

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第17期 Vol.32 No.17 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 17 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

基于生物生态因子分析的长序榆保护策略.....	高建国,章 艺,吴玉环,等 (5287)
闽江口芦苇沼泽湿地土壤产甲烷菌群落结构的垂直分布.....	余晨兴,仝 川 (5299)
涡度相关观测的能量闭合状况及其对农田蒸散测定的影响.....	刘 渡,李 俊,于 强,等 (5309)
地下滴灌下土壤水势对毛白杨纸浆林生长及生理特性的影响.....	席本野,王 焯,邸 楠,等 (5318)
绿盲蝽危害对枣树叶片生化指标的影响.....	高 勇,门兴元,于 毅,等 (5330)
湿地资源保护经济学分析——以北京野鸭湖湿地为例.....	王昌海,崔丽娟,马牧源,等 (5337)
湿地保护区周边农户生态补偿意愿比较.....	王昌海,崔丽娟,毛旭峰,等 (5345)
湿地翅碱蓬生物量遥感估算模型.....	傅 新,刘高焕,黄 翀,等 (5355)
增氮对青藏高原东缘典型高寒草甸土壤有机碳组成的影响.....	郑娇娇,方华军,程淑兰,等 (5363)
大兴安岭 2001—2010 年森林火灾碳排放的计量估算.....	胡海清,魏书精,孙 龙 (5373)
基于水分控制的切花百合生长预测模型.....	董永义,李 刚,安东升,等 (5387)
极端干旱区增雨加速泡泡刺群落土壤碳排放.....	刘殿君,吴 波,李永华,等 (5396)
黄土丘陵区土壤有机碳固存对退耕还林草的时空响应.....	许明祥,王 征,张 金,等 (5405)
小兴安岭 5 种林型土壤呼吸时空变异	史宝库,金光泽,汪兆洋 (5416)
疏勒河上游土壤磷和钾的分布及其影响因素.....	刘文杰,陈生云,胡凤祖,等 (5429)
COII 参与茉莉酸调控拟南芥吲哚族芥子油苷生物合成过程	石 璐,李梦莎,王丽华,等 (5438)
Gash 模型在黄土区人工刺槐林冠降雨截留研究中的应用	王艳萍,王 力,卫三平 (5445)
三峡水库消落区不同海拔高度的植物群落多样性差异.....	刘维湄,王 杰,王 勇,等 (5454)
基于 SPEI 的北京低频干旱与气候指数关系	苏宏新,李广起 (5467)
山地枣树茎直径对不同生态因子的响应.....	赵 英,汪有科,韩立新,等 (5476)
幼龄柠条细根的空间分布和季节动态	张 帆,陈建文,王孟本 (5484)
山西五鹿山白皮松群落乔灌木层的种间分离.....	王丽丽,毕润成,闫 明,等 (5494)
长期施肥对玉米生育期土壤微生物量碳氮及酶活性的影响.....	马晓霞,王莲莲,黎青慧,等 (5502)
基于归一化法的小麦干物质积累动态预测模型.....	刘 娟,熊淑萍,杨 阳,等 (5512)
上海环城林带景观美学评价及优化策略	张凯旋,凌焕然,达良俊 (5521)
旅游风景区旅游交通系统碳足迹评估——以南岳衡山为例.....	窦银娣,刘云鹏,李伯华,等 (5532)
一种城市生态系统现状评价方法及其应用.....	石惠春,刘 伟,何 剑,等 (5542)
黄海中南部细纹狮子鱼的生物学特征及资源分布的季节变化.....	周志鹏,金显仕,单秀娟,等 (5550)
蓝藻堆积和螺类牧食对苦草生长的影响.....	何 虎,何宇虹,姬娅婵,等 (5562)
黑龙江省黄鼬冬季毛被分层结构及保温功能.....	柳 宇,张 伟 (5568)
虎纹蛙选择体温和热耐受性在个体发育过程中的变化	樊晓丽,雷焕宗,林植华 (5574)
水丝蚓对太湖沉积物有机磷组成及垂向分布的影响	白秀玲,周云凯,张 雷 (5581)
专论与综述	
城市绿地生态评价研究进展.....	毛齐正,罗上华,马克明,等 (5589)
全球变化背景下生态学热点问题研究——第二届“国际青年生态学者论坛”	万 云,许丽丽,耿其芳,等 (5601)
研究简报	
雅鲁藏布江高寒河谷流动沙地适生植物种筛选和恢复效果.....	沈渭寿,李海东,林乃峰,等 (5609)
学术信息与动态	
生态系统服务时代的来临——第五届生态系统服务伙伴年会述评	吕一河,卫 伟,孙然好 (5619)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 334 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-09	



封面图说: 带雏鸟的白枕鹤一家——白枕鹤是一种体型略小于丹顶鹤的优美的鹤。体羽蓝灰色,腹部较深,背部较浅,脸颊两侧红色,头和颈的后部及上背为白色,雌雄相似。其虹膜暗褐色,嘴黄绿色,脚红色。白枕鹤常常栖息于开阔平原芦苇沼泽和水草沼泽地带,有时亦出现于农田和海湾地区,尤其是迁徙季节。主要以植物种子、草根、嫩叶和鱼、蛙、软体动物、昆虫等为食。繁殖区在我国北方和西伯利亚东南部。我国白枕鹤多在黑龙江、吉林、内蒙古繁殖,与丹顶鹤的繁殖区几乎重叠,为国家一级保护动物。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201111211774

刘文杰, 陈生云, 胡凤祖, 莎娜. 疏勒河上游土壤磷和钾的分布及其影响因素. 生态学报, 2012, 32(17): 5429-5437.

Liu W J, Chen S Y, Hu F Z, Sha N. Distributions pattern of phosphorus, potassium and influencing factors in the upstream of Shule river basin. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(17): 5429-5437.

疏勒河上游土壤磷和钾的分布及其影响因素

刘文杰¹, 陈生云^{1,*}, 胡凤祖², 莎娜³

(1. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 冰冻圈科学国家重点实验室祁连山冰川与生态环境观测研究站, 兰州 730000;

2. 中国科学院西北高原生物研究所分析测试中心, 西宁 810001; 3. 内蒙古农牧业科学院植物营养与分析研究所, 呼和浩特 010031)

摘要: 土壤中磷和钾是植物不可缺少的营养元素, 研究它们的含量及其分布规律对高寒草地的可持续发展和区域土壤碳氮循环的认识均具有重要意义。以疏勒河上游 13 处生态观测样地(7 种土壤类型)为研究对象, 结合土壤有机碳、全氮、粒径和 pH 等理化性质和气象因子, 分析了不同土壤类型表层和剖面中土壤磷、钾分布特征及其影响因素。结果表明: 0—20 cm 表层土壤全磷、有效磷、全钾和有效钾平均含量分别为 (0.50 ± 0.14) g/kg、 (2.69 ± 1.61) mg/kg、 (14.84 ± 0.59) g/kg 和 (151.03 ± 117.57) mg/kg。表层土壤全磷含量与年均气温和土壤粉粒含量呈显著正相关, 而与年均降水量呈显著负相关; 表层土壤有效磷含量与有机质、全氮呈显著正相关; 表层土壤有效钾含量与土壤粉粒含量和年均气温呈显著正相关。全磷、有效磷、全钾和有效钾密度主要集中在 0—40 cm 的土壤层, 它们均随着土壤深度的增加而逐渐降低。不同深度土壤全磷的总密度与年均气温均呈显著的正相关, 其相关系数随着土层深度逐渐增加。温度和降水是影响表层全磷含量和分布的主要环境因子; 土壤全钾含量受成土母质影响, 变异性不大。该区域土壤中有效磷和有效钾相对缺乏, 草地管理措施是影响它们变化的重要因素之一。气温是该区域土壤全磷和全钾密度分布的主控因子。

关键词: 疏勒河流域; 土壤磷素; 土壤钾素; 土壤类型

Distributions pattern of phosphorus, potassium and influencing factors in the upstream of Shule river basin

LIU Wenjie¹, CHEN Shengyun^{1,*}, HU Fengzu², SHA Na³

1 Qilian Shan Station of Glaciology and Ecological Environment, State Key Laboratory of Cryospheric Sciences, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China

2 The Analytical Testing Center, Northwest Institute of Plateau Biology, Chinese Academy of Sciences, Xining Qinghai 810001, China

3 Institute of Plant Nutrition and Analysis, Inner Mongolia Academy of Agricultural Sciences, Hohhot 010031, China

Abstract: Soil phosphorus (P) and potassium (K) are indispensable elements of plant growth, and their content change could affect biogeochemical cycles of carbon, nitrogen, and other elements. The study of spatial and vertical distributions of soil P and K is crucial for the sustainable development of alpine grassland. Further, it is critical to understand regional mechanisms of biogeochemical cycles of soil carbon, nitrogen, and other elements. Thirteen typical ecosystem plots (including seven soil types) were selected, and two or three soil profiles from each plot were investigated. This study occurred during the summers of 2010 and 2011 in the upstream of the Shule river basin on the northeastern margin of the Qinghai-Tibetan Plateau. Distributions of soil P and K, their influencing factors on topsoil (0—20 cm), and the soil profiles were studied. These elements were studied by analysis of soil P and K contents, other soil properties (such as soil

基金项目: 国家自然科学基金(41171054); 冰冻圈科学国家重点实验室自主课题(SKLCS09-06)和开放基金(SKLCS10-08); 中国博士后科学基金(20100480730); 中国博士后特别资助项目(201104347); 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所人才基金项目

收稿日期: 2011-11-21; 修订日期: 2012-06-25

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sychen@lzb.ac.cn

organic carbon, total nitrogen, pH value, and so on), and meteorological factors (mean annual temperature and mean annual precipitation). The results showed that soil total P, available P, total K, and available K contents in topsoil were (0.50 ± 0.14) g/kg, (2.69 ± 1.61) mg/kg, (14.84 ± 0.59) g/kg, and (151.03 ± 117.57) mg/kg, respectively. The correlation matrix of the variables showed that there were significant positive correlations between total P contents in the topsoil, mean annual temperature, and soil silt proportions. However, there was a significant negative relationship between total P contents in the topsoil and mean annual precipitation. Meanwhile, there were significant positive relationships between available P, soil organic carbon, and total nitrogen. There was a significant positive relationship between soil available K, soil silt content, and mean annual temperature. The densities of total P, available P, total K, and available K mainly concentrated in the 0—40 cm soil depth, and showed a decreasing trend with soil depth increase. Total P densities at different soil depths had a positive correlation with mean annual temperature, which increased with soil depth. Our study indicated that air temperature and precipitation were the main influencing factors for soil total P contents in topsoil and its spatial distribution. Because of similar soil parent material, small variances of total K in topsoil for the seven soil types were observed. The content of available P and available K contents could not meet plant growth need, and grassland management is an important factor for content change. Air temperature is the main control factor for total P and K densities in this study area. These results could provide fundamental data to clearly identify the P and K content status in alpine grassland soils. This, in turn, could provide new insights with which to understand the biogeochemical cycles and mechanisms of soil P, K, carbon, and nitrogen in alpine grassland ecosystems.

Key Words: Shule river basin; soil phosphorus; soil potassium; soil type

受气候变暖和多年冻土退化等一系列环境因素的影响,青藏高原高寒草地生态系统退化严重^[1-3],区域草地生态系统的可持续发展是当前面临的一个重要问题。磷和钾是植物生长代谢过程不可或缺的营养元素,不仅影响植物个体的生长,还会影响植被结构及其地上-地下生物量分配^[4-6],进而影响到包括碳、氮循环在内的其他元素的生物地球化学循环^[7-8]。而植物所利用的磷钾元素主要来源于土壤,因此研究土壤磷、钾元素的分布及其影响因素就显得十分重要。

有关土壤中磷钾元素分布的研究,前人做了大量工作,研究结果发现土壤中的磷、钾元素含量和分布不仅与成土母质^[6]、气候^[8]、坡度和地貌条件^[9]有关,还受区域土地利用方式^[10-11]和地表径流等的影响^[12],这些研究主要针对大区域或农田生态系统。而对于以放牧为主的草地生态系统,大多数研究主要关注于草地植被退化对表层土壤养分元素含量的影响^[13-15]和不同植被类型土壤养分元素分布特征^[16]等方面,有关土壤中磷、钾的垂直分布特征及其控制因子的研究还鲜有报道。

疏勒河流域是中国河西走廊三大内陆河流域之一,位于青藏高原东北缘的上游区域分布着大片草地,是整个流域的水源涵养区和发源地。疏勒河上游地广人稀,居民点少且分散,主要产业为畜牧业,是研究草地生态系统土壤磷、钾分布的理想区域。本文通过调查疏勒河上游不同海拔高度的生态观测样地,分析不同深度土壤中全磷、有效磷、全钾和有效钾的含量,研究土壤磷钾元素含量和密度与环境因子的关系,试图揭示:1) 不同类型土壤表层和剖面中磷、钾元素的分布特征;2) 土壤磷、钾含量和密度与气候因子的关系。研究结果可为更加清晰地认识疏勒河上游土壤磷钾元素分布以及进一步理解区域土壤磷钾和碳氮循环过程及机理提供一定基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

疏勒河上游(96.2° — 99.0° E, 38.2° — 40.0° N, 海拔 2100—5750 m)位于祁连山西段的疏勒南山与托来南山之间^[17](图 1),区域面积约 1.25×10^4 km²,行政区域上跨青海省海西蒙古族藏族自治州的天峻县和甘肃省酒泉市的肃北蒙古族自治县^[18]。研究区年均气温约 -3.5°C ,年降水量 100—600 mm^[3]。该区域多年冻土

属阿尔金山-祁连山高寒带山地多年冻土^[17],且分布广泛。植被类型按垂直带分布主要有冰缘植被、高寒草甸、高寒草原、温性草原、荒漠等^[17],主要土壤类型有寒冻土、寒钙土、冷钙土、草毡土、沼泽土、棕钙土和灰棕漠土等(表1)。

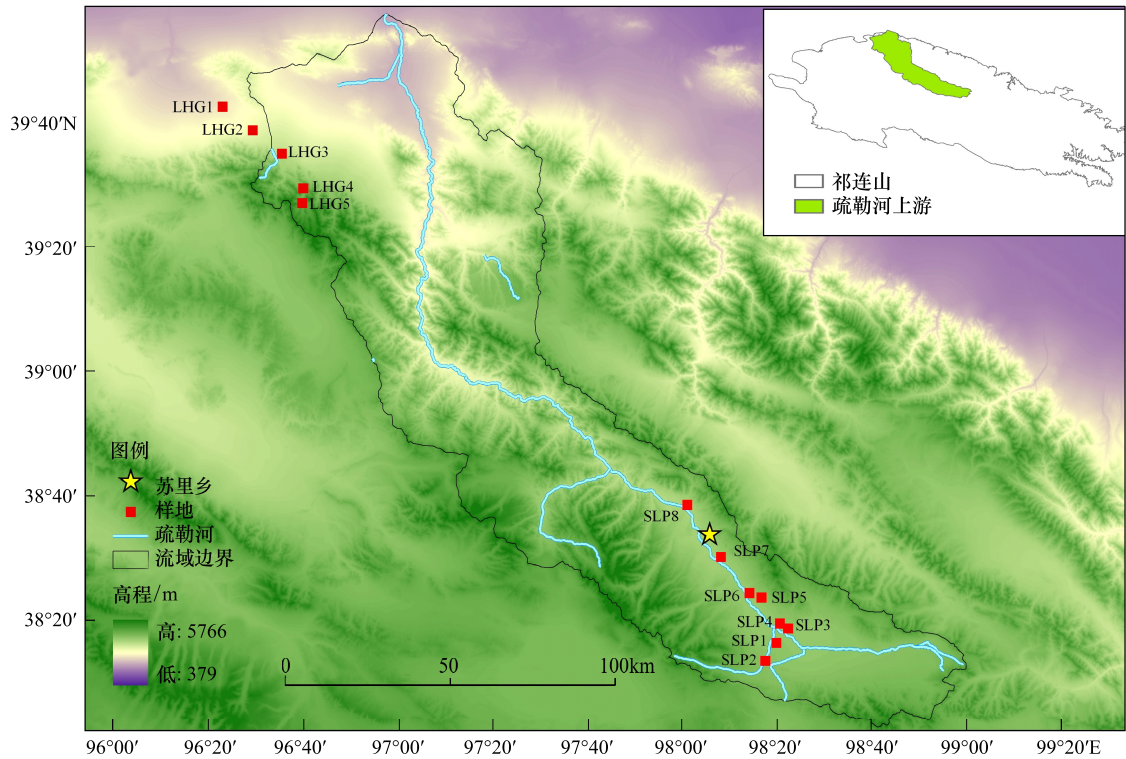


图1 疏勒河上游地区13处样地位置

Fig.1 The location of thirteen plots in the upstream of Shule river basin

1.2 样品的采集

在2009年工作的基础上,选取13处高寒生态样地(图1)(均大于50 m × 50 m),其坡度均小于4°,其地理位置、海拔高度、土壤类型和植被类型见表1。于2010和2011年7—8月,围绕各样地挖取2—3个体积约

表1 疏勒河上游13处样地的地理位置、海拔高度、土壤类型和植被类型^[17]

Table 1 Location, altitude, soil type and vegetation type of thirteen plots in the upstream of Shule river basin				
样地 Sites	坐标(E,N) Coordination	海拔/m Altitude	土壤类型 Soil type	植被类型 Vegetation type
LHG1	96°11'24",39°44'43"	2519	灰棕漠土	荒漠
LHG2	96°18'26",39°41'09"	3016	棕钙土	荒漠化草原
LHG3	96°24'59",39°37'57"	3438	冷钙土	高寒草原
LHG4	96°30'09",39°32'13"	4105	寒冻土	冰缘植被
LHG5	96°30'21",39°30'14"	4216	寒冻土	冰缘植被
SLP1	98°18'31",38°25'16"	3882	草毡土	高寒草甸
SLP2	98°16'14",38°21'17"	4014	冷钙土	高寒草甸
SLP3	98°20'51",38°27'59"	3863	沼泽土	沼泽草甸
SLP4	98°19'24",38°28'33"	3890	寒钙土	高寒草甸
SLP5	98°14'49",38°32'29"	3936	冷钙土	高寒草甸
SLP6	98°12'20",38°33'02"	3832	寒钙土	高寒草原
SLP7	98°06'14",38°37'55"	3740	寒钙土	高寒草原
SLP8	97°57'32",38°46'31"	3636	冷钙土	高寒草原

1 m³ 的土壤剖面,每个剖面间隔大于 30 m,按 0—10、10—20、20—30、30—40、40—60、60—80 和 80—100 cm 分层采集土壤样品(部分点位土层较薄,采样至实际深度)。各层土壤容重的测定采用环刀法或挖坑法。

1.3 样品的分析和数据处理

土壤样品带回室内自然风干,研磨后进行过筛处理。土样过 2 mm 筛用于 pH 值和机械组成测定,过 0.25 mm 筛用于全磷、有效磷、全钾和有效钾含量测定。全磷(GB7852-87)和有效磷(GB12297-90)用钼锑抗比色法,全钾(GB7854-87)和有效钾(GB7856-87)用火焰光度法测定^[17]。

各层土壤磷钾密度的计算公式为:

$$YD = \sum_{i=1}^n h_i \times BD_i \times Y_i \times (1 - C_i) / 100$$

式中, YD 、 h_i 、 BD_i 、 Y_i 和 C_i 分别表示磷或钾元素的密度(kg/m³)、土层的厚度(cm)、土壤容重(g/cm³)、元素含量(g/kg)和> 2 mm 砾石含量。

年均气温、降水量、土壤有机碳和全氮等数据参见 Liu 等^[19]。土壤磷或钾密度与其它土壤理化性质、气象因子(年均气温和年均降水)的相关分析和回归分析使用 SPSS11.5 软件完成;当 $P < 0.05$ 时表明具有显著的统计学意义。

2 结果与分析

2.1 不同土壤类型中表层土壤磷、钾的含量及其影响因子

疏勒河上游不同土壤类型 0—20 cm 表层土壤 pH 值、全磷、有效磷、全钾和有效钾含量如表 2 所示。可以看出,不同类型土壤 pH 值均大于 7.70,为碱性土壤。灰棕漠土表层土壤全磷含量最高(0.69 g/kg),草毡土

表 2 疏勒河上游不同土壤类型 0—20 cm 表层土壤全磷、有效磷、全钾和有效钾含量

Table 2 Contents of soil total phosphorus (P), available P, total potassium (K) and available K at the depth of 0—20 cm in the upstream of Shule river basin

土壤类型 Soil type	土层/cm Soil layers	全磷/(g/kg) Total P	有效磷/(mg/kg) Available P	全钾/(g/kg) Total K	有效钾/(mg/kg) Available K	pH 值 pH value
灰棕漠土	0—10	0.71±0.01	2.30±0.31	14.80±0.24	465.10±21.33	8.40±0.08
	10—20	0.66±0.01	1.40±0.28	15.45±0.31	323.43±38.71	7.98±0.03
	0—20	0.69±0.03	1.85±0.64	15.13±0.46	394.27±100.17	8.19±0.30
棕钙土	0—10	0.68±0.01	1.38±0.56	15.08±0.20	182.27±59.61	8.00±0.06
	10—20	0.58±0.01	1.94±0.19	15.09±0.13	124.61±30.53	7.70±0.19
	0—20	0.63±0.07	1.66±0.39	15.08±0.00	153.44±40.78	7.85±0.21
寒冻土	0—10	0.62±0.01	4.34±1.17	15.84±0.39	63.77±27.36	8.34±0.09
	10—20	0.54±0.01	4.01±0.83	14.25±2.67	71.43±7.65	8.23±0.04
	0—20	0.58±0.06	4.18±0.23	15.05±1.12	67.60±5.42	8.28±0.08
草毡土	0—10	0.34±0.01	0.85±0.31	13.27±1.08	128.25±30.32	8.23±0.09
	10—20	0.18±0.01	0.70±0.09	13.77±0.67	84.62±26.04	8.06±0.07
	0—20	0.26±0.11	0.77±0.11	13.52±0.36	106.44±30.85	8.15±0.12
冷钙土	0—10	0.44±0.01	2.91±0.34	15.34±0.36	106.12±18.69	8.16±0.42
	10—20	0.47±0.01	2.63±0.28	15.08±0.61	125.15±17.13	7.87±0.47
	0—20	0.46±0.03	2.77±0.20	15.21±0.18	115.63±13.46	8.02±0.20
寒钙土	0—10	0.50±0.01	2.68±0.63	15.08±1.67	175.15±17.61	7.93±0.08
	10—20	0.46±0.01	1.68±0.13	14.56±1.13	187.39±19.86	8.22±0.04
	0—20	0.48±0.03	2.18±0.71	14.82±0.37	181.27±8.66	8.07±0.21
沼泽土	0—10	0.31±0.01	5.48±1.92	14.40±0.35	25.01±4.69	8.14±0.06
	10—20	0.57±0.01	5.41±2.17	15.70±0.26	52.08±14.27	7.86±0.01
	0—20	0.44±0.18	5.45±0.05	15.05±0.92	38.55±19.14	8.00±0.20
整个研究区	0—20	0.50±0.14	2.69±1.61	14.84±0.59	151.03±117.57	8.08±0.14

最低(0.26 g/kg);沼泽土表层土壤有效磷含量最高(5.45 mg/kg),草毡土最低(0.77 mg/kg);0—20 cm 表层土壤全钾含量范围为 13.52—15.21 g/kg,变异性很小;表层土壤有效钾含量最高为灰棕漠土(394.27 mg/kg),最低为沼泽土(38.55 mg/kg)。

疏勒河上游 0—20 cm 表层土壤全磷含量(0.50 g/kg)小于全国土壤的全磷均值^[8],且远远小于青藏高原三江源和四川西部高山区^[13-14](表 3)。表层土壤有效磷含量为 2.69 mg/kg,略高于青藏高原那曲地区^[15],低于全国土壤有效磷均值,远小于青藏高原三江源区和四川西北部高山区(表 3)。表层土壤全钾含量低于青藏高原三江源区和四川西部高山区;而土壤有效钾含量(151.03 mg/kg)与青藏高原那曲地区基本一致,但远低于青藏高原三江源区和四川西北部高山区(表 3)。

表 3 疏勒河上游 0—20cm 表层土壤磷钾元素含量与其他地区的比较

Table 3 Comparison of soil total phosphorus (P), available P, total potassium (K) and available K concentrations in 0—20cm depth soil between the upstream of Shule river basin and other regions

区域 Region	全磷/(g/kg) Total P	有效磷/(mg/kg) Available P	全钾/(g/kg) Total K	有效钾/(mg/kg) Available K	样本数 Samples Num.	参考文献 Reference
疏勒河上游	0.50	2.69	14.84	151.03	13	本研究
青藏高原三江源区	1.30	12.00	21.92	230.00	2	[13]
青藏高原那曲地区	—	2.48	—	139.55	3	[15]
四川西北部高山区	1.07	5.50	18.11	227.49	7	[14]
中国土壤	0.60	3.40	—	—	2473	[8]

土壤磷钾含量与其他土壤理化性质和气候因子的相关性分析结果如表 4 所示。全磷与年均气温($R=0.69, P<0.01$)、年均降水量($R=-0.79, P<0.01$)和土壤粉粒含量($R=0.56, P<0.05$)具有显著的相关性。有效磷含量与有机质($R=0.54, P<0.05$)、全氮含量具有显著正相关($R=0.64, P<0.05$)。土壤有效钾含量与土壤粉粒含量($R=0.62, P<0.05$)和年均气温($R=0.59, P<0.05$)也具有显著正相关。

表 4 0—20 cm 表层土壤中磷钾含量与其它土壤理化性质和气候因子的相关性分析结果($n=13$)

Table 4 Correlations between contents of phosphorus, potassium in the 0—20 cm soil depth and the other soil parameters, climatic variables ($n=13$)

土壤性质 CSoil properties	pH 值 pH value	全氮 TN/(g/kg)	有机碳 SOC/(g/kg)	砂粒含量 Sandy/%	粉粒含量 Slit/%	粘粒含量 Clay/%	年均气温 MAT/℃	年均降水量 MAP/mm
全磷(g/kg)	0.07	-0.07	-0.03	-0.44	0.56*	0.07	0.69**	-0.79**
有效磷(mg/kg)	0.24	0.64*	0.54*	0.16	-0.38	0.31	-0.44	0.19
全钾(g/kg)	-0.19	0.18	0.20	0.21	-0.25	-0.07	0.08	-0.16
有效钾(mg/kg)	-0.03	-0.32	-0.51	-0.48	0.62*	0.08	0.59*	-0.24

TN: total nitrogen; SOC: soil organic carbon; MAT: mean annual temperature; MAP: mean annual precipitation; ** 表示相关性极显著($P<0.01$); * 表示相关性显著($P<0.05$)

2.2 土壤剖面中磷、钾密度的分布特征

主要土壤类型灰棕漠土、棕钙土、寒冻土、草毡土、冷钙土、寒钙土和沼泽土中总全磷、有效磷、全钾和有效钾密度如表 5 所示。灰棕漠土中的全磷和全钾密度最大(分别为 0.61 和 15.13 kg/m²),寒冻土中全磷和全钾密度最小(分别为 0.11 和 2.91 kg/m²);沼泽土中有效磷密度最大(2.26 g/m²),而草毡土中有效磷密度最低(0.41 g/m²);灰棕漠土中的有效钾密度最大(349.10 g/m²),寒冻土中有效钾密度最小(10.46 g/m²);疏勒河上游不同类型土壤剖面中全磷、有效磷、全钾和有效钾密度的分布特征见图 2。结果表明,5 种类型土壤中全磷、有效磷、全钾和有效钾密度主要集中在 0—40 cm,并随着土壤深度的增加而逐渐降低。其中,灰棕漠土和棕钙土剖面 60 cm 以下各土层中磷钾密度最高。而其它几种土壤类型中全磷、有效磷、全钾和有效钾密度均存在一个大幅度降低的土层。

表 5 疏勒河上游草地不同土壤类型实际深度总全磷、有效磷、全钾和有效钾密度

Table 5 Soil total phosphorus (P), available P, total potassium (K) and available K densities in different soil type in the upstream of Shule river basin

土壤类型 Soil type	全磷密度/(kg/m ²) Total P density	有效磷/(g/m ²) Available P density	全钾密度/(kg/m ²) Total K density	有效钾密度/(g/m ²) Available K density
灰棕漠土	0.61	1.58	15.13	349.10
棕钙土	0.50	1.20	13.53	76.70
寒冻土	0.11	0.79	2.91	10.46
草毡土	0.29	0.41	9.99	54.05
冷钙土	0.31	2.17	11.99	73.33
寒钙土	0.21	1.02	8.54	90.38
沼泽土	0.24	2.26	6.95	22.74

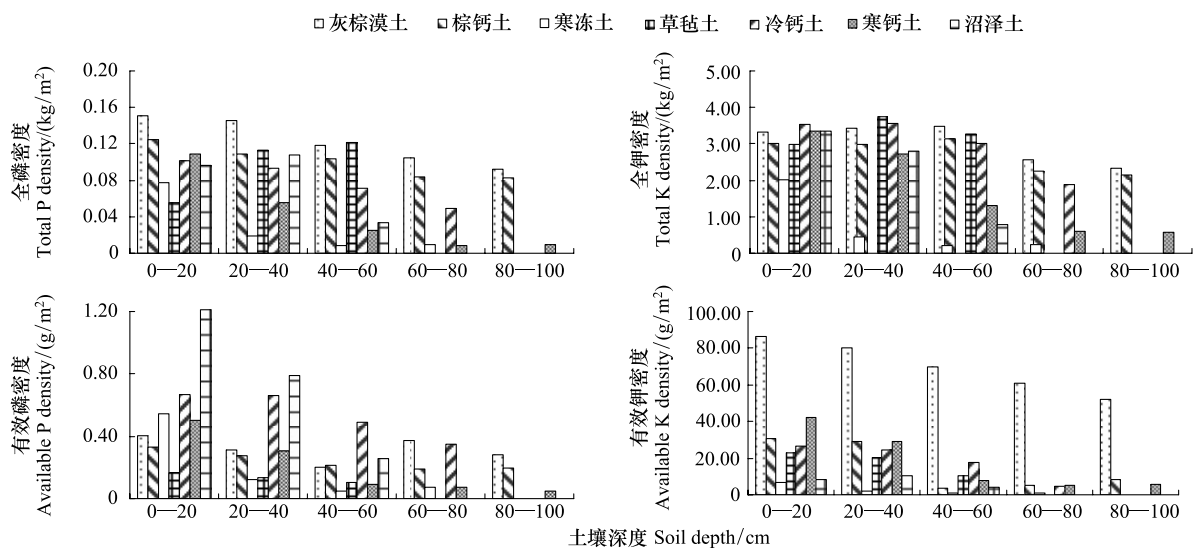


图 2 土壤剖面不同深度全磷、有效磷、全钾和有效钾密度的分布特征

Fig. 2 Distributions of soil total phosphorus (P) density, available P density, total potassium (K) density and available K density on soil profiles

2.3 土壤剖面不同层次土壤磷、钾密度与气候因子的关系

表 6 给出了 0—20 cm、0—50 cm 和实际土壤深度这 3 个土壤深度的全磷、有效磷、全钾和有效钾总密度与年均气温、年均降水量回归分析结果。不同土壤深度(0—20 cm、0—50 cm 和实际土壤深度)的全磷总密度与年均气温均呈显著正相关,随着土层深度的增加,相关系数逐渐增加。0—20 cm 土层全钾密度与年均降水量表现出显著正相关关系;0—50 cm 土层有效钾密度与年均气温也表现出显著正相关关系。

3 讨论

3.1 表层 0—20cm 土壤磷钾含量及其影响因子

疏勒河上游地区 0—20 cm 表层土壤全磷、全钾、有效磷和有效钾含量均低于青藏高原三江源区和四川西北部高山区未退化草地^[13-14];而土壤全磷和有效磷含量也略低于全国土壤的均值^[8]。按照农业土壤养分含量的标准划分^[20],该区域满足植物生长的土壤有效磷和有效钾缺乏,这是由于磷钾元素输入减少所致:(1)牧草被牛羊食用,返还土壤的凋落物减少;(2)牛羊粪便被牧民以燃料形式利用。可见,草地管理措施是影响草地土壤有效磷和有效钾含量的重要因素之一。

气温和降水是表层土壤全磷含量主控因子之一^[21]。表层土壤全磷含量与年均气温具有显著正相关(表 4),随着年均气温的升高,研究区土壤全磷含量逐渐增加,这与大区域尺度上的研究结果^[8, 22]略有不同;如汪

涛等^[8]对中国土壤磷库的空间分布研究表明土壤磷库随着年均气温的增加而显著降低。可见,气温对疏勒河上游草地表层土壤全磷含量的影响具有一定的独特性。一方面,气温影响着草地土壤风化速率^[8];另一方面,气温可以通过影响植物群落的分布来调节植物凋落物的化学组成及数量,间接影响土壤磷元素的输入(包含凋落物和根系返还量等),进而影响土壤磷的数量和分布特征^[16, 23]。表层土壤全磷含量与年均降水量具有显著负相关,与土壤粉粒含量显著正相关(表4),表明降水和土壤粉粒含量也是影响表层土壤的全磷含量积累的重要因素。降水量增加可以加快磷元素淋溶,最终会导致表层土壤全磷含量降低^[6],而土壤粉粒有利于磷素的固定和积累^[24]。有效磷含量与有机质和全氮含量具有显著的正相关(表4),且研究区植被盖度与有机质、全氮和速效磷显著正相关^[17],表明有效磷含量主要受凋落物分解的影响,但还需要进一步研究来证实。

表6 磷钾元素密度与气候因子的线性回归分析参数($n=13$)Table 6 Regression coefficients of soil total phosphorus (P) density, available P density, total potassium (K) density and available K density to climatic variables ($n=13$)

气候因子 Climate factors	土层深度 Soil depth	全磷密度 Total P		有效磷密度 Available P		全钾密度 Total K		有效钾密度 Available K	
		<i>R</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>P</i>
年均气温	0—20 cm	0.80	0.001	-0.40	0.18	0.03	0.91	0.54	0.06
Mean temperature	0—50 cm	0.82	<0.001	-0.20	0.50	0.26	0.38	0.55	0.05
	实际深度	0.94	<0.001	0.06	0.85	0.64	0.02	0.66	0.014
年均降水量	0—20 cm	0.40	0.90	-0.23	0.46	-0.58	0.04	-0.06	0.84
Mean precipitation	0—50 cm	0.37	0.21	-0.27	0.37	-0.11	0.72	0.04	0.90
	实际深度	0.48	0.10	-0.17	0.57	0.17	0.59	0.14	0.66

研究区表层土壤全钾含量主要受成土母质影响,在不同土壤类型中的变异性很小(表2)。全钾受气候因子的影响较小,如表4所示,表层0—20 cm土壤全钾含量与气候因子(年均气温和年均降水量)的相关性不显著。而土壤有效钾含量主要受到土壤质地和气温的影响,其与年均气温、土壤粉粒含量均具有显著正相关(表4)。这是因为气温可以影响地上凋落物的周转速率,进而控制钾素的释放,且凋落物分解过程中钾素释放速率比较快,一般半年就能释放出60%的钾素^[25];此外,土壤粉粒可与有效钾结合,减少钾素淋溶,有利于表层土壤钾素积累。

3.2 土壤剖面中的磷钾密度分布特征及其与气候因子的关系

与农田土壤不同,天然草地土壤中的磷钾元素密度主要受区域自然条件的控制。前期研究认为土壤总磷密度主要与土壤母质中磷元素含量相关,它们一般随着土壤剖面逐渐下降,但是其下降速率没有碳氮含量显著^[21]。本研究土壤全磷、有效磷密度在灰棕漠土和棕钙土中表现出随土壤深度增加而逐渐降低的变化趋势(图2),与前人研究结果一致。制约土壤中磷钾密度变化趋势的是植被的返还能力,在剖面上,生物的返还能力随着土壤深度增加而减少^[26]。灰棕漠土和棕钙土地表植被生长稀疏(植被类型为荒漠和荒漠化草原)^[17]且以粗根系为主,以地表生物量和根系返还至土壤的磷素较少,因此从表层到深层土壤全磷、有效磷密度呈逐渐下降趋势。而对其它几种类型土壤,存在一个全磷、有效磷、全钾和有效钾密度急剧降低的土层(图2),这是由于受凋落物分解和根系腐烂返还的磷钾元素含量限制,深层土壤磷钾元素含量急剧下降,加之60 cm以下土壤中砂石含量增多所致。

各土壤深度全磷密度与年均气温呈显著的正相关关系(表6),其相关系数随着土壤深度增加而逐渐增加,这与不同深度土壤有机碳密度与年均气温的变化趋势正好相反^[19]。土壤实际深度的磷、钾密度与年均气温均呈正相关关系,反映出疏勒河上游草地生态系统土壤全磷、全钾密度分布的独特性:较高气温可能有利于该区域土壤的发育和土壤全磷、全钾积累。

4 结论

(1)与青藏高原其它区域比较,疏勒河上游草地表层土壤全磷、全钾、有效磷和有效钾含量较低。温度和

降水是影响表层土壤全磷含量的主要环境因子,母质是影响表层土壤全钾含量的主要因子。草地管理措施是影响表层土壤有效磷、有效钾含量变化的重要因素之一。

(2)土壤剖面中全磷、有效磷、全钾和有效钾密度随着土壤深度的增加而降低;在灰棕漠土和棕钙土中土壤磷钾密度下降平缓,在其它土壤类型中存在一个急剧降低的土层。气温是该区域土壤全磷和全钾密度分布的主控因子。

References:

- [1] Guo Z G, Niu F J, Zhan H, Wu Q B. Changes of grassland ecosystem due to degradation of permafrost frozen soil in the Qinghai-Tibet Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(8): 3294-3301.
- [2] Wang G X, Li Y S, Wang Y B, Wu Q B. Effects of permafrost thawing on vegetation and soil carbon pool losses on the Qinghai-Tibet Plateau, China. *Geoderma*, 2008, 143(1/2): 143-152.
- [3] Xie X, Yang G J, Wang Z R, Wang J. Landscape pattern change in mountainous areas along an altitude gradient in the upper reaches of Shule River. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(7): 1420-1426.
- [4] Tytti S, Seppo K. Potassium nutrition and free polyamines of *Betula pendula* Roth and *betula pubescens* Ehrh. *Plant and Soil*, 2002, 238(1): 141-149.
- [5] Litaor M I, Seastedt T R, Walker M D, Carbone M, Townsend A. The biogeochemistry of phosphorus across an alpine topographic/snow gradient. *Geoderma*, 2005, 124(1/2): 49-61.
- [6] Jiao J G, Ellis E C, Yesilonis I, Wu J X, Wang H Q, Li H X, Yang L Z. Distributions of soil phosphorus in China's densely populated village landscapes. *Journal of Soils and Sediments*, 2010, 10(3): 461-472.
- [7] Bronson K F, Zobeck T M, Chua T T, Acosta-Martinez V, van Pelt R S, Booker J D. Carbon and nitrogen pools of southern high plains cropland and grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 2004, 68(5): 1695-1704.
- [8] Wang T, Yang Y H, Ma W H. Storage, patterns and environmental controls of soil phosphorus in China. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2008, 44(6): 945-952.
- [9] Kozar B, Lawrence R, Long D S. Soil phosphorus and potassium mapping using a spatial correlation model incorporating terrain slope gradient. *Precision Agriculture*, 2002, 3(4): 407-417.
- [10] Zhang S X. Distribution and availability of phosphors in soil profiles of slope land under different land use of Loess Plateau [D]. Yangling: Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2008.
- [11] Lu A X, Zhao Y L, Wang J H, Ma Z H. Distribution characteristics of nitrogen and phosphorus in agricultural soil profiles under different landuse. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(9): 3923-2929.
- [12] McGroddy M E, Daufresne T, Hedin L O. Scaling of C: N: P stoichiometry in forests worldwide: implications of terrestrial Redfield-type ratios. *Ecology*, 2004, 85(9): 2390-2401.
- [13] Gao X S, Tian Z C, Hao X N, Jiang G X. The changes of alpine grassland soil nutrition at different deteriorate degree on high mountain meadow of Three River Source. *Journal of Qinghai University*, 2006, 24(5): 37-40.
- [14] Yu Y M, Li Z D, Ze B, Fei D P, Luo G R, Wang Q, Wang X L. The changes of grassland soil nutrition at different degradation subalpine meadow of north-west in Sichuan. *Acta Prataculturae Sinica*, 2005, 14(2): 38-42.
- [15] Chen T, Yang W N, Xu Y. Analysis of grassland soil nutrition characteristics at different degraded degree in Naqu Area. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(9): 227-230.
- [16] Yang C D, Chen X R, Long R J, Xu C L, Xue L. Distribution characteristics of soil phosphorus at turning green stage in different alpine grasslands in the Eastern Qilian Mountains. *Chinese Journal of Grassland*, 2009, 31(3): 47-54.
- [17] Chen S Y, Liu W J, Ye B S, Yang G J, Yi S H, Wang F G, Qing X, Ren J W, Qing D H. Species diversity of vegetation in relation to biomass and environmental factors in the upper area of the Shule River. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, 20(3): 70-83.
- [18] Sheng Y, Li J, Wu J C, Ye B S, Wang J. Distribution patterns of permafrost in the upper area of Shule River with the application of GIS technique. *Journal of China University of Mining and Technology*, 2010, 39(1): 32-39.
- [19] Liu W J, Chen S Y, Qin X, Baumann F, Scholten T, Zhou Z Y, Sun W J, Zhang T Z, Ren J W, Qin D H. Storage, patterns, and controls of soil organic carbon and nitrogen in the northeastern margin of the Qinghai-Tibetan Plateau. *Environmental Research Letters*, 2012, 7 035401. DOI: 10.1088/1748-9326/7/3/035401.
- [20] Liu S J, Zhang W, Wang K L, Chen H S, Shu S Y, Tan W N. Spatiotemporal heterogeneity of topsoil nutrients in Karst Peak-Cluster depression

area of Northwest Guangxi, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(11): 3036-3043.

- [21] Tian H Q, Chen G S, Zhang C, Melillo J M, Hall C A S. Pattern and variation of C: N: P ratios in China's soils: a synthesis of observational data. *Biogeochemistry*, 2010, 98(1/3): 139-151.
- [22] Neufeldt H, da Silva J E, Ayarza M A, Zech W. Land-use effects on phosphorus fractions in Cerrado oxisols. *Biology and Fertility of Soils*, 2000, 31(1): 30-37.
- [23] Wang G S, Wen H, Gao Z Q, Liu Y J, Jing H P, Feng J S, Lu S, Zhang J. The effect of plant communities on main soil nutrition. *Pratacultural Science*, 2009, 26(11): 93-96.
- [24] Kooijman A M, Jongejans J, Sevink J. Parent material effects on Mediterranean woodland ecosystems in NE Spain. *Catena*, 2005, 59(1): 55-68.
- [25] Liu W Y, Fox J E D, Xu Z F. Leaf litter decomposition of canopy trees, bamboo and moss in a montane moist evergreen broad-leaved forest on Ailao Mountain of Yunnan, South-West China. *Ecological Research*, 2000, 15(4): 435-447.
- [26] Wang W W. Spatial patterns of soil nutrients and their response to grazing disturbance over the Songnen meadow steppes of NE China [D]. Changchun: Northeast Normal University, 2007.

参考文献:

- [1] 郭正刚, 牛富俊, 湛虎, 吴青柏. 青藏高原北部多年冻土退化过程中生态系统的变化特征. *生态学报*, 2007, 27(8): 3294-3301.
- [3] 谢霞, 杨国靖, 王增如, 王杰. 疏勒河上游山区不同海拔梯度的景观格局变化. *生态学杂志*, 2010, 29(7): 1420-1426.
- [8] 汪涛, 杨元合, 马文红. 中国土壤磷库的大小、分布及其影响因素. *北京大学学报: 自然科学版*, 2008, 44(6): 945-952.
- [10] 张素霞. 黄土高原坡地不同土地利用方式下土壤剖面磷素分布及其有效性研究[D]. 杨陵: 西北农林科技大学, 2008.
- [11] 陆安祥, 赵云龙, 王纪华, 马智宏. 不同土地利用类型下氮、磷在土壤剖面中的分布特征. *生态学报*, 2007, 27(9): 3923-2929.
- [13] 高旭升, 田种存, 郝学宁, 蒋桂香. 三江源区高寒草原草地不同退化程度土壤养分变化. *青海大学学报*, 2006, 24(5): 37-40.
- [14] 于友民, 李志丹, 泽柏, 费道平, 罗光荣, 王钦, 王小利. 川西北亚高山草地不同退化梯度草地土壤养分变化. *草业学报*, 2005, 14(2): 38-42.
- [15] 陈涛, 杨武年, 徐瑶. 那曲地区不同退化程度的草地土壤养分特征分析. *中国农学通报*, 2011, 27(9): 227-230.
- [16] 杨成德, 陈秀蓉, 龙瑞军, 徐长林, 薛莉. 东祁连山高寒草地返青期不同草地型土壤磷的分布特征. *中国草地学报*, 2009, 31(3): 47-54.
- [17] 陈生云, 刘文杰, 叶柏生, 杨国靖, 宜树华, 王发刚, 秦翔, 任贾文, 秦大河. 疏勒河上游地区植被物种多样性和生物量及其与环境因子的关系. *草业学报*, 2011, 20(3): 70-83.
- [18] 盛煜, 李静, 吴吉春, 叶柏生, 王杰. 基于 GIS 的疏勒河流域上游多年冻土分布特征. *中国矿业大学学报*, 2010, 39(1): 32-39.
- [20] 刘淑娟, 张伟, 王克林, 陈洪松, 舒世燕, 谭卫宁. 桂西北喀斯特峰丛洼地表层土壤养分时空分异特征. *生态学报*, 2011, 31(11): 3036-3043.
- [23] 王国生, 温洪, 高占琪, 刘彦江, 景和平, 冯建山, 陆飒, 张洁. 不同植物群落对土壤主要营养指标的影响. *草业科学*, 2009, 26(11): 93-96.
- [26] 汪卫卫. 松嫩草地土壤养分空间格局特征及其对放牧干扰的响应[D]. 长春: 东北师范大学, 2007.

CONTENTS

Conservation strategies for <i>Ulmus elongata</i> based on the analysis of biological and ecological factors	GAO Jianguo, ZHANG Yi, WU Yuhuan, et al (5287)
Vertical distribution of methanogen community structures in <i>Phragmites australis</i> marsh soil in the Min River estuary	SHE Chenxing, TONG Chuan (5299)
Energy balance closure and its effects on evapotranspiration measurements with the eddy covariance technique in a cropland	LIU Du, LI Jun, YU Qiang, TONG Xiaojuan, et al (5309)
Effects of soil water potential on the growth and physiological characteristics of <i>Populus tomentosa</i> pulpwood plantation under subsurface drip irrigation	XI Benye, WANG Ye, DI Nan, et al (5318)
Physiological indices of leaves of jujube (<i>Zizyphus jujuba</i>) damaged by <i>Apolygus lucorum</i>	GAO Yong, MEN Xingyuan, YU Yi, et al (5330)
Economic analysis of wetland resource protection: a case study of Beijing Wild Duck Lake	WANG Changhai, CUI Lijuan, MA Muyuan, et al (5337)
Comparative studies on the farmers' willingness to accept eco-compensation in wetlands nature reserve	WANG Changhai, CUI Lijuan, MAO Xufeng, et al (5345)
Remote sensing estimation models of <i>Suaeda salsa</i> biomass in the coastal wetland	FU Xin, LIU Gaohuan, HUANG Chong, LIU Qingsheng (5355)
Effects of N addition on soil organic carbon components in an alpine meadow on the eastern Qinghai-Tibetan Plateau	ZHENG Jiaojiao, FANG Huajun, CHENG Shulan, et al (5363)
Estimating carbon emissions from forest fires during 2001 to 2010 in Daxing'anling Mountain	HU Haiqing, WEI Shujing, SUN Long (5373)
Predicting the effects of soil water potential on the growth of cut lily	DONG Yongyi, LI Gang, AN Dongsheng, et al (5387)
Rain enrichment-accelerated carbon emissions from soil in a <i>Nitraria sphaerocarpa</i> community in hyperarid region	LIU Dianjun, WU Bo, LI Yonghua, et al (5396)
Response of soil organic carbon sequestration to the "Grain for Green Project" in the hilly Loess Plateau region	XU Mingxiang, WANG Zheng, ZHANG Jin, et al (5405)
Temporal and spatial variability in soil respiration in five temperate forests in Xiaoxing'an Mountains, China	SHI Baoku, JIN Guangze, WANG Zhaoyang (5416)
Distributions pattern of phosphorus, potassium and influencing factors in the upstream of Shule river basin	LIU Wenjie, CHEN Shengyun, HU Fengzu, et al (5429)
COI1 is involved in jasmonate-induced indolic glucosinolate biosynthesis in <i>Arabidopsis thaliana</i>	SHI Lu, LI Mengsha, WANG Lihua, et al (5438)
Modeling canopy rainfall interception of a replanted <i>Robinia pseudoacacia</i> forest in the Loess Plateau	WANG Yanping, WANG Li, WEI Sanping (5445)
The differences of plant community diversity among the different altitudes in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir	LIU Weiwei, WANG Jie, WANG Yong, et al (5454)
Low-frequency drought variability based on SPEI in association with climate indices in Beijing	SU Hongxin, LI Guangqi (5467)
Response of upland jujube tree trunk diameter to different ecological factors	ZHAO Ying, WANG Youke, HAN Lixin, et al (5476)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a young <i>Caragana korshinskii</i> plantation	ZHANG Fan, CHEN Jianwen, WANG Mengben (5484)
Interspecific segregation of species in tree and shrub layers of the <i>Pinus bungeana</i> Zucc. ex Endl. community in the Wulu Mountains, Shanxi Province, China	WANG Lili, BI Runcheng, YAN Ming, et al (5494)
Effects of long-term fertilization on soil microbial biomass carbon and nitrogen and enzyme activities during maize growing season	MA Xiaoxia, WANG Lianlian, LI Qinghui, et al (5502)
A model to predict dry matter accumulation dynamics in wheat based on the normalized method	LIU Juan, XIONG Shuping, YANG Yang, et al (5512)
Optimization strategies and an aesthetic evaluation of typical plant communities in the Shanghai Green Belt	ZHANG Kaixuan, LING Huanran, DA Liangjun (5521)
Carbon footprint evaluation research on the tourism transportation system at tourist attractions; a case study in Hengshan	DOU Yindi, LIU Yunpeng, LI Bohua, et al (5532)
An urban ecosystem assessment method and its application	SHI Huichun, LIU Wei, HE Jian, et al (5542)
Seasonal variations in distribution and biological characteristics of snailfish <i>Liparis tanakae</i> in the central and southern Yellow Sea	ZHOU Zhipeng, JIN Xianshi, SHAN Xiujuan, et al (5550)
Effects of cyanobacterial accumulation and snail grazing on the growth of <i>vallisneria natans</i>	HE Hu, HE Yuhong, JI Yachan, et al (5562)
The structure and thermal insulation capability of <i>Mustela sibirica manchurica</i> winter pelage in Heilongjiang Province	LIU Yu, ZHANG Wei (5568)
Ontogenetic shifts in selected body temperature and thermal tolerance of the tiger frog, <i>Hoplobatrachus chinensis</i>	FAN Xiaoli, LEI Huanzong, LIN Zhihua (5574)
The influence of tubificid worms bioturbation on organic phosphorus components and their vertical distribution in sediment of Lake Taihu	BAI Xiuling, ZHOU Yunkai, ZHANG Lei (5581)
Review and Monograph	
Research advances in ecological assessment of urban greenspace	MAO Qizheng, LUO Shanghua, MA Keming, et al (5589)
Ecological hot topics in global change on the 2 nd International Young Ecologist Forum	WAN Yun, XU Lili, GENG Qifang, et al (5601)
Scientific Note	
Screening trial for the suitable plant species growing on sand dunes in the alpine valley and its recovery status in the Yarlung Zangbo River basin of Tibet, China	SHEN Weishou, LI Haidong, LIN Naifeng, et al (5609)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 17 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 17 (September, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元