lacteal</i> patch	F	P
沙粒 Sand $1 \sim 0.05 (\text{mm})$	13.5 ± 5.1	12.8 ± 1.2	12.5 ± 3.1	0.438	0.665
粉粒 Silt $0.05 \sim 0.002 (\text{mm})$	73.7 ± 4.8	73.9 ± 7.9	75.2 ± 1.6	0.210	0.816
粘粒 Clay < $0.002 (\text{mm})$	12.9 ± 1.2	13.3 ± 2.0	12.3 ± 2.5	1.226	0.358
容重 Bulk density ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	$0.79 \pm 0.04 \text{ b}$	$0.85 \pm 0.05 \text{ b}$	$1.00 \pm 0.15 \text{ a}$	4.96	0.073
土壤含水量 Soil water content %	$30.7 \pm 7.2 \text{ a}$	$23.0 \pm 4.0 \text{ b}$	$18.7 \pm 4.6 \text{ b}$	12.5	< 0.0001
土壤有机碳 Soil organic C ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$88.7 \pm 5.2 \text{ a}$	$67.6 \pm 4.9 \text{ b}$	$56.9 \pm 6.0 \text{ b}$	27.28	0.001
全氮 Total N ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$6.86 \pm 0.3 \text{ a}$	$6.21 \pm 0.24 \text{ a b}$	$6.07 \pm 0.42 \text{ b}$	4.98	0.053
碳氮比 C/N ratio	$13.4 \pm 1.9 \text{ a}$	$10.5 \pm 0.3 \text{ b}$	$9.5 \pm 0.7 \text{ b}$	9.46	0.014
全磷 Total P ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	0.88 ± 0.06	0.89 ± 0.04	0.92 ± 0.04	0.94	0.442
全钾 Total K ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	18.0 ± 1.2	19.4 ± 1.2	20.8 ± 0	6	0.037
水解氮 Available N ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$188 \pm 19 \text{ a}$	$160 \pm 11 \text{ b}$	$155 \pm 13 \text{ b}$	4.38	0.067
有效磷 Available P ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	12.7 ± 2.8	12.0 ± 0.25	11.5 ± 2.6	0.233	0.799
速效钾 Available K ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	368 ± 29	401 ± 52	376 ± 110	1.03	0.431

表 3 不同群落斑块土壤团聚体稳定性

Table 3 Soil aggregate stability under different vegetative community patches

土壤团聚体稳定性 Soil aggregate stability	金露梅群落 <i>P. fruticosa</i> patch	金露梅 + 马蔺群落 <i>P. fruticosa</i> + <i>I. lacteal</i> patch	马蔺群落 <i>I. lacteal</i> patch
干筛团聚体 Dry sieved >0.25mm(%)	89.5 ± 3.5 a	82.4 ± 2.7 a	63.6 ± 7.4 b
干筛团聚体平均重量粒径, DMWD(mm)	4.0 ± 0.2 a	3.3 ± 0.4 a	1.8 ± 0.5
湿筛团聚体 Wet sieved(%)			
> 2 mm	22.0 ± 2.4 a	20.1 ± 2.0 a	14.7 ± 2.8 b
2 ~ 1 mm	13.9 ± 2.5 a	10.0 ± 1.3 a	7.6 ± 1.1 b
1 ~ 0.25 mm	7.6 ± 1.4 b	8.8 ± 3.1 b	14.0 ± 2.3 a
> 0.25mm	43.5 ± 2.7 a	38.8 ± 4.0 a	36.3 ± 5.6 a

分别对表中每一行数据进行方差分析, $P < 0.05$, 同一行标有相同字母的两数间无差异 Data in each line are subject to variance analysis and the same letter in each line indicates no significance at 0.05 level

表 4 土壤有机碳和全氮含量(y)与团聚体有机碳和全氮含量(x)的线性回归关系

Table 4 Linear regression relationships between organic carbon and total N concentration in bulk soil (y) and in aggregates (x)

团聚体粒级 Aggregate class(mm)	有机碳 Soil organic C	R^2	全氮 Total N	R^2
> 5	$y = 0.9999x + 5.672$	0.827	$y = 0.3910x + 3.931$	0.423
5 ~ 2	$y = 0.7236x + 20.214$	0.921	$y = 0.3796x + 3.976$	0.602
2 ~ 1	$y = 0.6097x + 24.780$	0.894	$y = 0.3893x + 3.842$	0.684
1 ~ 0.5	$y = 0.5666x + 24.008$	0.885	$y = 0.4035x + 3.507$	0.727
0.5 ~ 0.25	$y = 0.6367x + 15.703$	0.906	$y = 0.425x + 3.126$	0.747
0.25 ~ 0.1	$y = 0.6720x + 15.166$	0.913	$y = 0.3752x + 3.532$	0.635
0.1 ~ 0.05	$y = 0.9422x + 11.623$	0.787	$y = 0.2558x + 4.726$	0.348
< 0.05	$y = 2.1722x - 13.852$	0.519	$y = 0.4230x + 4.533$	0.163

3 讨论和结论

在半干旱草地的研究表明,土壤对植被群落及其组成的影响首先是通过土壤水分有效性的变化引起^[1]。本项研究结果表明,祁连山谷地林线以下几米的尺度范围,不同群落斑块之间土壤含水量有明显的分异。土壤水分梯度的变化决定了植物分布的异质性和群落结构的演变。李英年等^[18]的研究结果表明,祁连山地区近 40a 来,年平均气温升高趋势明显,而年均降雨量表现为下降趋势,土壤早暖化程度明显,潮湿生境的草甸植被类型逐渐退化。在该研究区域,原生植被为金露梅和银露梅灌丛草甸,降雨减少引起水文过程的变化,阴坡乔木林水分向谷地入渗量减小,在向阳坡过渡的谷地适应性强的马蔺等植物种率先侵入原生的灌丛群落,对水分需求较高的灌木种逐渐退化或消失,在灌木层下以大披针苔草、珠芽蓼 (*Polymonum viviparum*) 和马先蒿 (*Pedicularis muscicola*) 等为优势种的草本层盖度逐渐降低,进而被一些中、旱生的杂草取代;随着土壤的进一步干化,马蔺种群逐渐向林线逼近,植被斑块由金露梅灌丛草甸向金露梅 + 马蔺群落斑块过渡,进而退化演变为单一的马蔺斑块。

植被斑块的退化演变导致土壤物理化学性状的变化,进一步加速植被的演替进程。不同植物和群落斑块之间可以通过根系的穿透、根际效应、对土壤水分的调节和凋落物的输入等过程影响土壤结构^[2]。本项研究表明,当灌丛群落斑块演变为马蔺群落后,土壤容重显著增加、大粒级的团聚体破碎为小粒级团聚体、团聚体稳定性显著降低。这主要是由于相对于灌丛群落,马蔺直立的叶片不利于对降雨的冠层截留,而有利于水分向土壤入渗和径流形成,土壤表层含水量降低,浅根系的 1 年生草本层盖度降低,表层土壤根系量减少,土壤容重增加;每年输入土壤的枯枝落叶量减少,有机质含量下降,土壤团聚体形成及稳定性降低,土壤持水能力下降。土壤大团聚体的形成主要通过未分解和半分解的有机物质与小团聚体相结合;马蔺群落斑块 > 0.25mm 土壤团聚体破坏率显著高于金露梅斑块,说明当灌丛草甸植被退化演替到马蔺群落斑块时,土壤抗

降雨冲击性能显著降低。土壤团聚体稳定性下降表明土壤结构的退化和持水能力的降低^[2],草地涵养水源生态功能退化。

植被斑块变异及群落内植物种类组成对土壤养分有效性及土壤系统碳储量有着强烈的影响^[5]。本项研究表明,从金露梅灌丛草甸群落退化演变到金露梅-马蔺群落斑块和马蔺群落斑块,表层土壤有机碳含量分别下降了 31.2% 和 55.9%。植被演替对碳储量的影响反映了不同群落斑块凋落物输入的差异,以及植被和凋落物覆盖的差异改变了土壤生态系统水分、温度和氧等状况而影响有机物质的分解^[19];另外植被的退化演替使土壤团聚体破碎及其稳定性下降,导致土壤团聚体对有机碳的物理保护作用降低^[20]。研究结果表明土壤团聚体的分布及其稳定性与有机碳含量之间存在显著的互动效应,从图 1、表 3 和图 2 反映的不同群落斑块土壤团聚体分布及其稳定性、不同团聚体组分有机碳含量的明显差异,以及干筛团聚体平均重量粒径(DMWN)与有机碳含量的显著相关(图 3)揭示出土壤结构退化对有机碳含量的显著影响。

被斑块由灌丛草甸向马蔺群落斑块的退化演变也导致土壤全氮含量及氮有效性的降低,但全氮损失的程度小于有机碳的损失,因而导致不同植被斑块土壤 C/N 比的显著差异,这与许多半干旱草地植被退化演变过程中土壤碳、氮的研究结果一致^[1]。相对于氮,磷、钾养分在植物群落斑块的演变中并未发生变化,说明在研究的草地,土壤磷、钾不是关键的养分因素而对植被退化演替的响应不敏感。

植被斑块演变与土壤性状的变化存在强烈的互馈效应。在半干旱草地,土壤对植物群落组成的影响主要是通过水分的有效性^[1]。在研究的草地,首先是土壤水分含量的降低导致更适应干旱的马蔺向灌丛草甸的侵入,随后 1 年生湿生植物种的退出使有机物质的输入量减少,导致一系列土壤性状的退化演变;同时,植物功能类型的变化及不同植物种对养分获取之间的差异会导致氮有效性的显著变化^[21],氮有效性的降低使草地对于干旱的抵抗力下降^[22],一些旱生植物种侵入机会增加。氮的有效性会改变草地次生演替的进程^[23]。土壤团聚体稳定性及碳氮含量的降低使土壤水文效应下降,加速植物群落向马蔺斑块演变。

土壤结构和养分状况是度量生态系统生态功能维持的关键指标之一。祁连山谷地植被从金露梅斑块向马蔺群落斑块的退化演替,土壤持水能力降低,土壤有机质和全氮含量下降,土壤结构退化,使其抗侵蚀能力和水源涵养功能显著降低。在气候变暖的趋势下,马蔺斑块将进一步向林线逼近,灌丛草甸植被将会进一步

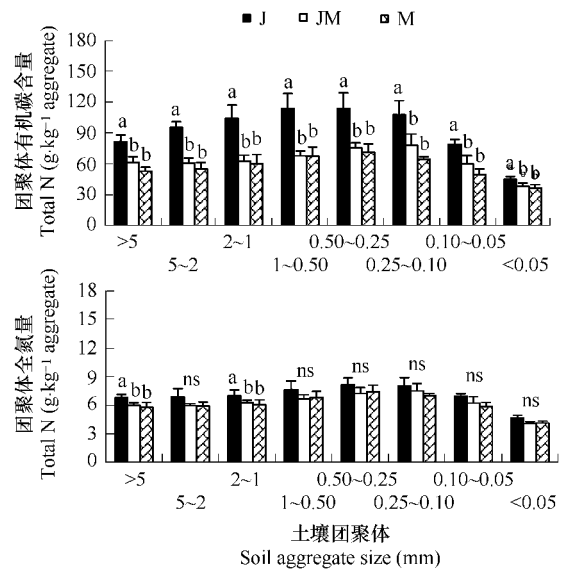


图 2 不同植被群落斑块干筛土壤团聚体有机碳和全氮含量

Fig. 2 Soil organic carbon and total nitrogen concentrations in different dry-sieved aggregate classes under different vegetative community patches

J: 金露梅群落斑块; JM: 金露梅 + 马蔺群落斑; M: 马蔺群落斑块; 不同字母表示群落斑块之间差异显著 ($P < 0.05$), ns 表示差异不显著 ($P > 0.05$) J: *P. fruticosa* patch; JM: *P. fruticosa* + *I. lacteal* patch; M: *I. lacteal* patch, Different letter indicates significant difference among different vegetative patches ($P < 0.05$) and ns indicates the different is not significant ($P > 0.05$)

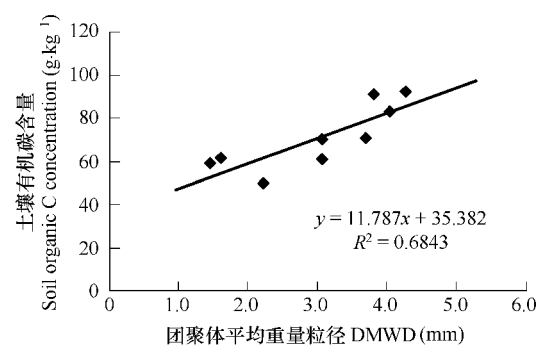


图 3 土壤有机碳含量与团聚体平均重量粒径之间的关系

Fig. 3 Relationship between soil organic carbon concentration and mean weight diameter of soil aggregate (DMWD)

退化和萎缩。

References:

- [1] Burke I C, Lauenroth W K, Vinton M A, Hook P B, *et al.* Plant-soil interactions in temperate grasslands. *Biogeochemistry*, 1998, 42: 121—143.
- [2] Angers D A, Caron J. Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry*, 1998, 42: 55—72.
- [3] Breemen N V, Finzi A C. Plant-soil interactions: ecological aspects and evolutionary implications. *Biogeochemistry*, 1998, 42: 1—19.
- [4] Vinton M A A, Burke I C. Plant effects on soil nutrient dynamics along a precipitation gradient in Great Plains grasslands. *Oecologia*, 1997, 110: 393—402.
- [5] Wedin D A, Tilman D. Influence of nitrogen loading and species composition on the carbon balance of grasslands. *Science*, 1996, 274: 1720—1723.
- [6] Wang G X, Sheng Y P, Qian J, Wang J D. Study on the influence of vegetation change on soil moisture cycle in Alpine meadow. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25: 653—659.
- [7] Song H X, Su Z X, Peng Y Y. Relationship between plant community succession and fertility variation of mountain yellow soil in east Chongqing. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16: 223—226.
- [8] Aguiar M R, Sala O E. Patch structure, dynamics, and implications for the functioning of arid ecosystems. *Trees*, 1999, 14: 273—277.
- [9] Che K J, Fu H E, Wang J Y. The structure and function of the water conservation forest ecosystems in Qilian Mountains. *Scientia Silvae Sinica*, 1998, 34(5): 29—37.
- [10] Hu M C, Jian J G, Zhang G S, *et al.* Eco-functional regionalization and protection of eco-functions in Heihe River Basin. *Rural Eco-Environment*, 2002, 18(1): 1—5.
- [11] Xiao H L, Cheng G D. Water issue and management at basin level in Heihe River, northwestern China. *Journal of Desert Research*, 2006(26): 1—5.
- [12] Jin B W, Kang E S, Song K C, Liu X D. Eco-hydrological function of maintain vegetation in the Heihe River Basin, northwest China. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25: 580—584.
- [13] Dang H Z, Zhou Z F, Zhao Y S, Yang H X. Soil hydrological characteristics of water conservation forest in Qilian Mountains. *Forest Research*, 2006, 19(1): 39—44.
- [14] Wang J Y, Tian D L, Wang Y H, *et al.* Soil hydrological effect of forest and grass complex watershed in Qilian Mountains. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19: 144—147.
- [15] Yang G J, Ding Y J, Xiao D N. Hydrological adjusting functions of different landscape patterns in typical catchments in Qilian Mountains. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2005, 27: 701—708.
- [16] Department of Soil Physics, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences. *Research Methods of Soil Physical Properties*. Beijing: Science Press, 1978.
- [17] Institute of Soil Sciences, Chinese Academy of Sciences. *Physical and Chemical Analysis Methods of Soils*. Shanghai: Shanghai Science Technology Press, 1978. 7—59.
- [18] Li Y N, Zhao X Q, Zhao L, Wang Q J, Shen Z X. Analysis of vegetation succession and climate change in Haibei alpine marsh in the Qilian Mountains. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2003, 25: 243—249.
- [19] Loreau M, Naeem S, Inchausti P, *et al.* Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, 2001, 294: 804—808.
- [20] Six J, Callewaert P, Lenders S, *et al.* Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2002, 66: 1981—1987.
- [21] Wedin D A, Tilman D. Species effects on nitrogen cycling: a test with perennial grasses. *Oecologia*, 1990, 84: 433—441.
- [22] Tilman D, Downing J A. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature*, 1994, 371: 113—114.
- [23] Tilman D. Secondary succession and the pattern of plant dominance along experimental nitrogen gradients. *Ecol. Monogr.*, 57: 189—214.

参考文献:

- [6] 王根绪, 沈永平, 钱鞠, 王军德. 高寒草地植被覆盖变化对土壤水分循环影响研究. *冰川冻土*, 2003, 25: 653—659.
- [7] 宋会兴, 苏智先, 彭远英. 渝东山地黄壤肥力变化与植物群落演替的关系. *应用生态学报*, 2005, 16: 223—226.
- [9] 车克钧, 傅辉恩, 王金叶. 祁连山水源林生态系统结构与功能的研究. *林业科学*, 1998, 34(5): 29—37.
- [10] 胡孟春, 蒋建国, 张更生, 等. 黑河流域流域生态功能区划及其保护. *农村生态环境*, 2002, 18(1): 1—5.
- [11] 肖洪浪, 程国栋. 黑河流域水问题与水管理的初步研究. *中国沙漠*, 2006(26): 1—5.
- [12] 金博文, 康尔泗, 宋克超, 刘贤德. 黑河流域山区植被生态水文功能的研究. *冰川冻土*, 2003, 25: 580—584.
- [13] 党宏忠, 周泽福, 赵雨森, 杨洪学. 祁连山水源涵养林土壤水文特征研究. *林业科学研究*, 2006, 19(1): 39—44.
- [14] 王金叶, 田大伦, 王彦辉, 等. 祁连山林草复合流域土壤水文效应. *水土保持学报*, 2005, 19: 144—147.
- [15] 杨国靖, 丁永建, 肖笃宁. 干旱区山地典型流域不同景观结构的水文调节能力分析. *冰川冻土*, 2005, 27: 701—708.
- [16] 中国科学院南京土壤研究所土壤物理研究室. *土壤物理性质研究法*. 北京: 科学出版社, 1978.
- [17] 中国科学院南京土壤研究所. *土壤理化分析*. 上海: 上海科学技术出版社, 1978.
- [18] 李英年, 赵兴全, 赵亮, 王启基, 沈振西. 祁连山海北高寒湿地气候变化及植被演替分析. *冰川冻土*, 2003, 25: 243—249.