

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第7期 Vol.34 No.7 **2014**

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 34 卷 第 7 期

2014 年 4 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 青藏高原东北部 5000 年来气候变化与若尔盖湿地历史生态学研究进展 何奕忻, 吴 宁, 朱求安, 等 (1615)
- 天山云杉森林土壤有机碳沿海拔的分布规律及其影响因素 阿米娜木·艾力, 常顺利, 张毓涛, 等 (1626)

个体与基础生态

- 小兴安岭红松日径向变化及其对气象因子的响应 李兴欢, 刘瑞鹏, 毛子军, 等 (1635)
- 采伐剩余物对林地表层土壤生化特性和酶活性的影响 吴波波, 郭剑芬, 吴君君, 等 (1645)
- 庞泉沟自然保护区典型森林土壤大团聚体特征 白秀梅, 韩有志, 郭汉清 (1654)
- 思茅松天然林树冠结构模型 欧光龙, 肖义发, 王俊峰, 等 (1663)
- 镁缺乏和过量胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 凌丽俐, 黄 翼, 彭良志, 等 (1672)
- 斑块生境中食果鸟类对南方红豆杉种子的取食和传播 李 宁, 王 征, 鲁长虎, 等 (1681)
- 重金属铅与两种淡水藻的相互作用 刘 璐, 闫 浩, 李 诚, 等 (1690)
- 刺参养殖池塘初级生产力及其粒级结构周年变化 姜森颖, 周一兵, 唐伯平, 等 (1698)
- 控(微囊)藻鲢、鳙排泄物光能与生长活性 王银平, 谷孝鸿, 曾庆飞, 等 (1707)
- 五爪金龙中香豆素类物质含量及其对福寿螺、水稻和稗草的影响 犹昌艳, 杨 宇, 胡 飞, 等 (1716)

种群、群落和生态系统

- 西双版纳国家级自然保护区勐腊子保护区亚洲象种群和栖息地评价 林 柳, 金延飞, 陈德坤, 等 (1725)
- 莱州湾鱼类群落同功能种团的季节变化 李 凡, 徐炳庆, 马元庆, 等 (1736)
- 长期不同施肥方式对麦田杂草群落的影响 蒋 敏, 沈明星, 沈新平, 等 (1746)
- 极端干旱条件下燕麦垄沟覆盖系统水生态过程 周 宏, 张恒嘉, 莫 非, 等 (1757)

景观、区域和全球生态

- 流域景观格局变化对洪枯径流影响的 SWAT 模型模拟分析 林炳青, 陈兴伟, 陈 莹, 等 (1772)
- 近 20 年青藏高原东北部禾本科牧草生育期变化特征 徐维新, 辛元春, 张 娟, 等 (1781)
- 丽江城市不同区域景观美学 郭先华, 赵千钧, 崔胜辉, 等 (1794)
- 珠三角河网水域栅藻的时空分布特征 王 超, 李新辉, 赖子尼, 等 (1800)
- 博斯腾湖细菌丰度时空分布及其与环境因子的关系 王博雯, 汤祥明, 高 光, 等 (1812)
- 遗传算法支持下土地利用空间分形特征尺度域的识别 吴 浩, 李 岩, 史文中, 等 (1822)
- 川西亚高山不同海拔岷江冷杉树轮碳稳定同位素对气候的响应 靳 翔, 徐 庆, 刘世荣, 等 (1831)

基于 ESDA 的西北太平洋柔鱼资源空间热点区域及其变动研究 冯永玖,陈新军,杨铭霞,等 (1841)

城乡与社会生态

基于居民生态认知的非使用价值支付意愿空间分异研究——以三江平原湿地为例.....

..... 高 琴,敖长林,陈红光,等 (1851)

浑河河水及其沿岸地下水污染特征 崔 健,都基众,王晓光 (1860)

社会生态系统及脆弱性驱动机制分析 余中元,李 波,张新时 (1870)

研究简报

等渗 NaCl 和 Ca(NO₃)₂胁迫对黄瓜幼苗生长和生理特性的影响 周 珩,郭世荣,邵慧娟,等 (1880)

专家观点

关于“生态保护和建设”名称和内涵的探讨 沈国舫 (1891)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 282 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-04



封面图说: 红豆杉人工林——红豆杉为常绿针叶乔木,树高可达 25m,属国家一级保护植物。红豆杉中含有的紫杉醇,具有独特的抗癌机制和较高的抗癌活性,能阻止癌细胞的繁殖、抑制肿瘤细胞的迁移,是世界公认的抗癌药。红豆杉在我国共有 4 个种和 1 个变种,即云南红豆杉、西藏红豆杉、东北红豆杉、中国红豆杉和南方红豆杉(变种)。由于天然红豆杉稀缺,国家严禁采伐利用,因而我国南方很多地方都采取人工种植的方法生产利用。人工种植的南方红豆杉在南方山区多呈斑块状分布,斑块生境中鸟类对红豆杉种子的传播有重要的影响。

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

DOI: 10.5846/stxb201304010570

白秀梅, 韩有志, 郭汉清. 庞泉沟自然保护区典型森林土壤大团聚体特征. 生态学报, 2014, 34(7): 1654-1662.

Bai X M, Han Y Z, Guo H Q. Characteristics of soil macroaggregates under typical forests in Pangquangou Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(7): 1654-1662.

庞泉沟自然保护区典型森林土壤大团聚体特征

白秀梅*, 韩有志, 郭汉清

(山西农业大学林学院, 太谷 030801)

摘要:对庞泉沟自然保护区内 4 种典型森林(云杉-落叶松-杨桦针阔混交林(简称针阔混交林), 杨桦阔叶林, 沙棘灌木林和华北落叶松林)和撂荒地(对照)0—20cm 土层内土壤大团聚体含量及稳定性进行了研究。结果表明, 和撂荒地相比, 林地土壤大团聚体含量及稳定性显著增加($P<0.05$)。不同林地 $>0.25\text{mm}$ 土壤团聚体含量顺序为: 针阔混交林 $>$ 杨桦阔叶林 $>$ 沙棘灌木林 $>$ 华北落叶松林 $>$ 撂荒地。林地 $>0.5\text{mm}$ 湿筛水稳性大团聚体含量显著大于撂荒地。根据团聚体破坏率和土壤团聚体水稳性指数, 土壤团聚体稳定性由大到小顺序为: 针阔混交林 $>$ 沙棘灌木林 $>$ 华北落叶松林 $>$ 杨桦阔叶林 $>$ 撂荒地。根据干湿筛团聚体平均重量直径(MWD)差值分析得稳定性顺序为: 杨桦阔叶林 $>$ 针阔混交林 $>$ 沙棘灌木林 $>$ 华北落叶松林 $>$ 撂荒地。相关分析表明, 土壤有机碳含量和粘粒含量与干、湿筛土壤大团聚体含量之间呈极显著正相关($P<0.01$), 粘粒含量与 MWD(干)和 MWD(湿)的差值之间呈极显著负相关($P<0.01$), 土壤容重、土壤通气孔隙和毛管孔隙等也显著影响着土壤大团聚体含量及其 MWD(干)和 MWD(湿)的差值($P<0.05$)。研究结果可为该区森林资源的合理经营提供一定的科学依据。

关键词:庞泉沟自然保护区; 土壤大团聚体; 林地

Characteristics of soil macroaggregates under typical forests in Pangquangou Nature Reserve

BAI Xiumei*, HAN Youzhi, GUO Hanqing

College of Forestry, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China

Abstract: The content and stability of soil macroaggregates in 0—20cm soil layer were studied for four typical forests (the coniferous and broad-leaved mixed forest (by the composition of *Picea meyer*, *P. wilsonii*, *Larix principis-rupprechtii*, *Populus davidiana* and *Betula platyphlla*), the broad-leaved forest of *P. davidiana* and *B. platyphlla*, the shrub of *Hippophae hamnoides* and the *Larix principis-rupprechtii* forest) and an abandoned land (control) in Pangquangou Nature Reserve. The results showed that the content and stability of soil macroaggregates under the four typical forests were significantly increased ($P<0.05$) by compared with the abandoned land. The content of soil aggregates $>0.25\text{mm}$ under the four forestlands was in the following order: the coniferous and broad-leaved mixed forest $>$ the broad-leaved forest $>$ the shrub $>$ the *Larix* forest $>$ the abandoned land. The wet sieve test also indicated that the content of water-stable aggregates $>0.5\text{mm}$ under the forestlands was significantly greater than under the abandoned land. Based on soil aggregate breakage rate and soil aggregate water-stability index, the soil aggregate stability was in the order: the coniferous and broad-leaved mixed forest $>$ the shrub $>$ the *Larix* forest $>$ the broad-leaved forest $>$ the abandoned land. According to the difference between the mean weight diameters (MWD) determined with the dry sieve and the wet sieve methods, the stability of soil aggregates followed the order: the broad-leaved forest $>$ the coniferous and broad-leaved mixed forest $>$ the shrub $>$ the *Larix* forest $>$ the abandoned

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30972349, 30670338); 高等学校博士学科专项科研基金(20091403110005)

收稿日期: 2013-04-01; 修订日期: 2013-09-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ghqbxm@126.com

land. Correlations analysis indicated that the content and stability of dry or wet sieve soil macroaggregates were very significantly ($P<0.01$) positively related to soil organic carbon (SOC) and clay particles. The MWD was very significantly ($P<0.01$) correlated negatively with clay particles. Soil macroaggregate content and the MWD were significantly ($P<0.05$) affected by soil bulk density, soil aeration porosity and soil capillary porosity. This study provides certain scientific evidence for rational management of the forest resources of the reserve.

Key Words: Pangquangou Nature Reserve; soil macroaggregate; forestland

庞泉沟自然保护区位于山西省西部,是汾河主要支流—文峪河的发源地,区内有华北高海拔地带的代表性森林植被。这里的森林植被发挥着良好的土壤保持和水源涵养及生态景观功能^[1],但是保护区内的部分人工林由于树种组成单一,林下植被稀少,长期生长或多代连栽后导致林地土壤性质存在一定的极化(即土壤性质非平衡或极端化发展趋势)或退化危险^[2],加之人为樵伐、采药、放牧等活动的影响,进一步加剧了土壤退化的程度。所以,迫切需要开展该区森林土壤性质动态变化研究。

土壤团聚体是构成土壤结构的基本单元,是决定土壤肥力状况的重要因素^[3-5]。团聚体的大小分布及稳定性在维持土壤孔隙、调节土壤水气矛盾、促进植物根系生长和防治土壤侵蚀退化方面发挥着重要作用^[6-9]。土壤团聚体可分为大团聚体(粒径 $\geq 0.25\text{mm}$)和微团聚体(粒径 $\leq 0.25\text{mm}$),大团聚体是由土壤颗粒与腐殖质凝结而成的、近似球形的较疏松的多孔小土团^[10]。一般将大团聚体称为土壤团粒结构体,它是维持土壤结构稳定的基础,其含量越高,土壤结构的稳定性越大^[11-13]。土壤有机碳含量与土壤大团聚体的形成与稳定关系密切^[9,12]。研究表明,植被覆盖^[13]、土地利用方式^[9,14]及人类生产活动^[15-17]等都会影响土壤有机碳含量及分布,从而也会影响土壤大团聚体的数量和稳定性。Wuddivira^[18]、Candan^[19]等研究表明,土壤大团聚体对土地利用和管理的变化最为敏感,可以通过对土壤大团聚体含量及稳定性的研究来研究土壤结构特征。

目前,众研究者采用团聚体分形维数^[20]、团聚体平均重量直径(MWD)和几何平均直径(GMD)^[21]、团聚体水稳性指数^[22]等不同指标对林地土壤团聚体特性展开了研究,但主要集中在西南低山丘陵等林地^[23-25]、南方红壤低山、中山林地^[7,26]

以及黄土高原中部丘陵沟壑区林地^[27-28],针对黄土高原高海拔地带的代表性森林植被对土壤大团聚体含量及特性的影响研究还鲜见报道。为此,本研究选取庞泉沟自然保护区内4种典型森林土壤为对象,分析其土壤大团聚体含量及特性,以期更好地描述不同林地土壤结构状况,从而为该区林地资源的合理经营及以水源涵养和生态环境改善为主要经营目的的植被建设提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

庞泉沟国家级自然保护区,位于山西省西部吕梁山脉中段的关帝山林区($111^{\circ}21'—111^{\circ}37'E$, $37^{\circ}45'—37^{\circ}59'N$),海拔1500—2830m,山势险峻,自然植被茂盛,是山西吕梁山水源涵养林的主体和天然林保护的重点地区,是我国暖温带残存的天然林中少数保存完整的林区之一,该区也是山西生态环境的重要屏障。该区属暖温带大陆性山地气候区,年平均气温 4.3°C 。年平均降水量822.6mm,降雨多集中在7—9月份,该时段降水量为全年降水量的83%以上。同时该区也是山西省的暴雨多发区。

本研究区内优势乔木树种为华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、油松(*Pinus tabulaeformis*)、云杉(包括青杆(*Picea meyeri*)和白杆(*P. wilsonii*))辽东栎(*Quercus liaotungensis*)以及桦木(包括白桦(*Betula platyphlla*)和红桦(*B. albo-sinensis*)和山杨(*P. davidiana*)等,林相较为整齐,郁闭度0.6—0.7,林龄40—60年。灌木丛主要有沙棘(*Hippophae hamnoides*)、箭叶锦鸡儿(*Caragana jubata*)、绣线菊(*Spiraea salicifolia*)、山刺玫(*Rosa davurica*)等。草本主要有紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、鹿蹄草(*Pyrola rotundifolia*)、毛茛(*Ranunculus japonicus*)等。土壤类型从低海拔到高海拔依次为山地褐土、山地淋溶褐

土、山地棕壤和亚高山草甸土,林下灌草植被因乔木层林冠郁闭度的差异而不同。

本实验选取庞泉沟自然保护区内华北落叶松人工林、天然次生杨桦阔叶林、天然次生云杉-华北落叶松-杨桦针阔混交林(下文中简称针阔混交林)、人

工沙棘灌木林等 4 种典型林分,并在各林分内选取坡向、坡度、坡位基本一致的地段设立标准样地(20 m × 20 m),并选择在该区分布较多的撂荒地(2005 年弃耕)为对照,对各标准地土壤团聚体特性进行研究。各标准地基本特征见表 1。

表 1 标准地基本情况

Table 1 Basic situation of the sample plots

植被类型 Forest types	海拔 Altitude /m	坡度 Slope gradient/ (°)	坡向 Slope aspect	林木起源 forest origin	林龄 Forest age/a	林下灌草种类 Undergrowth planting species	郁闭度 Canopy density /%	枯落物厚度 Litter thickness /cm	枯落物干重 Dried litter weight/ (t/hm ²)
华北落叶松林	1780	17	半阴坡	人工林	34	* 忍冬、绣线菊、 苔草、鹿蹄草	75	3.3	28.75
杨桦阔叶林	1720	15	阴坡	天然次生林	55	黄刺玫、美蔷薇、柴 胡、早熟禾、鹿蹄草	70	2.6	22.78
针阔混交林	1800	16	阴坡	天然次生林	60	绣线菊、忍冬、莢迷、 糙苏、苔草、柴胡、 鹿蹄草	78	4.2	36.21
沙棘灌木林	1670	13	阴坡	人工林	32	黄刺玫、早熟禾、 苔草、鹿蹄草	75	1.8	7.62
撂荒地	1670	11	半阴坡	—	—	早熟禾、苔草、 马先蒿	—	—	—

* 忍冬 *Lonicera japonica*, 苔草 *Carex tristachya*, 黄刺玫 *Rosa xanthina*, 美蔷薇 *Rosa bella*, 早熟禾 *Poa annua*, 莢迷 *Viburnum dilatatum*, 糙苏 *Phlomis umbrosa*, 马先蒿 *Pedicularis* sp, 柴胡 *Bupleurum chinensis*, 绣线菊 *Spiraea salicifolia*, 鹿蹄草 *Pyrola rotundifolia*; 华北落叶松林地 *larix principis-rupprechtii* forestland, 杨桦阔叶林地 broad-leaved forestland of *P. davidiana* and *B. platyphlla*, 针阔混交林地 coniferous and broad-leaved mixed forestland, 沙棘灌木林地 *Larix principis-rupprechtii* forestland, 撂荒地 abandoned land

1.2 土壤样品的采集与处理

2012 年 6 月中旬,分别在华北落叶松林、杨桦阔叶林、针阔混交林、沙棘灌木林以及撂荒地的各标准样地内随机选取有代表性的 5 个采样点,画出 30cm × 30cm 的小样方,收集样方内所有枯落物,烘干称重计算枯落物蓄积量,并在每一小样方内用环刀采集

0—20cm 深原状土,测定土壤容重;同时用硬质塑料盒采集该深度原状土带回实验室处理,测定土壤团聚体;采集同一林分样地内 5 个采样点土样,混合,用四分法取该深度混合土样,测定土壤其它理化指标。各标准地土壤理化性质见表 2。

表 2 不同林地土壤理化性质

Table 2 Soil physical and chemical character of different forest stands

林地类型 Forest land types	华北落叶松林地*	杨桦阔叶林地	针阔混交林地	沙棘灌木林地	撂荒地
土壤容重 Soil bulk density/(g/cm ³)	1.23±0.12	1.18±0.14	1.14±0.08	1.36±0.19	1.43±0.11
有机碳 Soil organic carbon/(g/kg)	14.36±0.75	15.78±1.04	19.72±1.89	13.86±1.27	7.52±1.09
总氮 Total N/(g/kg)	1.01±0.09	1.42±0.06	1.79±0.05	1.75±0.09	0.86±0.04
C/N	14.22±0.05	11.11±0.03	11.02±0.04	8.40±0.02	8.70±0.03
粘粒 Clay particle/%	10.18±0.46	13.74±0.76	14.1±0.89	12.36±0.27	7.01±0.53
粉粒 Silt particle/%	33.48±1.42	33.59±1.30	32.64±1.05	36.26±1.92	36.01±1.11
砂粒 Sand particle/%	56.49±1.57	52.67±1.69	53.35±1.07	51.38±2.06	56.98±1.49
毛管孔隙度 Soil capillary porosity/%	39.98±1.78	40.65±2.01	41.35±1.37	37.29±1.62	35.78±1.92
通气孔隙度 Soil aeration porosity/%	13.6±0.38	14.81±0.74	15.62±0.47	11.39±0.98	10.26±0.48

表中数值为平均值±标准差

1.3 分析方法与数据处理

土壤机械组成测定采用比重计法;有机碳含量测定采用重铬酸钾氧化外加热法;毛管孔隙度测定采用环刀浸透法;风干团聚体含量测定采用沙维诺夫^[10]干筛法;水稳性团聚体含量采用 Yoder^[10]湿筛法。团聚体结构破坏率=[干筛(>0.25mm 团聚体)-湿筛(>0.25mm 团聚体)]/干筛(>0.25mm 团聚体)×100%;团聚体的平均重量直径(MWD)计算采用邱莉萍等^[21]推导的公式: $MWD = \sum X_i W_i (i = 0, 1, 2, \dots, n)$,式中 MWD 为团聚体平均重量直径, X_i 为每一级别团聚体的平均直径(mm), W_i 为每一级别团聚体的重量百分数。

采用 Excel 软件进行数据初期处理,使用 SPSS 13.0 进行多重比较及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同林地土壤风干大团聚体分布

通过干筛可获得土壤大团聚体总数,这些大团

聚体包括非水稳性团聚体和水稳性团聚体^[29]。不同粒级土壤团聚体含量反映团聚体的机械稳定性,即团聚体抵抗外力免被压碎或抵抗外部环境变化而保持原有形态的能力^[30]。从表 3 可知:不同林地与撂荒地比较,0—20cm 土层 0.25—10mm 粒径范围土壤大团聚体含量均表现出显著差异($P < 0.05$),针阔混交林、杨桦阔叶林、沙棘灌木林、华北落叶松林分别较撂荒地提高 45%、37%、25%、20%;除华北落叶松林和沙棘灌木林之间差异不显著外,其他林地间存在显著差异;针阔混交林的大团聚体含量最高,达到 93.10%,这表明,森林覆盖均对土壤结构有改善作用,均能提高土壤大团聚体含量,均能不同程度的增强土壤团聚体的机械稳定性,而其中针阔混交林的作用是最显著的。其土壤大团聚体含量由大到小顺序为针阔混交林>杨桦阔叶林>沙棘灌木林>华北落叶松林>撂荒地。

表 3 不同林地土壤大团聚体含量(干筛)

Table 3 Soil aggregate composition of different forest stands (dry-sieving) %

林分类型 Forest types	团聚体粒径 aggregate size classes/mm								
	> 10	10—7	7—5	5—3	3—2	2—1	1—0.5	0.5—0.25	0.25—10
华北落叶松林	3.19c	7.28b	15.13a	12.39b	11.4b	16.19a	8.59b	6.36b	77.34c
杨桦阔叶林	3.01c	6.41b	17.25a	10.42b	16.83a	13.76a	14.41a	8.84a	87.92b
针阔混交林	1.01d	12.56a	12.63b	17.27a	17.79a	14.54a	12.07a	7.24b	93.10a
沙棘灌木林	4.61b	10.58a	12.46b	13.29b	15.45a	13.63a	13.05a	7.17b	80.63c
撂荒地	5.38a	11.75a	12.56b	8.66b	8.31b	8.24b	8.03b	6.74b	64.29d

LSD 法检验,表中不同小写字母均表示植被类型间差异达显著水平

>0.25mm 的土壤团聚体粒径范围内,各粒级的组成比例在不同植被类型下表现出一定的差异性。和撂荒地相比,0.5—0.25mm 团聚体含量,杨桦阔叶林增加显著,其他植被增加不明显;1—0.5mm、3—2mm 团聚体含量,和撂荒地相比,除华北落叶松外,其他 3 种植被都增加明显;2—1mm、5—3mm 团聚体含量,4 种林地和撂荒地比较都有显著增加,但针阔混交林在 5—3mm 粒径范围内增加最为显著,比撂荒地增加 99%;7—5mm 团聚体含量,只有华北落叶松林地和杨桦阔叶林地较撂荒地有所增加,而针阔混交林地和沙棘灌木林地和撂荒地的含量相当;10—7mm 团聚体含量,针阔混交林地和撂荒地相当,而其他 3 种植被的含量反而低于撂荒地;>10mm 的团聚体含量在不同植被类型下表现出一定的差异

性,相对含量均较少,撂荒地最多且仅为 5.38%。综合分析土壤各粒径范围团聚体含量得出,植被覆盖更有利于增加 0.5—7mm 团聚体含量。

2.2 不同林地土壤水稳性大团聚体分布

湿筛法得到的是土壤水稳性团聚体,>0.25mm 水稳性大团聚体含量对保持土壤结构的稳定性有重要作用,同时也是衡量土壤抗侵蚀能力的指标之一^[27]。从表 4 可知,不同类型林地 0—20mm 土层 >0.25mm 水稳性团聚体含量均较高(49.92%—60.67%),和撂荒地相比差异都达到显著水平($P < 0.05$),这说明植被覆盖有利于土壤水稳性团聚体的形成。针阔混交林、杨桦阔叶林、沙棘灌木林、华北落叶松林地土壤中>0.25mm 水稳性大团聚体含量分别比撂荒地增加了 65%、53%、47%、36%。4 种林地

中>0.25mm 水稳性大团聚体含量除杨桦阔叶林和沙棘灌木林二者之间差异不显著外,其他各植被类型之间差异显著。在 4 种典型林地中,针阔混交林对

土壤水稳性大团聚体含量的增加作用最为显著,华北落叶松林的增加作用较差。

表 4 不同林地土壤水稳性大团聚体组成(湿筛)

Table 4 Water-stable aggregate composition of different forest stands (wet-sieving) %

林分类型 Forest types	团聚体粒径 aggregate size classes/mm					
	> 5	5—2	2—1	1—0.5	0.5—0.25	> 0.25
华北落叶松林	4.56b	8.68c	13.68b	12.65a	10.35a	49.92c
杨桦阔叶林	5.34b	9.59b	15.82b	15.74a	9.59a	56.08b
针阔混交林	7.79a	12.6a	18.29a	13.12a	8.9a	60.67a
沙棘灌木林	5.18b	10.47b	14.85b	14.63a	8.98a	54.11b
撂荒地	2.29c	8.07c	10.06c	8.43b	7.86b	36.71d

从>0.25mm 水稳性团聚体各粒级含量分析得出,和撂荒地相比,0.25—0.5mm 范围内,各林地和撂荒地土壤的水稳性大团聚体含量之间差异不显著,而各林地土壤在 0.5—1mm、1—2mm、2—5 mm、>5mm范围内水稳性大团聚体含量都显著增加($P<0.05$)。在总水稳性大团聚体含量方面,针阔混交林增加量最多,和其他林地间差异显著,其次是杨桦阔叶林和沙棘灌木林,这两种植被的增加量相当,增加最少的为华北落叶松林。说明植被覆盖更有利于提高土壤>0.5mm 水稳性大团聚体含量。

2.3 不同林地土壤团聚体稳定性比较

2.3.1 团聚体结构破坏率比较

如表 5 所示,4 种植被覆盖下 0—20cm 土层土壤团聚体破坏率为 56.77%—62.14%,均显著低于撂荒地($P<0.05$)。华北落叶松林与杨桦阔叶林之间和针阔混交林与沙棘灌木林之间差异不显著,而华北落叶松林、杨桦阔叶林分别与针阔混交林、沙棘灌木林之间差异显著,说明用团聚体结构破坏率评价,针阔混交林和沙棘灌木林的土壤团聚体稳定性最好,撂荒地的稳定性最差。

表 5 土壤团聚体稳定性指标

Table 5 Soil aggregates stability index

植被类型 Forest types	团聚体破坏率/% Soil aggregates breakage rate	平均重量直径 The mean weight diameter (MWD)/mm		MWD(干)- MWD(湿)/mm MWD(dry)- MWD(wet)	团聚体水稳性指数/% Soil aggregate water stability index
		干筛法	湿筛法		
		Dry-sieving	Wet-sieving		
华北落叶松林	61.32b	3.01b	0.86c	2.14b	27.84b
杨桦阔叶林	62.14b	3.04b	1.04b	2.00c	25.13b
针阔混交林	56.77c	3.30a	1.28a	2.02c	33.51a
沙棘灌木林	57.53c	3.16b	1.04b	2.12b	28.28b
撂荒地	89.78a	3.08b	0.71c	2.37a	10.73c

2.3.2 干筛平均重量直径(MWD 干)与湿筛平均重量直径(MWD 湿)的差值比较

用土壤团聚体平均重量直径(MWD)来作为反映土壤团聚体大小分布状况的综合指标。MWD 值越大,表示团聚体的平均粒径团聚度越高,稳定性越强^[6,31]。无论干筛还是湿筛不同林地及撂荒地 0—20cm 土层土壤团聚体 MWD 的变化规律都有一定的相似性,针阔混交林最大且与其他植被间差异显著。干筛后 MWD 除针阔混交林外其他类型间无显著差

异;而湿筛得出 MWD 大小变化为:针阔混交林>杨桦阔叶林=沙棘灌木林>华北落叶松>撂荒地,且杨桦阔叶林与华北落叶松林和撂荒地之间都存在显著差异。

为了更充分说明不同植被类型对土壤团聚体稳定性的影响,用干筛与湿筛测得的团聚体平均重量直径(MWD)的差值来说明土壤结构稳定性强弱,差值越大,说明稳定性越差^[10]。不同植被类型间干筛、湿筛土壤团聚体 MWD 差值由小到大顺序为:杨

桦阔叶林(2.00)<针阔混交林(2.02)<沙棘灌木林(2.12)<华北落叶松(2.14)<撂荒地(2.37),4种植被类型与撂荒地之间有显著差异,而杨桦阔叶林与针阔混交林之间以及沙棘灌木林与华北落叶松之间无显著差异。说明用这一指标比较,针阔混交林与杨桦阔叶林地土壤团聚体稳定性最好,撂荒地最差。

2.3.3 团聚体水稳性指数比较

分别取不同样地 0—20cm 土层 3—5mm 风干团聚体 50 粒用浸水崩解法^[10]测定土壤团聚体水稳性指数,水稳性指数越大,说明土壤团聚体在水的浸泡下破碎所用时间越长,团聚体水稳定性越好。从表 5 可看出,针阔混交林的水稳性最大(33.51%),撂荒地最小(10.73%),针阔混交林较撂荒地增加了 212%;土壤水稳性指数在针阔混交林和其他 3 种林地之间以及各林地和撂荒地之间差异显著($P<0.05$),可见,针阔混交林比纯林更能提高土壤团聚

体的水稳性;华北落叶松、杨桦阔叶林和沙棘灌木林之间差异不显著,但较撂荒地均有显著提高,其水稳性指数分别比撂荒地提高 159%、134%、163%,说明了森林植被覆盖对土壤结构改善的重要意义。

2.4 土壤团聚体各稳定性指标及土壤理化性质间相关性分析

相关分析表明(表 6),土壤有机碳含量与风干 0.25—10mm 大团聚体含量和>0.25mm 水稳性大团聚体含量之间呈极显著正相关($P<0.01$),与团聚体水稳性指数呈显著正相关关系($P<0.05$),这说明有机质含量越多,风干 0.25—10mm 大团聚体含量和>0.25mm 水稳性大团聚体含量越多,水稳性指数也越高,团聚体越稳定。有机碳含量与团聚体破坏率之间以及与 MWD(干)和 MWD(湿)的差值间呈显著负相关关系($P<0.05$),说明了有机碳含量越多,这两种稳定性指标数值越低,团聚体越稳定。

表 6 团聚体稳定性指标与土壤理化性质间的相关性

Table 6 Correlations between soil aggregates stability index and soil physical and chemical character

	0.25—10mm 大团聚体(干筛) Soil aggregates (dry-sieving)	> 0.25mm 水稳性 大团聚体 water- stable aggregates	团聚体破坏率 Soil aggregates breakage rate	MWD 干-MWD 湿 MWD(干)- MWD(湿)	团聚体 水稳性指数 Soil aggregate water stability index
土壤容重 Soil bulk density	-0.88 *	-0.82	0.71	0.87 *	-0.76
有机碳 Soil organic carbon	0.97 **	0.97 **	-0.88 *	-0.93 *	0.94 *
总氮 Total N	0.81	0.86	-0.76	-0.73	0.76
C/N	0.38	0.39	-0.50	-0.48	0.53
粘粒 Clay particle	0.98 **	0.98 **	-0.87 *	-0.97 **	0.85
粉粒 Silt particle	-0.71	-0.63	0.51	0.68	-0.62
砂粒 Sand particle	-0.69	-0.75	0.69	0.70	-0.59
毛管孔隙度 Soil capillary porosity	0.87 *	0.82	-0.73	-0.87 *	0.78
通气孔隙度 Soil aeration porosity	0.89 *	0.82	-0.68	-0.87 *	0.75

* * 为 0.01 水平上极显著相关, * 为 0.05 水平上显著相关

土壤粘粒含量与风干 0.25—10mm 大团聚体含量和>0.25mm 水稳性大团聚体含量之间呈极显著正相关关系($P<0.01$),与团聚体水稳性指数呈显著正相关关系($P<0.05$),与 MWD(干)和 MWD(湿)的差值间呈极显著负相关关系,与团聚体破坏率呈显著负相关关系($P<0.05$)。说明对于山地褐土或山地淋溶褐土而言,土壤粘粒含量越多越有利于团聚体的形成,所形成的团聚体的稳定性也越强。

土壤容重与风干 0.25—10mm 大团聚体含量之间显著负相关,与 MWD(干)和 MWD(湿)的差值间显著正相关,土壤毛管孔隙度和非毛管孔隙度与风

干 0.25—10mm 大团聚体含量之间呈显著正相关,与 MWD(干)和 MWD(湿)的差值间显著负相关($P<0.05$),这说明了土壤容重和孔隙度对团聚体的形成和稳定也有一定的影响,对于林地土壤而言,一般情况下人为扰动较少,所以要通过恰当管理措施来调节土壤容重,增加土壤的孔隙度,促进土壤稳定性团聚体的形成。

从表 6 还可看出,土壤全氮、土壤 C/N 以及土壤粉粒和砂粒含量等土壤理化指标与土壤团聚体含量及稳定性指标间也存在一定的相关性,但相关性都不显著($P<0.05$)。

3 讨论

本试验所选样地中,由于各种植被类型发达的根系和凋落物腐殖化增加了其覆盖下的土壤有机质含量,使土壤胶体状况改善而增大了土壤颗粒之间的胶结,形成了较多的大团聚体和结构稳定、比例适合的水稳性团聚体^[32-33],从而使土壤 MWD 和水稳性指数较大,团聚体结构破坏率较小,大大改善了土壤结构。

针阔混交林林型复杂,林下又有较多灌木和草本覆盖,土壤表层根系发达,枯落物输入量多,土壤有机碳、总氮和微生物总量较高^[34],土壤有机物质的分解和转化较快^[35];另外,针阔混交林下土壤容重、粘粒含量及其孔隙性等方面(表 2)也利于土壤良好结构体的形成,因此针阔混交林在增加具有水稳定性和机械稳定性的土壤大团聚体含量方面有明显的优势。

在 4 种林地土壤中,华北落叶松林土壤大团聚体含量最少,主要是由于华北落叶松人工林样地郁闭度较高,林下植被主要以一些耐阴的草本为主,林型相对单一,地表枯落物输入量少且多含难以分解的木质素、单宁、树脂和蜡质等物质,使得该植被类型下的土壤有机碳和总氮含量较少且分解转化较慢^[36],不利于较多水稳性团聚体和非水稳性团聚体的形成。

杨桦阔叶林郁闭度较小,虽然林地枯落物量和华北落叶松人工林相比较少,但其林下灌草植被丰富,植物根系分布较多,土壤有机质的总归还量较大,并且杨桦阔叶林地土壤有机残体较华北落叶松林易于分解转化,致使土壤中的腐殖质含量较多^[37],所以杨桦阔叶林地土壤大团聚体含量较华北落叶松林多且团聚体的稳定性也较强。

沙棘灌木林地和其他林地相比较,在同等郁闭度下虽然其枯落物量最少,但其表层土壤内根系分布较多,根系腐烂物和分泌物较多,且其根系有很好的固氮作用,能对土壤起到很好的改良作用^[38],所以和撂荒地相比能大大增加土壤大团聚体的含量及稳定性。

4 结论

(1) 林地土壤 0—20cm 土层内干筛>0.25mm 大

团聚体含量和湿筛>0.25mm 水稳性大团聚体含量都显著高于撂荒地,这与谢锦升^[7]在退化红壤地的研究结果一致:恢复植被后大团聚体稳定性显著增加,>0.25mm 水稳性团聚体含量是裸地的 1.5—2.8 倍。干筛分析表明:植被覆盖更有利于增加 0.5—7mm 团聚体含量;湿筛分析结果表明:植被覆盖更有利于提高>0.5mm 水稳性大团聚体的含量。不同林地土壤间有一定的差异,其大团聚体含量大小顺序为:针阔混交林>杨桦阔叶林>沙棘灌木林>华北落叶松林>撂荒地。

(2) 和撂荒地相比,林地土壤团聚体的稳定性显著增强,与郭曼^[28]、董莉丽^[39]在黄土高原中部丘陵区的研究相一致。根据团聚体破坏率和土壤团聚体水稳性指数比较,土壤团聚体稳定性顺序为:针阔混交林>沙棘灌木林>华北落叶松林>杨桦阔叶林>撂荒地。根据干湿筛团聚体 MWD 差值分析,土壤团聚体稳定性顺序为:杨桦阔叶林>针阔混交林>沙棘灌木林>华北落叶松林>撂荒地。相关分析表明:土壤团聚体破坏率与 MWD(干)和 MWD(湿)的差值间呈显著正相关关系($r = 0.89, P < 0.05$),与土壤团聚体水稳性指数间存在极显著负相关关系($r = -0.97, P < 0.01$),说明这 3 个指标可以作为衡量土壤团聚体稳定性的重要指标。

(3) 相关分析表明,土壤有机碳含量与干、湿筛土壤大团聚体含量之间是极显著正相关关系($P < 0.01$),这与董莉丽^[9]、韩加强^[12]的研究结果相一致。粘粒含量与干、湿筛土壤大团聚体含量之间是极显著正相关关系($P < 0.01$),与 MWD(干)和 MWD(湿)的差值之间是极显著负相关关系($P < 0.01$)。其次,土壤容重、土壤通气孔隙和毛管孔隙也显著地影响着土壤 0.25—10mm 大团聚体含量及其 MWD(干)和 MWD(湿)的差值($P < 0.05$)。本试验中土壤全氮、土壤 C/N 以及土壤粉粒和砂粒等土壤理化指标对土壤团聚体性质也有一定的影响,但通过检验($P < 0.05$)不具有显著相关性。

本文主要就庞泉沟自然保护区内典型森林土壤大团聚体特征进行了研究。在研究过程中,并未对该区域内植被的林分起源、林龄、郁闭度等因素对土壤结构的影响进行考虑,尚需在今后的研究过程中进行长期的观测研究,以期深入探寻不同植被类型对土壤结构的影响,并对不同类型植被对土壤结构

的改良作用做更全面的评价。

References:

- [1] Zhang L Z, Niu W, Guo J P, Zhang Y X. Relationship of soil nutrients with the regeneration of cold temperate coniferous forest in the Guandishan mountain. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(7): 1329-1334.
- [2] Liu Z W, Shi T F, Yang S H, Pan D L, Li Z Q, Luo W. Effects of use broad-leaved tree litters to control polarization of soil under stands of conifer in gullied loess plateau. *Acta Pedologica Sinica*, 2012, 49(3): 445-452.
- [3] Sun X Y. *Soil Science*. Beijing: China Forestry Publishing House, 2004: 124-131.
- [4] Bearden B N, Petersen L. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on soil structure and aggregate stability of vertisols. *Plant and Soil*, 2000, 218: 173-183.
- [5] Lal R. Physical management of soils of the tropics: priorities for the 21st century. *Soil Science*, 2000, 165: 191-207.
- [6] Yan R P, Guo X S, Lv J F, Hou H Z, Guo T W. Affects of distribution and stability on soil aggregate in different patterns of tillage and cropping. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(1): 252-256.
- [7] Xie J S, Yang Y S, Chen G S, Zhu J M, Zeng H D, Yang Z J. Effects of vegetation restoration on water stability and organic carbon distribution in aggregates of degraded red soil in subtropics of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 702-709.
- [8] Wang X Y, Gao X F, Liu H P, Lu B J. Review of analytical methods for aggregate size distribution and water-stability of soil macro-aggregates. *Science of Soil and Water Conservation*, 2011, 9(3): 106-113.
- [9] Dong L L. Characteristics of soil water stable aggregates under different land-use types. *Scientia Silvae Sinicae*, 2011, 47(4): 95-100.
- [10] Yi Y L. *Soil physic research methods*. Beijing: Peking University Press, 2009: 55-70.
- [11] Dingy W F, Ding D S. The fractal features of soil granule structure before and after vegetation destruction on Loess Plateau. *Geographical Research*, 2002, 21(6): 700-706.
- [12] Han J Q, Gao X F, Lu B J, Tan X, Wang W, Niu J L. Research on the influence of measures of soil and water conservation on the water-stable macroaggregates in cinnamon soil. *Research of Soil and Water Conservation*, 2012, 19(6): 50-53.
- [13] Peng X H, Zhang B, Zhao Q G. Effect of soil organic carbon on aggregate stability after vegetative restoration on severely eroded red soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(10): 2177-2183.
- [14] Yang C M, Ou Y Z, Yang L Z, Dong Y H. Organic carbon fractions and aggregate stability in an aquatic soil as influenced by agricultural land uses in the Northern China Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 4148-4154.
- [15] Zhang X C, Zheng F L, Wang B, An J. The relationships between aggregate water stability and soil organic matter of slope land with different reclamation years in black soil region. *Journal of Shanxi Normal University (Natural Science Edition)*, 2011, 39(5): 90-95.
- [16] Wang J K, Leng Y H, Yu S, Li S Y, Chen L F. Effect of SOC pool on aggregate stability in brown earth under different fertilizations. *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, 40(1): 77-80.
- [17] Zhang Y, He B H, Wang R X, Guo Z M, Tang B Z. Effects of across-and along-slope ploughs on soil aggregate stability. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(2): 192-198.
- [18] Wuddivira M N, Stone R J, Ekwue E I. Structural stability of humid tropical soils as influenced by manure incorporation and incubation duration. *Soil Science Society of America Journals*, 2009, 73(4): 1353-1360.
- [19] Candan F, Broquen P. Aggregate stability and related properties in NW Patagonian Andisols. *Geoderma*, 2009, 154: 42-47.
- [20] Yang P L, Luo Y P, Shi Y C. Soil fractal character token by particle mass distribution. *Chinese Science Bulletin*, 1993, 38(20): 1896-1899.
- [21] Qiu L P, Zhang X C, Zhang J A. Distribution of nutrients and enzymes in Loess Plateau soil aggregates after long-term fertilization. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(2): 364-372.
- [22] Duan E J, Yu Q. Comparison of soil aggregates characteristics in different tree species forests in semi-humid hilly region, central loess plateau. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(21): 11355-11358.
- [23] Chu X Y, Wang Y J, Liu N, Qi N, Yang X M, Shen Y K. Micro-aggregates characteristics analysis in the soil of typical forests in Jinyun Mountain in Chongqing city. *Chinese Journal of Soil Science*, 2009, 40(6): 1240-1243.
- [24] Lv W X, Zhang H J, Wang W, Du S C, Wu Y H, He P, Xiao L. Characteristics of soil aggregates in different forestlands in Simian Mountains, Chongqing. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(4): 192-195.
- [25] Gong W, Hu T X, Wang J Y, Gong Y B, Ran H, Zhang S R, Liao E H. Fractal features of soil microaggregates in soils under natural and regenerated evergreen broadleaved forests in south Sichuan Province. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(3): 571-575.
- [26] Li L, Liang Y L, Zhang Y, Jiang H H, Cheng J H, Zhou Y, Yu J A. Fractal characteristics of soil aggregate structure under typical forests in Jiuqu Stream ecological conservation area. *Journal of Southwest Forestry University*, 2012, 32(5): 1-7.
- [27] Ma R P, Liu L, An S S, Dang T H. Soil organic carbon and its fractions in aggregates under different plant communities in the hill-gully region of the Loess Plateau. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2013, 21(3): 324-332.
- [28] Guo M, Zheng F L, An S S, Liu Y, Wang B, Frederic Darboux. Application of Le Bissonnais method to study soil aggregate stability in the Hilly-gully region. *Science of Soil and Water Conservation*, 2010, 8(2): 68-73.
- [29] Zhou H, Lv Y Z, Yang Z C, Li B G. Effects of conservation tillage on soil aggregates in Huabei Plain, China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(9): 1973-1979.
- [30] Sun Y, Wang Y Q, Liu J, Xia F S, Wang J G, Li J B. Effects of solar greenhouse vegetable cultivation on soil aggregates stability-a case study of solar greenhouse soil in Jingyang County Shanxi province. *Acta Pedologica Sinica*, 2011, 48(1): 168-172.
- [31] Nimmo J R, Perkins K S. Aggregates stability and size distribution//In *Methods of Soil Analysis: Part 4-Physical Methods*. Wisconsin, USA: Soil Science Society of America, Madison, Inc., 2002: 317-328.

- [32] Albiach R, Canet R, Pomares F. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticulture soil. *Bioresource Technology*, 2001, 76(2): 125-129.
- [33] Whalley W R, Dumitru E, Dexter A R. Biological effects of soil compaction. *Soil and Tillage Research*, 1995, 35(1/2): 53-68.
- [34] Zhao X, Li J J, Li H J. Effects of vegetation restoration type on soil carbon, nitrogen and microbial quantity in Guandi Mountain. *Cheese Journal of Ecology*, 2010, 29(11): 2102-2110.
- [35] Yang X Q, Han Y Z. Spatial variations of soil organic carbon and nitrogen of forestland in Guandi mountain. *Forest Research*, 2011, 24(2): 223-229.
- [36] Lei R D, Dang K L, Zhang S X, Tan F L. Effect of a *Larix principis-rupprechtii* forest plantation on soil in middle zone of south-facing slope of the Qinling Mountains. *Scientia Silvae Sinicae*, 1997, 33(5): 463-469.
- [37] Shao F L, Yu X X, Yang Z J, Wang H N. Spatial heterogeneity of topsoil moisture and litter lay in natural *Populus davidiana*-*Betula platyphylla* secondary forests. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 26(3): 199-204.
- [38] Yang X T, Ning G H, Dong H Y, Li Y. Soil microbial characters under different vegetation communities in Taihang Mountain Area. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(9): 1761-1764.
- [39] Dong L L, Zheng F L, Qin R J. Study on effects of different vegetation types on soil aggregate water stability based on LB method. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2010, 28(2): 191-196.
- 参考文献:
- [1] 张丽珍, 牛伟, 郭晋平, 张云香. 关帝山寒温性针叶林土壤营养状况与林下更新关系研究. *西北植物学报*, 2005, 25(7): 1329-1334.
- [2] 刘增文, 时腾飞, 杨森浩, 潘岱立, 李卓青, 罗伟. 黄土残源沟壑区利用阔叶树种枯落叶对针叶林土壤极化的防治效应. *土壤学报*, 2012, 49(3): 445-452.
- [3] 孙向阳. *土壤学*. 北京: 中国林业出版社, 2004: 124-131.
- [6] 杨如萍, 郭贤仕, 吕军锋, 侯慧芝, 郭天文. 不同耕作和种植模式对土壤团聚体分布及稳定性的影响. *水土保持学报*, 2010, 24(1): 252-256.
- [7] 谢锦升, 杨玉盛, 陈光水, 朱锦懋, 曾宏达, 杨智杰. 植被恢复对退化红壤团聚体稳定性及碳分布的影响. *生态学报*, 2008, 28(2): 702-709.
- [8] 王秀颖, 高晓飞, 刘和平, 路炳军. 土壤水稳性大团聚体测定方法综述. *中国水土保持科学*, 2011, 9(3): 106-113.
- [9] 董莉丽. 不同土地利用类型下土壤水稳性团聚体的特征. *林业科学*, 2011, 47(4): 95-100.
- [10] 依艳丽. *土壤物理研究法*. 北京: 北京大学出版社, 2009: 55-70.
- [11] 丁文峰, 丁登山. 黄土高原植被破坏前后土壤团粒结构分形特征. *地理研究*, 2002, 21(6): 700-706.
- [12] 韩加强, 高晓飞, 路炳军, 谭欣, 王维, 牛建利. 水保措施对褐土水稳性大团聚体的影响研究. *水土保持研究*, 2012, 19(6): 50-53.
- [13] 彭新华, 张斌, 赵其国. 红壤侵蚀裸地植被恢复及土壤有机碳对团聚体稳定性的影响. *生态学报*, 2003, 23(10): 2177-2183.
- [14] 杨长明, 欧阳竹, 杨林章, 董玉红. 农业土地利用方式对华北平原土壤有机碳组分和团聚体稳定性的影响. *生态学报*, 2006, 26(12): 4148-4154.
- [15] 张孝存, 郑粉莉, 王彬, 安娟. 不同开垦年限黑土区坡耕地土壤团聚体稳定性与有机质关系. *陕西师范大学学报(自然科学版)*, 2011, 39(5): 90-95.
- [16] 汪景宽, 冷延慧, 于树, 李双异, 陈丽芳. 不同施肥处理下棕壤有机碳库对团聚体稳定性的影响. *土壤通报*, 2009, 40(1): 77-80.
- [17] 张怡, 何丙辉, 王仁新, 郭志敏, 唐柄哲. 横坡和顺坡耕作对紫色土土壤团聚体稳定性的影响. *中国生态农业学报*, 2013, 21(2): 192-198.
- [20] 杨培岭, 罗远培, 石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征. *科学通报*, 1993, 38(20): 1896-1899.
- [21] 邱莉萍, 张兴昌, 张晋爱. 黄土高原长期培肥土壤团聚体中养分和酶的分布. *生态学报*, 2006, 26(2): 364-372.
- [22] 段而军, 于清. 黄土高原中部半湿润丘陵区不同树种林地土壤团聚特征的比较. *安徽农业科学*, 2010, 38(21): 11355-11358.
- [23] 储小院, 王玉杰, 刘楠, 齐娜, 杨小梅, 申彦科. 重庆缙云山典型林分林地土壤微团聚体特征分析. *土壤通报*, 2009, 40(6): 1240-1243.
- [24] 吕文星, 张洪江, 王伟, 杜士才, 吴煜禾, 何萍, 肖莉. 重庆四面山不同林地土壤团聚体特征. *水土保持学报*, 2010, 24(4): 192-195.
- [25] 龚伟, 胡庭兴, 景燕, 宫渊波, 冉华, 张世熔, 廖尔华. 川南天然常绿阔叶林人工更新后土壤微团聚体分形特征研究. *土壤学报*, 2007, 44(3): 571-575.
- [26] 李灵, 梁彦兰, 张玉, 江慧华, 陈家晖, 周艳, 俞建安. 九曲溪生态保护区不同林地土壤团聚体分形特征. *西南林业大学学报*, 2012, 32(5): 1-7.
- [27] 马瑞萍, 刘雷, 安韶山, 党廷辉. 黄土丘陵区不同植被群落土壤团聚体有机碳及其组分的分布. *中国生态农业学报*, 2013, 21(3): 324-332.
- [28] 郭曼, 郑粉莉, 安韶山, 刘雨, 王彬, Frederic Darboux. 应用 Le Bissonnais 法研究黄土丘陵区土壤团聚体稳定性. *中国水土保持科学*, 2010, 8(2): 68-73.
- [29] 周虎, 吕贻忠, 杨志臣, 李保国. 保护性耕作对华北平原土壤团聚体特征的影响. *中国农业科学*, 2007, 40(9): 1973-1979.
- [30] 孙艳, 王益权, 刘军, 夏发生, 王金贵, 李建波. 日光温室蔬菜栽培对土壤团聚体稳定性的影响-以陕西省泾阳县日光温室土壤为例. *土壤学报*, 2011, 48(1): 168-172.
- [34] 赵溪, 李君剑, 李洪建. 关帝山不同植被恢复类型对土壤碳、氮含量及微生物数量的影响. *生态学杂志*, 2010, 29(11): 2102-2110.
- [35] 杨秀清, 韩有志. 关帝山森林土壤有机碳和氮素的空间变异特征. *林业科学研究*, 2011, 24(2): 223-229.
- [36] 雷瑞德, 党坤良, 张硕新, 谭芳林. 秦岭南坡中山地带华北落叶松人工林对土壤的影响. *林业科学*, 1997, 33(5): 463-469.
- [37] 邵方丽, 余新晓, 杨志坚, 王贺年. 天然杨桦次生林表层土壤水分与枯落物的空间异质性. *水土保持学报*, 2012, 26(3): 199-204.
- [38] 杨喜田, 宁国华, 董惠英, 李有. 太行山区不同植被群落土壤微生物学特征变化. *应用生态学报*, 2006, 17(9): 1761-1764.
- [39] 董莉丽, 郑粉莉, 秦瑞杰. 基于 LB 法不同植被类型下土壤团聚体水稳性研究. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(2): 191-196.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.7 Apr., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The 5000-year climate change of northeastern Qinghai-Tibetan Plateau and historical ecology of Zoige wetlands HE Yixin, WU Ning, ZHU Qiu'an, et al (1615)
- Altitudinal distribution rule of *Picea schrenkiana* forest's soil organic carbon and its influencing factors Aminem ELI, CHANG Shunli, ZHANG Yutao, et al (1626)

Autecology & Fundamentals

- Daily stem radial variation of *Pinus koraiensis* and its response to meteorological parameters in Xiaoxing'an mountain LI Xinghuan, LIU Ruipeng, MAO Zijun, et al (1635)
- Effects of logging residues on surface soil biochemical properties and enzymatic activity WU Bobo, GUO Jianfen, WU Junjun, et al (1645)
- Characteristics of soil macroaggregates under typical forests in Pangquangou Nature Reserve BAI Xiumei, HAN Youzhi, GUO Hanqing (1654)
- Modeling tree crown structure of Simao pine (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*) natural forest OU Guanglong, XIAO Yifa, WANG Junfeng, et al (1663)
- Influence of magnesium deficiency and excess on chlorophyll fluorescence characteristics of Newhall navel orange leaves LING Lili, HUANG Yi, PENG Liangzhi, et al (1672)
- Seed foraging and dispersal of Chinese yew (*Taxus chinensis* var. *mairei*) by frugivorous birds within patchy habitats LI Ning, WANG Zheng, LU Changhu, et al (1681)
- Interactions between heavy metal lead and two freshwater algae LIU Lu, YAN Hao, LI Cheng, et al (1690)
- Annual variations of the primary productivity and its size-fractioned structure in culture ponds of *Apostichopus japonicus* Selenka JIANG Senhao, ZHOU Yibing, TANG Boping, et al (1698)
- Growth and photosynthetic activity of *Microcystis* colonies after gut passage through silver carp and bighead carp WANG Yinping, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (1707)
- Contents of two coumarins in *Ipomoea cairica* and their effects on *Pomacea canaliculata*, *Orzya sativa*, and *Echinochloa crusgalli* YOU Changyan, YANG Yu, HU Fei, et al (1716)

Population, Community and Ecosystem

- Population and habitat status of Asian elephants (*Elephas maximus*) in Mengla Sub-reserve of Xishuangbanna National Nature Reserve, Yunnan of China LIN Liu, JIN Yanfei, CHEN Dekun, et al (1725)
- Seasonal changes of functional guilds of fish community in Laizhou Bay, East China LI Fan, XU Bingqing, MA Yuanqing, et al (1736)
- Effect of long-term fertilization pattern on weed community diversity in wheat field JIANG Min, SHEN Mingxing, SHEN Xinpeng, et al (1746)
- Ecological process of water transformation in furrow and ridge mulching system in oat field under extreme drought scenario ZHOU Hong, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (1757)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Simulations and analysis on the effects of landscape pattern change on flood and low flow based on SWAT model LIN Bingqing, CHEN Xingwei, CHEN Ying, et al (1772)
- Phenological variation of alpine grasses (Gramineae) in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China during the last 20 years XU Weixin, XIN Yuanchun, ZHANG Juan, et al (1781)
- Landscape aesthetics in different areas of Lijiang City GUO Xianhua, ZHAO Qianjun, CUI Shenghui, et al (1794)
- Temporal and spatial pattern of *Scenedesmus* in the river web of the Pearl River Delta, China WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (1800)

- Spatiotemporal dynamics of bacterial abundance and related environmental parameters in Lake Bosten WANG Bowen, TANG Xiangming, GAO Guang, et al (1812)
- Scale domain recognition for land use spatial fractal feature based on genetic algorithm WU Hao, LI Yan, SHI Wenzhong, et al (1822)
- Relationships of stable carbon isotope of *Abies faxoniana* tree-rings to climate in sub-alpine forest in Western Sichuan JIN Xiang, XU Qing, LIU Shirong, et al (1831)
- An exploratory spatial data analysis-based investigation of the hot spots and variability of *Ommastrephes bartramii* fishery resources in the northwestern Pacific Ocean FENG Yongjiu, CHEN Xinjun, YANG Mingxia, et al (1841)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Spatial differentiation research of non-use value WTP based on the residents' ecological cognition: taking the sanjiang plain as a case GAO Qin, AO Changlin, CHEN Hongguang, et al (1851)
- Contamination characteristics in surface water and coastal groundwater of Hunhe River CUI Jian, DU Jizhong, WANG Xiaoguang (1860)
- Social ecological system and vulnerability driving mechanism analysis YU Zhongyuan, LI Bo, ZHANG Xinshi (1870)
- Research Notes**
- Effects of iso-osmotic $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and NaCl stress on growth and physiological characteristics of cucumber seedlings ZHOU Heng, GUO Shirong, SHAO Huijuan, et al (1880)
- View Point**
- The discussion about the designation and content of ecological conservation and construction SHEN Guofang (1891)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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,280 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

本期责任副主编 魏辅文

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 34 卷 第 7 期 (2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 7 (April, 2014)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	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 90.00 元