

黑河上游天老池流域不同植被类型 土壤物理性质异质性研究

王阳¹, 王超², 赵传燕¹, 柳逸月¹

(1. 兰州大学 生命科学学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 兰州大学 资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 土壤物理性质在一定程度上决定了土壤层的水文特征, 而不同植被类型对于土壤物理性质的改造会导致不同区域土壤层蓄水保土功能表现出较大差异。以祁连山黑河流域上游的天老池小流域为研究区域, 研究青海云杉、祁连圆柏、亚高山草甸、灌木和干草原 5 种植被对于土壤物理性质的影响。结果表明: (1) 青海云杉林土壤的容重最小, 孔隙度最大, 颗粒组成主要以粉粒为主。干草原和草甸草原土壤的容重最大, 孔隙度最小; 同一种植被类型在不同坡位的容重和总孔隙度大小具有较好的一致性, 各植被类型上中下坡位均表现出随土壤深度的增加容重增大, 总孔隙度减小的趋势。(2) 研究区草甸草原 0—20 cm 的土壤物理性质具有相似性, 20—50 cm 土壤层的物理性质具有较高的一致性。

关键词: 土壤容重; 总孔隙度; 机械组成; 黑河上游; 植被类型

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2013)03-0013-05

中图分类号: S714

Heterogeneity of Soil Physical Properties Under Different Vegetation Types in Tianlaochi Watershed of Upper Stream of Heihe River Basin

WANG Yang¹, WANG Chao², ZHAO Chuan-yan¹, LIU Yi-yue¹

(1. College of Life Science, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China;

2. College of Environment and Resources, Lanzhou University, Lanzhou, Gansu 730000, China)

Abstract: Soil physical properties, to some extent, determine the hydrological characteristics of soil layers. The influences of different vegetation types on soil physical properties can significantly change the functions of soil and water conservation in soil layers of different regions. We discussed the effects of different vegetation types on soil physical properties in Tianlaochi, a small watershed located in the upstream of Heihe River basin. An experiment was carried out under the five vegetation types of *Picea crassifolia*, *Sabina przewalskii*, subalpine meadow, shrubs and steppe. Results show that (1) *Picea crassifolia* had the minimum soil bulk density and the largest porosity. Particles were mainly composed of silt. Steppe and meadow steppe had the highest soil bulk density and the minimum porosity. For the same vegetation types, soil bulk density and total porosity were consistent at different slope positions. With the increase of the depth, soil bulk density increased and total porosity decreased. (2) In meadow steppe, physical properties of the 0—20 cm soil layer were similar, and physical properties of the 20—50 cm soil layer were with greater consistency.

Keywords: soil bulk density; total porosity; mechanical composition; the upper stream of Heihe River; vegetation type

土壤是森林生态系统的重要组成部分, 对森林的生态环境效应具有积极意义^[1]。土壤物理性质在一定程度上决定了土壤层的水文性质。其中土壤的容重、孔隙度和颗粒组成影响着土壤的持水和溶解矿质元素的性能以及植物的扎根和根系的吸水性能, 进而

影响土壤肥力状况和植物的生长^[2]。这些因子的空间变化对区域土壤水分状况有重要影响, 而土壤水分空间变化又会影响到水循环和植物生长^[3]。土壤容重是土壤的基本物理性质, 土壤容重的大小反映了土壤的质地、结构和有机质含量等综合性状^[4]。土壤

收稿日期: 2012-05-02

修回日期: 2012-06-16

资助项目: 国家自然科学基金重点项目“黑河上游森林草地生态—水文过程的相互作用机制研究”(91025015)

作者简介: 王阳(1987—), 男(汉族), 内蒙古自治区包头市人, 硕士, 主要从事干旱半干旱区流域土壤特性与生态水文过程研究。E-mail: wang_y10@lzu.edu.cn.

通信作者: 赵传燕(1963—), 女(汉族), 山东省曹县人, 博士, 教授, 主要从事生态水文研究。E-mail: nanzhr@lzb.ac.cn.

孔隙度是指自然状态下,土壤中空隙的体积占土壤总体积的百分比。土壤孔隙度不仅影响土壤的通气透水状况,而且反映土壤松紧度和结构状况的好坏^[5]。土壤容重越小,孔隙越大,通气性能越好,蓄水功能越强,说明土壤发育良好,利于水分的保持与渗透,并间接影响到土壤的肥力状况^[6]。

受地形和太阳辐射控制的土壤水分在很大程度上决定了植被的空间分布,形成了不同的植被类型。不同的植被类型不但会对降水截留和蒸散发产生不同的影响,而且还会进一步改变土壤的容重,有机质含量和机械组成等特性,进而影响土壤入渗过程和土壤的持水能力。研究表明,在祁连山东端的旱泉沟流域,森林植被土壤均表现出较高的入渗性能,土壤初渗率、稳渗率及蓄水能力为苔藓青海云杉林>亚高山灌丛>灌木—青海云杉林>中低山灌丛>祁连圆柏林>牧草地,而且相同的环境条件下,森林土壤比牧草地草原具有更高的保水能力^[7]。因此,研究不同植被类型下的土壤物理性质的差异,对于认识土壤水分的空间异质性,植被对土壤水文过程的影响,不同植被的水源涵养能力以及植被的演替方向,都具有重要意义。

对同一种植被而言,地形部位也是影响土壤理化性质的重要因素^[8-10]。沿坡面,与海拔相关联的主要气象因子温度和水分直接影响着同一植被类型的分布区域及生长状况,同时气温也与植被的生长关系密切。总之,不同水分和热量的组合影响成土过程进而导致土壤特性不同。

在不同植被类型和地形综合作用的情况下,土壤物理性质必然存在不同程度差异,而由于植物根系在土壤剖面垂直方向的分布和水热沿垂直方向的差异,使得即使在同一剖面,土壤的物理性质也会产生垂直方向的差异,这种差异会影响土壤水分在不同土层中的存储能力和运移路线^[11],从而对土壤壤中流和坡面潜流产生影响^[12]。

在半干旱环境下,季节的干旱常常使地形对土壤水分的影响减小,此时,土壤持水能力常常决定了汇入河流的水量和可供植物利用的水量^[13];高艳红等^[14]在黑河流域运用耦合了 NOAH 陆面过程模型的 MM 5 模式模拟土壤参数变化对流域中上游大气要素模拟的影响,表明饱和土壤水势以及孔隙度对局地水分传输变化影响较大;唐振兴等^[15]在黑河排露沟流域的研究表明,由于林下植被和林木根系的共同影响,土壤非饱和导水率的空间异质性高于草地和退耕裸地;舒乔生等^[16]的研究结果表明,在取样尺度为 5 m 时,土壤导水率与砂粒含量、容重和有机碳含量

均显著相关。鉴于土壤物理性质对土壤水文过程的重要影响,本文选择了黑河上游的天老池流域作为研究区,定量研究了流域内不同植被类型在不同坡位的不同土层下土壤容重、总孔隙度和颗粒组成的空间变异性,以期深入研究该流域土壤性质和水量平衡提供参考依据。

1 研究区概况与试验方法

1.1 研究区概况

研究区位于黑河上游支流寺大隆河流域,地理坐标为 38°20′—38°30′N, 99°44′—99°59′E 的天老池小流域中。天老池小流域海拔 2 650~4 450 m,面积 12.8 km²,森林覆盖率 65%,纵坡比降 1:12.5,河流纵长 6.0 km。植被因地形和气候的差异而形成明显的垂直分布带。流域属于典型的高山气候,年降水量超过 700 mm,主要降水形式为降雨,集中在 6—9 月,降水量从低海拔到高海拔具有明显的增加趋势。流域径流为季节性径流,10 月至翌年 4 月结冰,5 月产生融雪径流,6—9 月主要为降雨径流。2011 年气温观测表明,最高气温出现在 7 月中旬。流域内阴坡分布青海云杉林,阳坡分布祁连圆柏林,并有大面积的灌丛和草甸与 2 大林型交错分布。灌木优势种有金露梅(*Potentilla fruticosa*)、箭叶锦鸡儿(*Caragana jubata*)、吉拉柳(*Salix gilashanica*)等,成片分布在林线上部;草本植物主要有珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、黑穗苔草(*Carex atrata*)等。

1.2 采样方法

2011 年 8 月,在祁连山寺大隆林区的天老池小流域选取有代表性的植被类型(青海云杉、祁连圆柏、灌木、草甸、干草原),并在特定植被类型分布的坡面,选取上坡位、中坡位、下坡位分别取样。灌木因地形和高度的差异分为亚高山灌木(a)和亚高山灌木(b)取样,主要区别为亚高山灌木(a)分布在阳坡,主要植被类型为金露梅、绣线菊、鬼箭锦鸡儿;亚高山灌木(b)分布在阴坡,主要植被类型为鬼箭锦鸡儿、吉拉柳等灌木。在各个样点按土层 0—10,10—20,20—30,30—40 和 40—50 cm 进行土壤剖面采样,在每个土层的中部用环刀收集土壤以避免破坏土壤结构,平行取 2~3 个重复。土样封装好后称鲜重,带回实验室测其容重、总孔隙度和机械组成等物理性质。采样点分布如附图 4 所示。

1.3 研究方法

土壤容重的测定采用环刀法,对测定结果取平均值以消除随机误差;土壤总孔隙度的测定选择基于土壤比重的比重瓶法,对测定结果取平均值;土壤机械

组成在将土壤样品过 2 mm 筛之后采用沉降法(质量百分比)测定,取 3 次测定的平均值^[17]。在测定完成之后,采用变异系数表征析同一植被类型下的土壤物理性质在不同坡位的变异程度。变异系数可以量化一个变量内部的变异程度,由于其消除了量纲,因此可以进行不同变量之间的比较;变异系数 C_v 可定义为:

$$C_v = S/\bar{X}$$

式中: S ——标准偏差; \bar{X} ——样本的平均值。根据变异程度分级, $C_v \leq 0.1$ 属于弱变异性, $0.1 < C_v < 1$ 属于中等变异性, ≥ 1 属于强变异性^[18]。

2 结果与分析

2.1 不同植被类型和地形部位土壤容重、总孔隙度

各植被类型上中下坡位各层的平均容重和总孔隙度的测定结果如表 1 所示。从表 1 中可以看出,各植被类型 0—50 cm 的平均土壤容重大小为:青海云杉林 (0.55 g/cm^3) < 亚高山灌丛(b, 0.98 g/cm^3) < 亚高山灌丛(a, 1.10 g/cm^3) < 祁连圆柏林 (1.12 g/cm^3) < 干草原 (1.30 g/cm^3) < 草甸草原 (1.34 g/cm^3)。土壤总孔隙度大小依次为:青海云杉林 (64.14%) > 亚高山灌丛(b, 52.66%) > 祁连圆柏林 (50.77%) > 亚高山灌丛(a, 50.42%) > 干草原 (47.96%) > 草甸草原 (40.81%)。总体上讲,不同植被类型的土壤容重均表现为随土壤层加深而增大的趋势,总孔隙度表现为随土壤层加深而减小的趋势,但是不同植被土壤容重和孔隙度的变异程度不同。

青海云杉 0—50 cm 土壤层平均容重显著小于其他植被类型,并且孔隙度最大。这是因为青海云杉分布在阴坡半阴坡,并且林下分布较厚的苔藓和枯落物^[19],相对较小的水分蒸发和下垫面苔藓的高保水性使得植被和土壤之间的相互作用强烈,即青海云杉林较大的林分郁闭度为苔藓的生长提供一个相对阴暗潮湿的环境,苔藓层较强的持水能力使得青海云杉具有较高的水分利用效率,加上微生物在这种环境中具有较高的活性更有利于腐殖质累积,使得成土过程主要为较强的腐殖质积累、黏化和较强的碳酸钙淋溶淀积过程,土壤具有较好的通气透水性和较高的有机质含量^[7]。因此,在青海云杉林中,所有采样点均具有较小的土壤容重和较大的土壤总孔隙度,并且各坡位 0—50 cm 的平均容重大小并无明显差异,各坡位不同深度土层的土壤容重均在 1.00 g/cm^3 以下,土壤总孔隙度均在 60% 左右。上坡位和下坡位随土壤深度的增加容重和总孔隙度没有明显变化趋势,其中下坡位容重属于中等变异。中坡位表现出随土壤深

度的增加容重增大、总孔隙度减小的趋势,都属于中等变异,可能是因为中坡位 40 cm 以下有大量沙石的分布,土壤厚度相对较浅导致。

草甸草原 0—50 cm 平均土壤容重在这几种植被类型中最大,为 1.37 g/cm^3 ,孔隙度最小,为 40.15% 。值得注意的是,上中下坡位的上层土壤和下层土壤有明显的差异:上坡位 0—20 cm 土壤容重的变幅为 $0.99 \sim 1.15 \text{ g/cm}^3$,均值为 1.07 g/cm^3 ,总孔隙度的变幅为 $46.8\% \sim 54.2\%$,均值为 50.5% ; 20—50 cm 土壤容重的变幅为 $1.54 \sim 1.65 \text{ g/cm}^3$,均值为 1.59 g/cm^3 总孔隙度的变幅为 $27.8\% \sim 35.2\%$,均值为 32.14% 。可以看出在草甸草原上坡位,因为植被根系分布较浅且主要集中分布在 0—20 cm 土层,这种长期的植被和土壤的相互作用主要集中在 0—20 cm,从而使得浅层土壤相比 20 cm 以下土壤相对比较疏松,适宜植物根系生长,因而表层土壤容重相对较小,孔隙度相对较大。20—50 cm 土壤几乎无根系分布,通气性较差,并且 35 cm 以下底层有许多大块沙石分布并有积水出现,与表层土壤表现出明显的性质差异。同样,草甸草原中坡位的此分界层和上坡位相同,为 20 cm 左右,下坡位的分界层出现在 30 cm 左右。各坡位表现出随土壤深度的增加容重增大,总孔隙度减小的趋势,并且均为中等变异。

亚高山灌丛(a)和祁连圆柏 0—50 cm 土壤平均容重和总孔隙度的大小比较接近,容重大小均在 1.10 g/cm^3 左右,总孔隙度在 50% 左右。亚高山灌丛(b)的容重略小,在 1.00 g/cm^3 左右,并且各个坡位随土壤深度的增加呈现出容重增大、总孔隙度减小的趋势。其中亚高山灌丛(a)和亚高山灌丛(b)土壤物理性质的差异主要是受海拔和坡度坡向的影响。亚高山灌丛(a)中坡和下坡的土壤容重大于上坡,总孔隙度小于上坡,中坡位的容重和总孔隙度和下坡位的容重随土壤深度的增加具有中等变异性。亚高山灌丛(b)的上坡位和中坡位的土壤物理性质变化不大,随土壤深度增加容重增加,具有中等变异性。下坡位由于地形的影响土壤厚度只有 30 cm 左右,因此土壤容重大,总孔隙度较小,具有中等变异性。祁连圆柏上中下坡位土壤物理性质变化不大,中坡和下坡的土壤容重略大于上坡,上坡位的土壤容重呈现中等变异性,其他均呈现出弱变异性。

干草原由于分布在阳坡且其上只有稀疏的植被分布,因此较弱的腐殖质积累和强烈的土壤蒸发和钙化作用导致上中下坡位土壤容重随深度增加均呈现出弱变异性^[7]。中坡位容重大于上坡位和下坡位,总

孔隙度偏小。各坡位容重大小在 1.30 g/cm^3 左右, 总孔隙度大小在 45% 左右。

同一植被类型不同坡位剖面的平均容重变异系数很小, 为弱变异性; 因为土壤的总孔隙度和容重有

着密切的关系, 所以同容重一样, 也呈一种弱变异的趋势。这说明同一种植被类型的容重和总孔隙度大小沿着坡位从上到下有着较好的一致性, 并没有因为坡位的不同呈现出显著性的差异。

表 1 剖面各层土壤的平均容重和总孔隙度

植被类型	土层/cm	上坡位		中坡位		下坡位		均值	
		容重/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	总孔隙度/ %						
亚高山灌丛(a)	0—10	0.92	53.30	0.88	59.19	0.89	51.03	0.90	54.51
	10—20	1.02	52.81	0.91	56.86	1.11	50.57	1.01	53.41
	20—30	1.07	52.23	1.15	52.50	1.17	50.55	1.13	51.76
	30—40	1.09	50.51	1.41	41.69	1.24	47.33	1.25	46.51
	40—50	1.07	49.92	1.39	40.86	1.16	46.98	1.21	45.92
	均值/%	1.03	51.95	1.15	50.22	1.12	49.29	1.10	50.42
	变异系数	0.06	0.03	0.22	0.17	0.12	0.04	0.12	0.08
亚高山灌丛(b)	0—10	0.71	62.05	0.73	54.88	1.01	52.72	0.82	56.55
	10—20	0.72	61.12	0.87	56.68	1.15	38.96	0.91	52.26
	20—30	1.00	55.33	0.99	55.13	1.16	36.03	1.05	48.83
	30—40	1.05	54.56	1.00	53.66	—	—	1.03	54.11
	40—50	1.11	50.84	1.02	52.31	—	—	1.07	51.57
	均值/%	0.92	56.78	0.92	54.53	1.11	42.57	0.98	52.66
	变异系数	0.21	0.08	0.13	0.03	0.07	0.21	0.11	0.05
祁连圆柏	0—10	0.99	48.75	1.05	53.54	1.16	45.27	1.07	49.18
	10—20	1.01	52.79	1.09	47.04	1.15	49.38	1.08	49.73
	20—30	1.06	48.80	1.11	54.12	1.13	47.47	1.10	50.13
	30—40	1.12	54.54	1.12	54.05	1.11	55.42	1.12	54.67
	40—50	1.28	47.23	1.22	47.67	1.17	55.54	1.22	50.15
	均值/%	1.09	50.42	1.12	51.28	1.14	50.61	1.12	50.77
	变异系数	0.11	0.06	0.05	0.07	0.02	0.09	0.05	0.04
青海云杉	0—10	0.61	66.76	0.39	64.87	0.44	65.88	0.48	65.83
	10—20	0.55	67.22	0.40	69.47	0.56	63.78	0.50	66.82
	20—30	0.57	65.08	0.58	55.99	0.62	62.10	0.59	61.06
	30—40	0.65	65.81	0.73	48.14	0.58	61.46	0.65	58.47
	40—50	—	—	—	—	0.48	68.54	0.48	68.54
	均值/%	0.59	66.22	0.52	59.62	0.54	64.35	0.55	64.14
	变异系数	0.07	0.01	0.31	0.16	0.14	0.05	0.14	0.07
干草原	0—10	1.13	49.75	1.49	38.82	1.16	48.79	1.26	45.79
	10—20	1.15	52.79	1.43	45.78	1.22	52.84	1.27	50.47
	20—30	1.19	51.89	1.39	46.03	1.33	44.92	1.30	47.61
	30—40	1.24	51.79	1.44	46.43	1.37	45.11	1.35	47.78
	40—50	1.30	48.37	1.38	46.47	1.33	49.61	1.34	48.15
	均值/%	1.20	50.92	1.43	44.71	1.28	48.25	1.30	47.96
	变异系数	0.06	0.04	0.03	0.07	0.07	0.07	0.03	0.03
草甸草原	0—10	0.99	54.20	1.11	49.15	0.87	58.71	0.99	54.02
	10—20	1.15	46.82	1.20	45.84	0.92	52.03	1.09	48.23
	20—30	1.66	27.80	1.49	36.97	0.98	51.19	1.38	38.65
	30—40	1.58	33.39	1.60	30.82	1.72	22.75	1.63	28.98
	40—50	1.55	35.23	—	—	1.92	26.51	1.73	30.87
	均值/%	1.39	39.49	1.35	40.70	1.28	42.24	1.37	40.15
	变异系数	0.21	0.27	0.17	0.21	0.39	0.39	0.27	0.24

2.2 粒度分析

按照美国农业部土壤质地分类制(USDA)把土壤颗粒粒级分为砂粒(2~0.05 mm)、粉粒(0.05

~0.002 mm)和黏粒(<0.002 mm)3级。不同植被剖面土壤0—50 cm平均颗粒组成结果如表2所示。

表2 不同植被剖面土壤0—50 cm平均颗粒组成

植被类型	项目	上坡位			中坡位			下坡位			均值		
		砂粒	粉粒	黏粒									
亚高山灌丛(a)	均值/%	13.81	64.49	21.70	16.92	61.97	21.11	27.77	48.76	23.47	19.50	58.40	22.10
	变异系数	0.25	0.07	0.18	0.16	0.09	0.22	0.24	0.09	0.20	0.38	0.14	0.06
亚高山灌丛(b)	均值/%	19.76	63.43	16.82	31.87	50.36	17.77	32.89	49.69	17.42	28.17	54.49	17.33
	变异系数	0.18	0.06	0.10	0.27	0.18	0.05	0.03	0.01	0.03	0.26	0.14	0.03
祁连圆柏	均值/%	12.08	63.10	24.82	20.25	58.77	20.98	12.85	60.56	26.59	15.06	60.81	24.13
	变异系数	0.54	0.08	0.16	0.24	0.03	0.21	0.30	0.02	0.12	0.30	0.04	0.12
青海云杉	均值/%	29.83	46.79	23.38	38.54	34.92	26.55	38.78	37.19	24.03	35.72	39.63	24.65
	变异系数	0.05	0.03	0.09	0.16	0.12	0.31	0.12	0.07	0.25	0.14	0.16	0.07
干草原	均值/%	7.82	61.08	31.10	15.40	62.57	22.03	10.36	57.74	31.90	11.19	60.46	28.34
	变异系数	0.25	0.08	0.13	0.17	0.03	0.17	0.24	0.02	0.09	0.34	0.04	0.19
草甸草原	均值/%	44.26	37.97	17.76	31.66	47.43	20.91	35.07	44.77	20.16	37.00	43.39	19.61
	变异系数	0.18	0.20	0.21	0.59	0.39	0.07	0.27	0.26	0.18	0.18	0.11	0.08

各植被类型的机械组成为:粉粒在39.63%~60.81%,砂粒在11.19%~37.00%,黏粒在17.33%~28.34%。粉粒含量占优势,砂粒的含量相对较小。各植被类型上中下坡位平均黏粒、砂粒、粉粒含量变异程度为:亚高山灌丛(a)和亚高山灌丛(b)、青海云杉、草甸草原的砂粒和粉粒为中等变异性,黏粒为弱变异性;祁连圆柏和干草原的粉粒为弱变异性,砂粒和黏粒为中等变异性。各植被类型沿坡面从上到下砂粒的含量有增大的趋势,都具有中等变异性,可能是由于重力和雨水冲刷的作用导致大颗粒在坡底堆积的结果所致。

各植被类型上中下坡位随土壤深度增加平均黏粒、砂粒、粉粒含量变异程度没有显著变化,均为弱变异性或中等变异性。除了草甸草原各坡位20 cm以下出现砂粒含量明显增加,粉粒含量增加,黏粒含量减小的趋势外,其他植被类型并没有出现明显的随土壤深度的增加,砂粒、粉粒、黏粒发生明显的变化。

3 结论

通过对黑河流域天老池流域各植被类型的容重、总孔隙度和机械组成的分析可知,不同植被类型土壤物理性质差异较大,其中青海云杉的土壤容重最小,孔隙度最大,颗粒组成主要以粉粒为主。干草原和草甸草原土壤容重最大,孔隙度最小。并且同一种植被类型的容重和总孔隙度大小沿着坡位从上到下有着较好的一致性,并没有因为坡位的不同呈现出显著性

的差异。各植被类型上中下坡位均表现出随土壤深度的增加容重增大、总孔隙度减小的趋势。通过对不同植被类型的机械组成分析可知,在水平和垂直方向上没有随着坡位下降或土壤深度的增加而发生显著的变化,各植被类型沿坡面从上到下砂粒含量有增大的趋势,都具有中等变异性。研究区草甸草原0—20 cm的土壤物理性质变化不大,具有相似性;20—50 cm土壤层的物理性质和0—20 cm的物理性质有较大的差异性,表明在以后研究其理化性质时可以合并成一层进行研究。

[参考文献]

- [1] 成彩霞,张学龙,刘占波,等.祁连山西水林区土壤水分物理性质特征分析[J].内蒙古农业大学学报:自然科学版,2008,28(4):33-38.
- [2] 刘伟钦,陈步峰,尹光天,等.顺德地区不同森林改造区土壤水分:物理特性研究[J].林业科学研究,2003,16(4):495-500.
- [3] 刘付程,史学正,王洪杰,等.苏南典型地区土壤锌的空间分布特征及其与土壤颗粒组成的关系[J].土壤,2003,35(4):330-333.
- [4] Hope G D. Effects of mechanical site preparation on soil and foliar nutrients in the drier subzones of the IDF, MS and ESSF zones-project 3. 50[M]. Forestry Canada and British Columbia Ministry of Forests, Victoria, BC For. Res. Dev. Agree. Res. Memo, 1991:193.
- [5] 赵维俊,雷蕾,刘贤德,等.祁连山东段青海云杉林土壤理化特性研究[J].水土保持通报,2011,31(6):72-75.

(下转第99页)

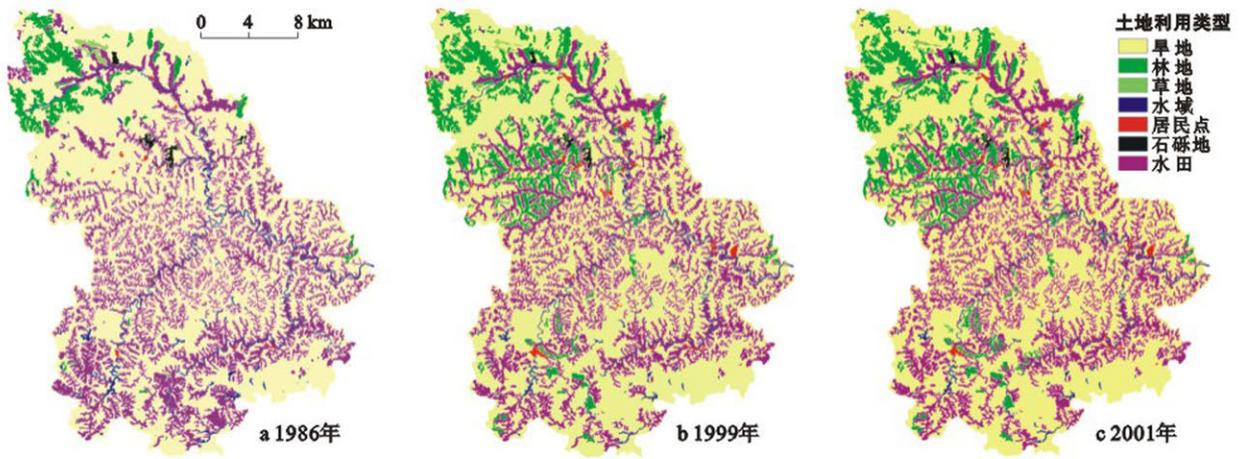
可影响40%的径流量。径流量与气温负相关性比较显著;除冬季外,径流量与春、夏、秋季的降水量相关性比较显著;径流量还与春、夏、秋季的潜在蒸散呈较显著负相关。

近40 a来渭河上游径流量持续减少,固然与上游地区工农业生产及当地经济发展水平的快速提升有关,但气候因子对径流量影响却是不争的事实。气温升高、潜在蒸散增加,增加了水分的支出,降水量减少使得流域内水分收入减少,整个流域内水分的支多收少,必然会进一步影响上游径流量,给上、下游地区的水资源利用带来较为严重的持续影响。

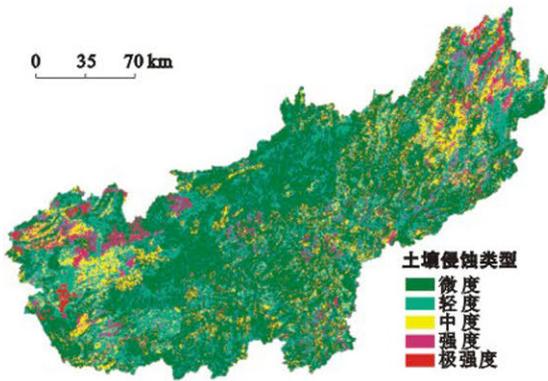
[参 考 文 献]

- [1] 张建云,章四龙,王金星,等.近50 a来我国六大流域年际径流变化趋势研究[J].水科学进展,2007,18(2):230-234.
- [2] 孙卫国,程炳岩,李荣.黄河源区径流量的季节变化及其与区域气候的小波相关[J].中国沙漠,2010,30(3):712-721.
- [3] 吴素芬,刘志辉,韩萍,等.气候变化对乌鲁木齐河流域水资源的影响[J].冰川冻土,2006,28(5):703-706.
- [4] 邵爱军,左丽琼,王丽君.气候变化对河北省海河流域径流量的影响[J].地理研究,2010,29(8):604-613.
- [5] 李志,刘文兆,郑粉莉,等.黄土塬区气候变化和人类活动对径流的影响[J].生态学报,2010,30(9):2379-2386.
- [6] 江善虎,任立良,雍斌,等.气候变化和人类活动对老哈河流域径流的影响[J].水资源保护,2010,25(6):1-4.
- [7] 刘小丰,李明永,刘洪春,等.渭河陇西段河流对构造—气候变化的响应[J].干旱区资源与环境,2010,24(11):68-72.
- [8] 牛聶荣,李德生,黄维东,等.甘肃境内渭河流域水资源变化趋势预报模型研究[J].水文,2008,28(1):51-55.
- [9] 邓振镛,张强,李栋梁,等.气候变化对渭河上游径流量和输沙量的影响[J].中国沙漠,2006,26(6):982-986.
- [10] 周祖昊,仇亚琴,贾仰文,等.变化环境下渭河流域水资源演变规律分析[J].水文,2009,29(1):21-25.
- [11] 张瑞祥.渭河上游50 a来实测径流量变化特征[J].甘肃水利水电技术,2009,45(12):7-9.
- [12] Allen R G, Pereira L S, Raes D, et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements [M]//FAO irrigation and drainage, Rome. FAO-Food and Agriculture Organization,1998,16-58.
- [13] 王清,王琪延,苏成义,等.应用数理统计学[M].北京:中国统计出版社,1991:397-401.
- [14] 秦大河,罗勇,陈振林,等.气候变化科学的最新进展:IPCC第四次评估综合报告解析[J].气候变化研究进展,2007,3(6):311-314.
- [15] 翟盘茂,邹旭恺.1951—2003年中国气温和降水变化及其对干旱的影响[J].气候变化研究进展,2005,1(1):16-18.
- [16] 李栋梁,谢金南,王蕾,等.甘肃河东地区的降水周期变化[J].高原气象,2000,19(3):295-303.
- [17] 刘芸芸,张雪琴,孙畅.全球变暖背景下西北干旱区雨季的降水时空变化[J].气候变化研究进展,2011,7(2):97-103.
- [6] 牛赞,敬文茂.祁连山北坡主要植被下土壤异质性研究[J].水土保持研究,2008,15(4):258-260.
- [7] 党宏忠,赵雨森,陈祥伟,等.祁连山青海云杉林地土壤水分特征研究[J].应用生态学报,2004,15(7):1148-1152.
- [8] 李志,刘文兆,王秋贤.黄土塬区不同地形部位和土地利用方式对土壤物理性质的影响[J].应用生态学报,2008,19(6):1303-1308.
- [9] 高雪松,邓良基,张世熔.不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征分析[J].水土保持学报,2005,19(2):53-56.
- [10] 刘世梁,傅伯杰,吕一河,等.坡面土地利用方式与景观位置对土壤质量的影响[J].生态学报,2003,23(3):414-420.
- [11] Starks P J, Heathman G C, Jackson T J, et al. Temporal stability of soil moisture profile[J]. Journal of Hydrology, 2006,324(1):400-411.
- [12] Lin H S, Kogelmann W, Walker C, et al. Soil moisture patterns in a forested catchment: a hydropedological perspective[J]. Geoderma, 2006,131(3):345-368.
- [13] Geroy I J, Gribb M M, Marshall H P, et al. Aspect influences on soil water retention and storage [J]. Hydrological Processes, 2011,25(25):3836-3842.
- [14] 高艳红,程国栋,刘伟,等.黑河流域土壤参数修正及其对大气要素模拟的影响[J].高原气象,2007,26(5):958-966.
- [15] 唐振兴,何志斌,刘鹤.黑河上游山区土壤非饱和导水率测定及其估算:以排露沟流域为例[J].生态学杂志,2011,30(1):177-182.
- [16] 舒乔生,谢立亚,贾天会,等.砂壤质褐土饱和导水率与物理性质的多尺度关系:小波分析法[J].土壤学报,2011,48(2):440-444.
- [17] 王德,傅伯杰,陈利顶,等.不同土地利用类型下土壤粒径分形分析:以黄土丘陵沟壑区为例[J].生态学报,2007,27(7):3081-3089.
- [18] 陈洪松.坡面尺度土壤特性的空间变异性[J].水土保持通报,2005,24(6):45-48.
- [19] 刘兴明,刘贤德,车宗玺,等.祁连山青海云杉林区苔藓层对流域水文的影响[J].干旱区地理,2010,33(6):962-967.

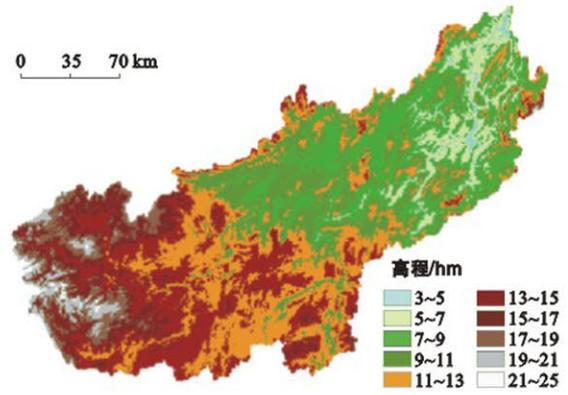
(上接第17页)



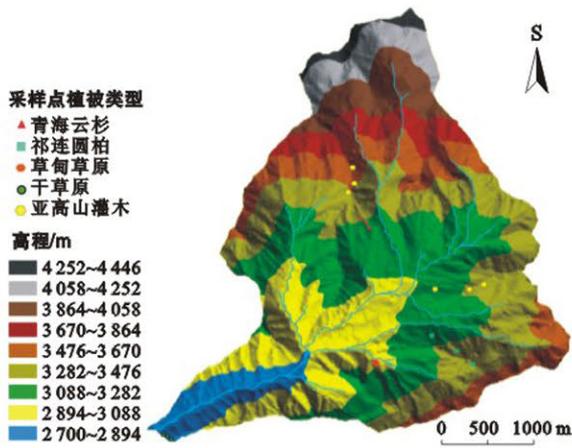
附图1 四川省紫色丘陵区不同时期土地利用类型



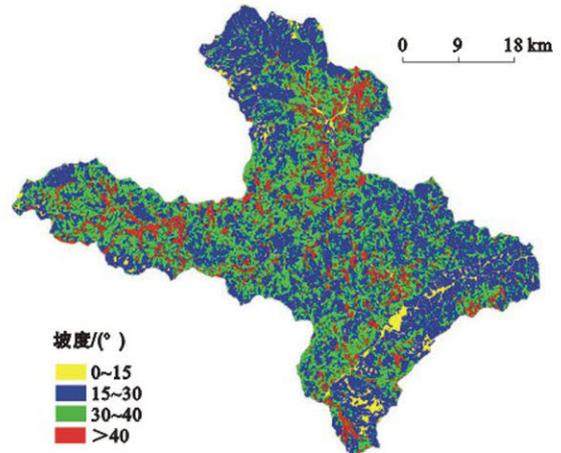
附图2 2000年乌江流域土壤侵蚀类型



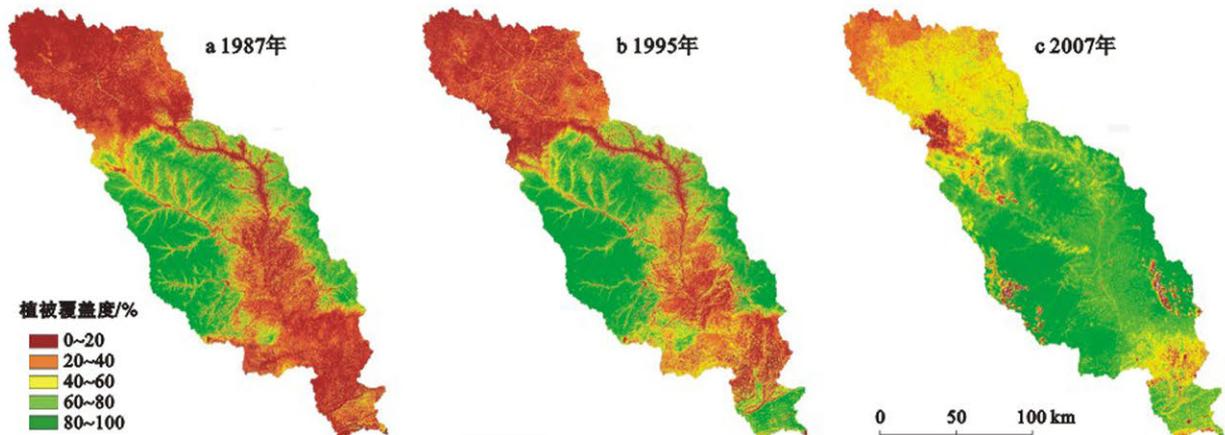
附图3 乌江流域高程等级分布



附图4 采样点在黑河上游的天老池流域中的分布



附图5 四川省茂县坡度分布



附图6 北洛河流域1987,1995和2007年植被覆盖度对比