

网络出版时间:2017-11-29 09:24

DOI:10.13207/j.cnki.jnwfufu.2018.01.016

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.s.20171129.0924.032.html>

# 西藏尼洋河流域下游 5 种典型土地利用方式 土壤物理性质差异分析

梁 博<sup>a,b</sup>, 聂晓刚<sup>a,b</sup>, 杨东升<sup>a,b</sup>, 万 丹<sup>a,b</sup>, 方江平<sup>c</sup>, 赵 薇<sup>a</sup>

(西藏农牧学院 a 资源与环境学院, b 高寒水保研究中心, c 研究生处, 西藏 林芝 860000)

**【摘要】**【目的】探明西藏尼洋河流域下游不同土地利用方式对土壤物理性质的影响, 为该地区水土流失治理提供理论依据。【方法】在尼洋河下游河谷地带, 采集天然林地、人工林地、河滩林地、农耕地、草地 5 种典型土地利用方式, 选取每个样点 0~15, 15~30 cm 土层样品, 测定土壤体积质量, 孔隙度(总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度), 含水率(饱和含水率、毛管含水率), 田间持水率, 渗透性(初始渗透速率、稳定渗透速率、平均渗透速率), 并对各指标的相互关系进行了分析。【结果】不同土地利用方式土壤体积质量、孔隙度、持水性能有明显差异, 土壤体积质量表现为 0~15 cm 土层 < 15~30 cm 土层, 人工林地(1.51 g/cm<sup>3</sup>) > 农耕地(1.40 g/cm<sup>3</sup>) > 草地(1.16 g/cm<sup>3</sup>) > 河滩林地(1.12 g/cm<sup>3</sup>) > 天然林地(0.92 g/cm<sup>3</sup>)。天然林地土壤总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度均明显大于其他土地利用方式, 且土壤体积质量与土壤总孔隙度呈显著负相关关系。天然林地饱和含水率、毛管含水率均极显著大于其余土地利用方式。除河滩林地外, 其余土地利用方式下土壤饱和含水率、毛管含水率随土层深度增加呈减小趋势。土壤饱和含水率、毛管含水率、田间持水率与土壤体积质量呈显著性负相关关系, 与总孔隙度呈显著正相关关系。各土地利用方式下土壤渗透性存在一定差异, 但大多差异未达显著水平, 具体表现为: 天然林地 > 河滩林地 > 农耕地 > 人工林地 > 草地。除草地外, 其余 4 种土地利用方式下渗透性均随土层深度增加而增强。【结论】不同土地利用方式对土壤物理性质影响有差异, 其中天然林地土壤物理性质最优, 人工林地较差, 在进行土地利用时应减少人为干扰强度, 避免对自然植被产生破坏。

**【关键词】** 土地利用方式; 土壤体积质量; 土壤孔隙度; 土壤持水性; 渗透性

**【中图分类号】** S152

**【文献标志码】** A

**【文章编号】** 1671-9387(2018)01-0119-10

## Differences in soil physical properties of 5 typical land use types in downstream of the Niyang River in Tibet

LIANG Bo<sup>a,b</sup>, NIE Xiaogang<sup>a,b</sup>, YANG Dongsheng<sup>a,b</sup>, WAN Dan<sup>a,b</sup>,  
FANG Jiangping<sup>c</sup>, ZHAO Wei<sup>a</sup>

(a College of Resources and Environment, b Alpine-cold Region Water and Soil Conservation Research Center, c Graduate Student Department, Xizang Agriculture and Animal Husbandry College, Linzhi, Tibet 860000, China)

**Abstract:** 【Objective】 This study focused on ascertaining the influences of land uses on soil physical properties to provide theoretical foundation for conservation of water and soil in downstream of the Niyang River Valley. 【Method】 Properties such as soil bulk density, porosity, moisture content, field capacity, and permeability of soil samples collected at different depths of 0—15 cm and 15—30 cm in natural woodland, artificial forest, valley forest, farming land and grass land, in downstream of the Niyang River Valley were determined and the relationships between them were analyzed. 【Result】 Soil volume-weights, porosities and

**【收稿日期】** 2016-11-22

**【基金项目】** 国家自然科学基金项目(41461063)

**【作者简介】** 梁 博(1991—), 男, 陕西韩城人, 在读硕士, 主要从事高寒区土壤抗蚀性评价研究。E-mail: qq88aa@yeah.net

**【通信作者】** 万 丹(1981—), 女, 四川内江人, 副教授, 主要从事高寒区土壤侵蚀机理及其恢复研究。E-mail: wandan9250@126.com

field capacities of water varied significantly for different land uses. Soil volume-weights in 0—15 cm were larger than that in 15—30 cm. Soil volume-weights in artificial forest, farming land, grass land, and valley forest were 1.51, 1.40, 1.16, 1.12, and 0.92 g/cm<sup>3</sup>, respectively. The total porosity, capillary porosity, and non-capillary porosity in natural forest were generally larger than those in other land uses. The soil volume-weight had negative correlation with porosity. The field capacities of soil water, saturated water content, and capillary moisture content had negative correlation with soil volume-weight, and positive correlation with total porosity. Saturated water content and capillary moisture content in natural forest were significantly larger than those in other land uses. Except for valley forest, saturated water content and capillary moisture content showed decreasing trends as the increase of soil depth. The permeability in different land uses showed insignificant differences, and it had a decreasing order of natural forest > valley forest > farm land > artificial forest > grass land. Except for grass land, the permeability in other land uses had positive correlation with depth of soil layer. 【Conclusion】 Different land uses had significant influences on soil physical properties. The soil physical properties were best in natural forest and worst in artificial forest. Therefore, human disturbance should be limited and destructions on natural vegetation should be avoided when using land.

**Key words:** the pattern of land use; soil volume-weight; soil porosity; soil water holding capacity; permeability

土壤体积质量、孔隙度、水分特性等是土壤最基本、最重要的物理因子指标<sup>[1-2]</sup>,也是土壤抗蚀性评价的基础。但由于土壤性质的空间异质性,使土壤物理性质各指标在空间分布上各有差异,特别在小流域尺度,土地利用方式对土壤的物理因子指标具有显著影响<sup>[3]</sup>。众多的研究表明,即使在同一区域,不同土地利用方式由于地形、植被以及外界干扰程度的不同,使土壤物理性质产生差异,进而对土壤的肥力、抗侵蚀能力以及保水蓄水能力造成影响<sup>[4-6]</sup>。李民义等<sup>[7]</sup>对晋西黄土高原的研究发现,不同土地利用方式下,土壤体积质量、孔隙度、贮水量等均存在显著差异,其中人工混交林对土地改良效果最显著,农地和经济林地土壤受到一定程度改良,但水土保持效果较差。李生等<sup>[8]</sup>对桂西北石漠化地区的研究发现,不同土地利用方式使土壤的理化性质发生了较明显的变异,其土壤体积质量、孔隙度、持水量等均存在显著差异,物理性质农田、针叶林质量较低,阔叶林质量较高。张池等<sup>[9]</sup>对赤红壤不同土地利用方式的理化性质研究发现,土壤的理化性质差异显著,其中新垦旱田土壤体积质量最大,孔隙度最低,果园土壤体积质量显著低于其他土地利用方式,并认为这种差异很大程度上与各土地利用方式下土壤的田间管理方式密切相关。由此可见,相同地形条件下,母质相同的土壤,对其物理性质影响的关键因素是植被类型与人类的利用及干扰程度。

尼洋河下游位于藏东南林芝市巴宜区境内,河

谷地貌发育,山体陡峭,地表破碎,昼夜温差较大,冻融交替作用强烈,土壤结构极不稳定,在集中降雨及高山融雪形成的地表径流冲刷下,极易产生水土流失。加之,城镇化和区域人口数量增长,人地矛盾严重,土地的开发力度以及森林植被资源的利用程度随之加大,流域内大面积土地因此遭到不合理的利用,进而使地表裸露,局部地区甚至出现沙化现象,使脆弱的高原生态环境受到严重干扰,成为了该区生态退化的重要原因<sup>[10-11]</sup>。目前,针对该流域的研究还主要集中在宏观性的生态评价、开发建设和水土流失的定量分析上<sup>[11-13]</sup>,而对人与自然共同影响下的不同土地利用方式土壤物理性质空间的异质性研究较少。故此,本研究以土壤侵蚀较严重的尼洋河下游地区为对象,选择 5 种典型土地利用方式,对比分析其土壤体积质量、孔隙度、持水性等物理性质的差异,评价不同土地利用方式的优劣性,以期为该地区土地保护、侵蚀区裸露土壤的修复以及水土流失的治理提供理论依据。

## 1 研究区概况

研究区位于尼洋河下游地区,地理位置 29°35′~29°57′ N, 93°25′~93°45′ E,海拔 2 900~3 000 m。该区属温带大陆性半湿润气候,年平均气温 8℃,极端最高气温 35.9℃,极端最低气温 -35.8℃,年温差较小,日温差较大,土地结冻深度 110 cm,无霜期 130~165 d,年降雨量 685.1 mm,盛

行河谷风,5—10月为雨季,其降雨量占年降雨量的85%左右,11月至次年4月为旱季,主要受西风带影响,气候晴朗且干燥。该区总面积7 557 km<sup>2</sup>,占流域面积的42.42%,耕地面积占全流域耕地面积的57.70%,粮食总产量10 699.3 t,占流域粮食总产量的56.93%,水土流失面积2 045.1 km<sup>2</sup>,占总面积的27.06%,水力侵蚀面积313.87 km<sup>2</sup>,占水土流失面积的15.35%,冻融侵蚀面积1 731.23 km<sup>2</sup>,

占水土流失面积的84.65%<sup>[10]</sup>。

## 2 材料与方法

### 2.1 样地设置和样品采集

于2015年10月,沿尼洋河下游河谷地带,选择5种典型的土地利用方式,即天然林地(NF)、人工林地(AF)、河滩林地(BF)、农耕地(CL)、草地(GL),5种土地利用方式样地基本状况见图1和表1。

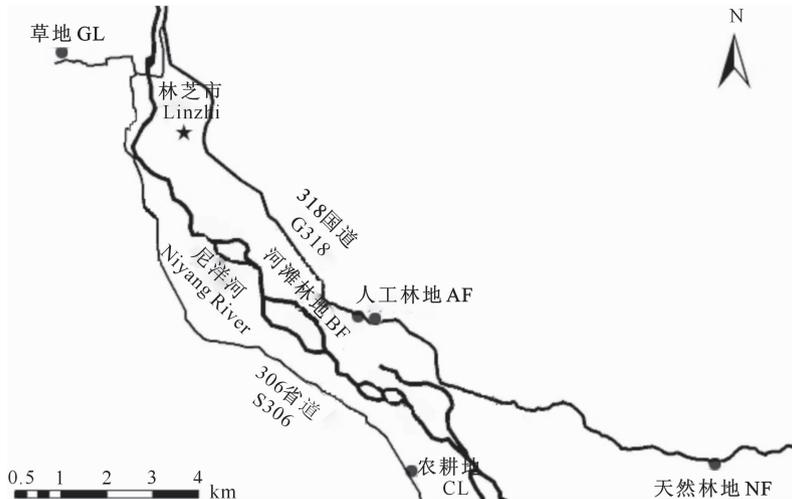


图 1 西藏尼洋河下游样点地理位置

Fig. 1 Location of sampling sites in downstream of the Niyang River in Tibet

表 1 西藏尼洋河下游 5 种样地的基本状况

Table 1 General information of 5 sample plots in downstream of the Niyang River in Tibet

土地利用方式 Land use patterns	植被类型 Vegetation types	坡度/(°) Aspect	郁闭度/盖度 Crown density/ Coverage	海拔/m Altitude	腐殖层厚度/cm Humus layer depth	土壤类型 Soil type	人为干扰 Human disturbance	粘粒 (<0.002 mm) 含量/% Clay content
天然林地 NF	川滇高山栎、紫叶小檗 <i>Quercus aquifolioides</i> Rehd. et Wils., <i>F. atropu</i> Tpurea	15	0.9	3 031	5	山地黄棕壤 Mountain yellow-brown soil	微弱 Weaker	2.01
人工林地 AF	高山松 <i>Pinus densata</i>	10	0.4	2 988	<1	黄棕壤 Yellow-brown soil	强 Strong	1.44
河滩林地 BF	沙柳、苔草 <i>Salix cheilophila</i> , <i>Carex parva</i> Nees	5	0.7	2 965	2	潜育土 Gley soil	弱 Weak	0.59
农耕地 CL	裸露 Exposed	5	—	2 998	—	淋溶褐土 Leached cinnamon soil	强 Strong	1.40
草地 GL	苔草、白草 <i>Carex parva</i> Nees, <i>Pennisetum flaccidum</i> Griseb	7	0.6	2 995	3	暗棕壤 Dark brown soil	较强 Relatively strong	0.71

采用“S”形采样法,在每个样地选择3个样点,在每个样点采集0~15,15~30 cm土层土样。每个土层取4个环刀原状土样并编号,分别用于测量土壤体积质量,孔隙度(总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度),含水率(饱和含水率、毛管含水率),田间

持水率,渗透性能(初始渗透速率、平均渗透速率、稳定渗透速率)。

### 2.2 测定项目及方法

土壤体积质量:采用环刀法(环刀体积为100 cm<sup>3</sup>)测定<sup>[14]</sup>。

土壤孔隙度及含水率的测定:利用测定土壤体积质量的环刀浸入水中 24 h 至饱和,称质量;然后将饱和后的环刀样置于铝盒上,中间用滤纸隔开,放置 12 h 后称质量,之后烘干至恒质量称质量。饱和含水率=(浸泡后土质量-烘干土质量)/烘干土质量 $\times 100\%$ ;土壤毛管含水率=(放置后土质量-烘干土质量)/烘干土质量 $\times 100\%$ ;总孔隙度=饱和含水率 $\times$ 土壤体积质量;毛管孔隙度=土壤毛管含水率 $\times$ 土壤体积质量;非毛管孔隙度=总孔隙度-毛管孔隙度。

田间持水率采用容重环刀法<sup>[15]</sup>测定。

土壤渗透性(初始渗透速率、稳定渗透速率、平均渗透速率)采用等水头环刀法测定<sup>[16]</sup>。

### 2.3 数据处理

数据统计、处理及做图采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 统计软件。主要利用 SPSS 进行单因素方差分析以及相关分析。若单因素方差分析差异显著,则继续进行 Duncan's 多重分析。土层之间显著性采用独立样本 *T* 检验。

## 3 结果与分析

### 3.1 西藏尼洋河下游不同土地利用方式土壤物理性质的比较

#### 3.1.1 土壤孔隙度 孔隙度的大小、数量及分配是

土壤物理性质的基础,并对土壤水分和通气透水性有直接影响,是评价土壤结构特征的重要指标<sup>[17-18]</sup>。由表 2 可知,不同土地利用方式土壤体积质量均表现为 AF(1.51 g/cm<sup>3</sup>)>CL(1.40 g/cm<sup>3</sup>)>GL(1.16 g/cm<sup>3</sup>)>BF(1.12 g/cm<sup>3</sup>)>NF(0.92 g/cm<sup>3</sup>)。总孔隙度均值表现为 NF(63.88%)>BF(54.65%)>GL(49.86%)>CL(45.83%)>AF(40.30%)。NF 总孔隙度均值与其余 4 种土地利用方式均有极显著差异( $P<0.01$ );受人为干扰强的 AF 与受人为干扰相对较弱的 BF、GL 有极显著性差异( $P<0.01$ );CL 与 BF 差异极显著( $P<0.01$ ),但其与 GL 差异不显著( $P>0.05$ )。毛管孔隙度与总孔隙度有相同的变化规律,即 NF 的毛管孔隙度极显著高于其他 4 种土地利用方式。非毛管孔隙度均值大小依次为 NF(5.10%)>AF(4.33%)>CL(4.29%)>BF(4.24%)>GL(3.68%),且 NF 与 BF、CL 间差异显著( $P<0.05$ ),与 GL 差异极显著( $P<0.01$ )。说明 5 种不同土地利用方式下,由于受人为扰动程度不同,土壤质地差别较大,其中 NF 受到人为干扰较弱,土壤结构较为疏松,土壤体积质量小,孔隙度大;AF 受到人为干扰较强,土壤结构较紧实,土壤体积质量大,孔隙度小。

表 2 西藏尼洋河下游不同土地利用方式土壤体积质量和孔隙度

Table 2 Soil volume-weight and porosity of different land use types in downstream of the Niyang River in Tibet

土地利用方式 Land use patterns	土层深度/cm Thickness of soil	土壤体积质量/(g·cm <sup>-3</sup> ) Soil bulk density	总孔隙度/% Total porosity	毛管孔隙度/% Capillary porosity	非毛管孔隙度/% Non-capillary porosity
天然林地 NF	0~15	0.86±0.10 bC	65.73±2.18 aA	61.09±2.45 aA *	4.64±0.27 aA
	15~30	0.97±0.11 cC	62.03±0.68 aA	56.47±0.50 aA	5.56±0.18 aA
	均值 Mean	0.92±0.07 dC	63.88±1.42 aA	58.78±1.68 aA	5.10±0.30 aA
人工林地 AF	0~15	1.47±0.01 aA	42.43±1.20 cC	38.33±0.92 dC *	4.10±0.28 abA
	15~30	1.54±0.06 aA	38.18±2.27 cD	33.61±1.89 cD	4.57±0.38 abA
	均值 Mean	1.51±0.03 aA	40.30±1.61 dD	35.97±1.61 eD	4.33±0.23 abAB
河滩林地 BF	0~15	1.12±0.03 bBC	52.59±2.00 bB	48.73±2.38 bcBC	3.86±0.39 abA
	15~30	1.14±0.23 bcBC	56.71±0.33 aAB	52.08±0.68 aAB	4.63±0.35 abA
	均值 Mean	1.12±0.12 bB	54.65±1.45 bB	50.40±1.40 bB	4.24±0.31 bAB
农耕地 CL	0~15	1.37±0.03 aAB	47.41±0.04 bcBC *	42.78±0.88 cdC	4.62±0.01 aA *
	15~30	1.44±0.04 aAB	44.26±1.82 bCD	40.31±1.21 bCD	3.96±0.87 bA
	均值 Mean	1.40±0.03 aA	45.83±1.23 cCD	41.55±0.94 dCD	4.29±0.63 bAB
草地 GL	0~15	1.10±0.03 bBC	50.66±1.95 bBC	47.22±1.87 cC	3.44±0.10 bA
	15~30	1.22±0.03 bABC	49.07±1.50 bBC	45.15±1.52 bBC	3.92±0.03 bA
	均值 Mean	1.16±0.04 bB	49.86±1.10 cBC	46.18±1.15 cBC	3.68±0.14 bB

注:同列数据后标不同小写字母表示同一土层下不同土地利用方式间差异显著( $P<0.05$ ),不同大写字母表示同一土层下不同土地利用方式间差异极显著( $P<0.01$ );标“\*”者表示同一土地利用方式下 0~15 cm 土层与 15~30 cm 土层差异显著( $P<0.05$ )。表 3~4 同。

Note: Different lowercase letter means significant difference between land use patterns at same soil layer( $P<0.05$ ), and uppercase letters show extremely significant difference ( $P<0.01$ ); “\*” indicates significant difference between 0-15 cm and 15-30 cm for same land use pattern ( $P<0.05$ ). The same for tables 3-4.

由表 2 可知,不同土地利用方式土壤体积质量表现为 0~15 cm 土层<15~30 cm 土层。除 BF 外,其余 4 种土地利用方式下土壤总孔隙度、毛管孔隙度表现为 0~15 cm 土层>15~30 cm 土层;NF、AF、BF、GL 非毛管孔隙度表现为 0~15 cm 土层<15~30 cm 土层,而 CL 则表现相反。这是因为 CL 在 0~15 cm 土层存在犁底层(一般距地表 12~15 cm),其土壤体积质量偏大,总孔隙度、毛管孔隙度偏小,但重复的翻耕以及施肥作用,犁底层之上土壤多以块状形式存在,较为疏松,从而导致 CL 0~15 cm 土层非毛管孔隙度显著大于 15~30 cm 土层。在 0~15 cm 和 15~30 cm 土层,NF 的总孔隙度、毛管孔隙度均最大,AF 均最小,且 NF 与 AF、CL 和 GL 差异极显著( $P<0.01$ )。在 0~15 cm 和 15~30 cm 土层,NF 的非毛管孔隙度均最大,GL 均最小。可见,NF 由于仅受到微弱的人为干扰,故土壤体积质量、孔隙度在各土层表现均最优。

3.1.2 土壤持水特性 土壤水分不仅是土壤系统养分循环与流动的载体,而且积极参与土壤中物质的转化过程<sup>[19]</sup>。对不同土地利用方式下土壤水分物理特性进行分析,有助于了解不同利用方式下土地的蓄水保土效益。由表 3 可知,不同土地利用方式下土壤饱和含水率与毛管含水率均值均存在较大的差异,两者均表现为 NF>BF>GL>CL>AF,这

与土壤体积质量表现相反,与总孔隙度、毛管孔隙度规律一致。Duncan's 多重比较结果显示,NF 饱和含水率与毛管含水率均值分别与 GL、AF、BF、CL 间差异均达到极显著水平( $P<0.01$ )。在 0~15 和 15~30 cm 土层中,NF 饱和含水率、毛管含水率仍均最大,BF、GL、CL 次之,AF 均最小,可见植被状况及人为扰动强度能够对土壤持水性能产生不同程度的影响。

从表 3 可知,5 种土地利用方式下田间持水率均值表现为 GL>BF>NF>AF>CL。这主要是因为 AF、CL 受到人为扰动较大,使其毛管孔隙度减小,导致田间持水率降低<sup>[20]</sup>。Duncan's 多重比较发现,受人为干扰弱的 GL、BF、NF 田间持水率均值与 AF、CL 差异达到显著水平( $P<0.05$ )。从土壤垂直角度来看,除 BF 外,其他 4 种土地利用方式的饱和含水率、毛管含水率均表现为 0~15 cm 土层>15~30 cm 土层。除 BF、GL 外,NF、AF、CL 的田间持水率均表现为 0~15 cm 土层>15~30 cm 土层。说明植被的生长代谢往往对浅层土壤影响比较强烈,表层(0~15 cm)土壤通常受到枯枝落叶的腐烂过程以及与外界环境物质的交换频繁影响,故其在结构、质地以及有机质含量上远高于深层(15~30 cm)土壤。

表 3 西藏尼洋河下游不同土地利用方式土壤水分物理特征

Table 3 Soil water physical characteristics of different land use types in downstream of the Niyang River in Tibet

土地利用方式 Land use patterns	土层深度/cm Thickness of soil	饱和含水率/% Saturated moisture capacity	毛管含水率/% Capillary water content	田间持水率/% Field capacity
天然林地 NF	0~15	76.73±6.25 aA*	71.26±5.31 aA*	38.46±4.41 aA
	15~30	64.42±2.83 aA	58.63±6.01 aA	34.64±2.71 aA
	均值 Mean	70.58±4.42 aA	64.95±5.12 aA	36.30±2.66 aA
人工林地 AF	0~15	28.76±0.93 cC	25.98±0.73 cC	17.49±0.23 bA
	15~30	24.78±2.38 dC	21.81±2.03 dC	16.42±0.01 bA
	均值 Mean	26.77±1.55 cD	23.89±1.49 cD	16.96±0.32 bA
河滩林地 BF	0~15	46.91±0.47 bB	43.46±0.91 bB	25.63±2.76 bA*
	15~30	49.48±0.04 abB	45.16±0.29 bAB	48.52±1.78 aA
	均值 Mean	48.04±0.68 bB	44.31±0.63 bB	37.08±2.88 aA
农耕地 CL	0~15	34.57±0.09 cBC	31.20±0.14 cBC*	26.87±1.54 bA*
	15~30	30.68±0.42 cdBC	27.95±0.06 cdBC	6.01±1.29 cA
	均值 Mean	32.63±1.13 cCD	29.57±0.94 cCD	16.44±3.92 bA
草地 GL	0~15	46.20±2.94 bcB	43.07±2.79 bB	34.47±3.76 aA*
	15~30	40.31±2.10 cdBC	37.10±2.05 bcBC	48.16±2.63 aA
	均值 Mean	43.58±2.25 bBC	40.08±2.23 bBC	41.32±4.06 aA

3.1.3 土壤渗透性 土壤水分的入渗特性是表征土壤对降水就地入渗和吸收能力,在单位时间内大气降水超过土壤的渗透速率时就会产生地表径流,造成水土流失<sup>[21]</sup>。由表 4 可知,初始渗透速率、稳

定渗透速率、平均渗透速率均值变化范围分别为 0.26~3.95,0.22~2.02,0.22~2.32 mm/min。NF 初始渗透速率、稳定渗透速率、平均渗透速率均最大,GL 则均最小。可见不同土地利用方式下土

壤渗透性能存在一定差异,其中 NF 渗透性能最佳, 外,其余土地利用方式下土壤初始渗透速率、稳定渗透速率、平均渗透速率均随土层加深而增大。GL 渗透性能最弱。从土壤垂直角度来看,除 GL

表 4 西藏尼洋河下游不同土地利用方式土壤渗透性能

Table 4 Soil infiltration performance of different land use types in downstream of the Niyang River in Tibet

土地利用方式 Land use patterns	土层深度/cm Thickness of soil	初始渗透速率/ (mm·min <sup>-1</sup> ) Initial infiltration rate	稳定渗透速率/ (mm·min <sup>-1</sup> ) Stable infiltration rate	平均渗透速率/ (mm·min <sup>-1</sup> ) Average infiltration rate
天然林地 NF	0~15	2.08±1.21 aA *	0.80±0.12 abA *	0.89±0.02 abA *
	15~30	5.82±1.25 aA	3.25±1.62 aA	3.75±0.12 aA
	均值 Mean	3.95±2.10 aA	2.02±0.97 aA	2.32±1.19 aA
人工林地 AF	0~15	1.24±0.39 bA	1.25±0.28 aA	1.25±0.29 aA
	15~30	2.27±0.65 bA	1.97±0.85 abA	1.94±0.87 aA
	均值 Mean	1.75±0.43 bA	1.61±0.42 abA	1.60±0.42 abA
河滩林地 BF	0~15	1.88±0.00 abA	1.32±0.10 aA	1.36±0.11 aA
	15~30	2.75±0.87 abA	2.00±0.83 abA	2.13±0.76 aA
	均值 Mean	2.31±0.44 abA	1.66±0.39 abA	1.75±0.38 abA
农耕地 CL	0~15	1.92±0.98 abA	1.67±0.39 aA	1.71±0.80 aA
	15~30	2.87±1.06 abA	1.73±0.18 bA	2.08±0.50 aA
	均值 Mean	2.39±0.65 abA	1.70±0.32 aA	1.89±0.39 abA
草地 GL	0~15	0.26±0.15 cA	0.25±0.11 bA	0.25±0.11 bA
	15~30	0.25±0.04 cA	0.19±0.14 cA	0.19±0.13 bA
	均值 Mean	0.26±0.06 cA	0.22±0.07 bA	0.22±0.07 bA

从不同土地利用方式所测 3 组渗透过程数据中,选取一组具有代表性数据,对渗透速率与时间进行拟合,得到土壤渗透变化曲线如图 2 所示。由图 2 可知,在 0~15 cm 和 15~30 cm 土层,渗透速率

随时间延长总体呈减小趋势,NF 减小幅度最大,AF 减小幅度最小。

对 5 种土地利用方式渗透性能进行模拟,得到模拟方程见表 5。

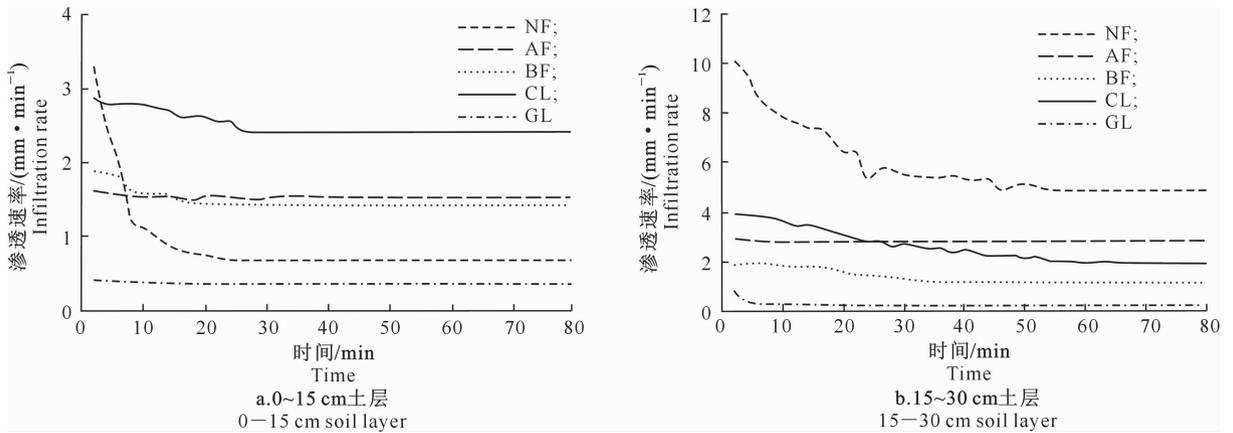


图 2 西藏尼洋河下游不同土地利用方式下土壤渗透速率的变化曲线

Fig. 2 Soil percolation curve of different land use types in downstream of the Niyang River in Tibet

表 5 西藏尼洋河下游不同土地利用方式下土壤渗透性能模拟方程

Table 5 Simulation equation of soil permeability of different land use types in downstream of the Niyang River in Tibet

土层深度/cm Thickness of soil	土地利用方式 Land use patterns	模拟方程 Simulating equations	R <sup>2</sup>	土层深度/cm Thickness of soil	土地利用方式 Land use patterns	模拟方程 Simulating equations	R <sup>2</sup>
0~15	天然林地 NF	$Y=5.259X^{-0.642}$	0.96	15~30	天然林地 NF	$Y=13.341X^{-0.249}$	0.95
	人工林地 AF	$Y=1.6021X^{-0.014}$	0.30		人工林地 AF	$Y=2.959X^{-0.022}$	0.58
	河滩林地 BF	$Y=2.1312X^{-0.126}$	0.93		河滩林地 BF	$Y=2.642X^{-0.191}$	0.72
	农耕地 CL	$Y=3.1404X^{-0.069}$	0.82		农耕地 CL	$Y=6.1756X^{-0.264}$	0.90
	草地 GL	$Y=0.4228X^{-0.061}$	0.79		草地 GL	$Y=0.7744X^{-0.426}$	0.65

注:模拟方程中 Y 为土壤平均渗透速率(mm/min);X 为时间(min);R<sup>2</sup> 为相关系数。

Note:Y is the soil infiltration rate (mm/min);X is the time (min);R<sup>2</sup> is the correlation coefficient.

由表 5 可见,在 0~15 cm 和 15~30 cm 土层,5 种土地利用方式下土壤渗透性模拟方程均为幂函数关系,其中 NF 土壤渗透性能与时间的关系最为密切,相关系数分别为 0.96 和 0.95;AF 土壤渗透性能与时间的关系不密切,相关系数分别为 0.30 和 0.58。

### 3.2 西藏尼洋河下游不同土地利用方式下土壤各物理指标的相关性

由于成土过程中受到气候、母质、地形、生物和时间的共同作用,土壤的各项物理指标在一定程度上相互关联,相互影响<sup>[22]</sup>。5 种土地利用方式下土壤各物理指标相关性分析结果(表 6)表明,土壤体积质量与总孔隙度、毛管孔隙度、饱和含水率、毛管

含水率均呈极显著性负相关,与田间持水率呈显著性负相关,与非毛管孔隙度也呈负相关,但相关性不显著,说明土壤体积质量直接影响了土壤孔隙状况及持水性能<sup>[23]</sup>。总孔隙度、毛管孔隙度均与饱和含水率、毛管含水率呈极显著性正相关,与田间持水率呈显著性正相关,说明土壤总孔隙度和毛管孔隙度越高,土壤持水性能越好<sup>[23]</sup>。初始渗透速率、稳定渗透速率、平均渗透速率与非毛管孔隙度呈极显著性正相关,说明土壤渗透性能受非毛管孔隙影响最大。由以上分析可以看出,人为的干扰强度及植被的优劣状况,直接影响土壤体积质量、孔隙度,从而使小尺度范围内不同土地利用方式在保持水土,蓄水保水及抗蚀、抗旱能力上产生显著差异。

表 6 西藏尼洋河下游不同土地利用方式下各物理指标的相关性

Table 6 Correlation between the physical indicators of different land use types in downstream of the Niyang River in Tibet

指标 Index	土壤体质量 Soil bulk density	总孔隙度 Total porosity	毛管 孔隙度 Capillary porosity	非毛管 孔隙度 Non-capillary porosity	饱和含 水率 Saturated moisture capacity	毛管 含水率 Capillary water content	田间 持水率 Field capacity	初始渗 透速率 Initial infiltration rate	稳定渗 透速率 Stable infiltration rate	平均渗 透速率 Average infiltration rate
土壤体质量 Soil bulk density	1									
总孔隙度 Total porosity	-0.908**	1								
毛管孔隙度 Capillary porosity	-0.914**	0.997**	1							
非毛管孔隙度 Non-capillary porosity	-0.256	0.399	0.331	1						
饱和含水率 Saturated mois- ture capacity	-0.963**	0.945**	0.941**	0.394	1					
毛管含水率 Capillary water content	-0.966**	0.947**	0.946**	0.364	0.999**	1				
田间持水率 Field capacity	-0.530*	0.527*	0.538*	0.049	0.456*	0.464*	1			
初始渗透速率 Initial infiltra- tion rate	-0.080	0.270	0.231	0.584**	0.175	0.159	-0.112	1		
稳定渗透速率 Stable infiltra- tion rate	0.113	0.117	0.071	0.615**	-0.021	-0.039	-0.267	0.898**	1	
平均渗透速率 Average infil- tration rate	0.162	0.077	0.041	0.606**	0.011	-0.006	-0.229	0.942**	0.990**	1

注: \*\* 表示置信度(双侧)在( $P < 0.01$ )水平上极显著相关, \* 表示置信度(双侧)在( $P < 0.05$ )水平上显著相关。

Note: \*\* means confidence coefficient (double sides) is significantly correlated at  $P < 0.01$  level; \* means confidence coefficient (double sides) is significantly correlated at the  $P < 0.05$  level.

## 4 讨 论

由于受到植被及外界人为干扰强度的影响,不同土地利用方式土壤各项物理指标呈现出较强的空间异质性。已有研究表明,土壤体积质量、孔隙度大

小与土壤质地、有机质含量及土壤紧实度等密切相关<sup>[24]</sup>。邓羽松等<sup>[23]</sup>研究表明,土壤有机质与土壤主要物理指标存在显著的相关关系,土壤有机质在土壤养分循环中起着关键作用,并最终成为表征土壤质量恢复过程中的关键性指标。而土壤有机质及腐

殖质的胶结作用,有利于团聚体的形成,也为土壤动物及微生物创造了良好的生存环境,使得土壤变得疏松,孔隙度增加,透水透气性能增强<sup>[25-27]</sup>。本研究发现,NF 土壤体积质量均值显著低于其他土地利用方式,而总孔隙度、毛管孔隙度、饱和含水率、毛管含水率均显著高于其他土地利用方式。由于长期原生状态植被的改良及枯枝落叶大量积累于地表并腐烂,不断补充土壤有机质,从而使土壤保持了良好的物理性状,故 NF 在持水能力上表现出最优<sup>[28]</sup>。与 NF 相比,AF 林下灌木稀疏,几乎无草本植被生长,植被较单一,林龄短,表层仅有少量枯落叶覆盖,林地腐殖质层极薄,厚度不足 1 cm,微生物活动极弱,仅有较少的有机质输入,而且受到较强外界人为干扰,导致 AF 土壤物理性状处于较低的水平,如土壤体积质量最大,孔隙度最低,持水性能最弱。CL 虽长期受耕作的影响,犁底层以上的土壤较为疏松,但不合理的耕作与施肥,如秸秆不能还田等,使农田土壤缺少有机质的投入,加之犁底层的存在,导致 CL 土壤体积质量较高,孔隙度偏低。GL 有较高的植被覆盖率,草本根系的死亡与腐烂以及较强的微生物活动,为土壤补充了较多的有机质,故 GL 土壤物理性质保持在较好的水平。

本研究中,同一土地利用方式下,土壤体积质量随土层深度的增加而增大,总孔隙度、毛管孔隙度、饱和含水率、毛管含水率、田间持水率均随土层深度的增加呈减小趋势。在 0~30 cm 土层,NF 土壤各项物理性状均表现最优;AF 除田间持水率在 15~30 cm 土层较高外,其余各物理指标均表现较差。除 CL 外,其余土地利用方式下毛管孔隙度均表现为 0~15 cm 土层高于 15~30 cm 土层。这是由于表层(0~15 cm)土壤受到表层枯枝落叶、腐殖质层、植被根系以及有机质等对土壤的改良作用,使得土壤结构、持水性能优于下层(15~30 cm)土壤。另外,本研究发现,在 0~30 cm 土层,BF 孔隙度、持水性能均随土层深度的增加而增大,与其他土地利用方式变化规律相反,这可能是由于尼洋河砾石砂性物质丰富,丰水期上游冲刷下来的细小土壤颗粒在此容易沉积,使河床上层土壤变的细腻,自上而下土壤颗粒变大,上层土壤为黑灰色黏土,下层土壤为灰色粉砂质夹橘黄色纹层状黏土,且丰水期地下水在毛细管牵引力下水分到达粉砂质黏土层,砂在水中的分散作用使孔隙度增大,储水空间增加。

本研究结果表明,除 CL 外,其余土地利用方式下土壤渗透性能随土层深度的增加而增大,即 15~

30 cm 土层渗透性能优于 0~15 cm 土层,这与以往研究结果<sup>[29-31]</sup>不同。究其原因在于,下层砂质土壤受上层挤压,变得较紧实,导致土壤体积质量变大,孔隙度降低。但由于砂质土壤本身具有较高的非毛管孔隙度<sup>[31]</sup>,且在渗透试验前对土壤的浸泡处理使下层土壤产生分散作用,导致非毛管孔隙度进一步增大,增强了土壤渗透性能。本研究中土壤初始渗透速率、稳定渗透速率、平均渗透速率与非毛管孔隙度呈极显著正相关( $P < 0.01$ ),这与前人的研究结果<sup>[29-30,32]</sup>一致。本研究中,从表征土壤渗透性的不同指标来看,不同土地利用方式土壤渗透性存在一定差异,其中 NF 渗透性能最好,GL 渗透性能最弱。对于 GL 而言,由于周围山体地表径流冲刷的细小黏土颗粒易在此沉积,增加黏土层厚度,非毛管孔隙度不断得到填充,降低了非毛管孔隙度,即使在下层砂性强的土壤,黏土也占有较大比例,故其渗透性差。

## 5 结 论

1)不同土地利用方式对土壤体积质量、孔隙度、持水性影响有差异。在 0~30 cm 土层,土壤体积质量表现为  $AF > CL > GL > BF > NF$ ,总孔隙度和毛管孔隙度表现为  $NF > BF > GL > CL > AF$ ,非毛管孔隙度表现为  $NF > AF > CL > BF > GL$ ,饱和含水率和毛管含水率均表现为  $NF > BF > GL > CL > AF$ ,田间持水率表现为  $GL > BF > NF > AF > CL$ 。总体而言,不同土地利用方式下土壤体积质量随土层深度增加呈增大趋势,而总孔隙度、毛管孔隙度及饱和含水率、毛管含水率表现出相反的趋势。

2)不同土地利用方式下土壤渗透性能存在一定差异,但总体上各处理间未达显著水平。5 种土地利用方式下土壤渗透性能表现为  $NF > BF > CL > AF > GL$ ;在 0~15 cm 和 15~30 cm 土层,土壤渗透性能与时间之间的关系可以用幂函数进行拟合。

3)综合而言,受干扰较少、植被丰富的 NF 土壤性质更佳;而植被单一、受人为干扰强的 AF 土壤性质最差;CL 略优于 AF;GL 虽有较好的土壤体积质量和孔隙度,但受到土壤质地的影响,渗透性能较差。因此在进行土地资源开发时,应尽量避免对自然植被产生扰动,减小人为干扰强度。

## [参考文献]

- [1] 任婷婷,王 瑄,孙雪彤,等.不同土地利用方式土壤物理性质特征分析[J].水土保持学报,2014,28(2):123-126.

- Ren T T, Wang X, Sun X T, et al. Characterization of soil physical properties under different land use types [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2014, 28(2): 123-126.
- [2] 刘艳丽, 李成亮, 高明秀, 等. 不同土地利用方式对黄河三角洲土壤物理特性的影响 [J]. *生态学报*, 2015, 35(15): 5183-5190. Liu Y L, Li C L, Gao M X, et al. Effect of different land-use patterns on physical characteristics of the soil in the Yellow River Delta Region [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2015, 35(15): 5183-5190.
- [3] Heuvelink G B M, Webster R. Modelling soil variation: past, present, and future [J]. *Geoderma*, 2001, 100(3): 269-301.
- [4] 赵锦梅, 张德罡, 刘长仲, 等. 祁连山东段高寒地区土地利用方式对土壤性状的影响 [J]. *生态学报*, 2012, 32(2): 548-556. Zhao J M, Zhang D G, Liu C Z, et al. The effect of different land use patterns on soil properties in alpine areas of eastern Qilian Mountains [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(2): 548-556.
- [5] 白一茹, 王幼奇, 展秀丽. 陕北农牧交错带土地利用方式对土壤物理性质及分布特征的影响 [J]. *中国农业科学*, 2013, 46(8): 1619-1627. Bai Y R, Wang Y Q, Zhan X L. Effects of different land use types on soil physical properties and their distributions in farming-pastoral ecotone of northern Shaanxi [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2013, 46(8): 1619-1627.
- [6] 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, 60, 79. Gao X S, Deng L J, Zhang S R. Soil physical properties and nutrient properties under different utilization styles and slope position [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(2): 53-56, 60, 79.
- [7] 李民义, 张建军, 王春香, 等. 晋西黄土区不同土地利用方式对土壤物理性质的影响 [J]. *水土保持学报*, 2013, 27(3): 125-130, 137. Li M Y, Zhang J J, Wang C X, et al. Effects of land use type on soil physical properties in Loess Plateau of western Shanxi [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 27(3): 125-130, 137.
- [8] 李 生, 任华东, 姚小华. 土地利用方式对桂西北石漠化地区土壤理化性质的影响 [J]. *水土保持通报*, 2013, 33(3): 58-62. Li S, Ren H D, Yao X H. Effects of different land use systems on soil physical and chemical properties in karst rocky desertification area of northwest Guangxi province [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2013, 33(3): 58-62.
- [9] 张 池, 高云华, 陈旭飞, 等. 不同土地利用方式对赤红壤理化性质的综合影响 [J]. *自然资源学报*, 2013(12): 2140-2149. Zhang C, Gao Y H, Chen X F, et al. Comprehensive effects of different land uses on physical and chemical properties of lateritic red soil [J]. *Journal of Natural Resources*, 2013(12): 2140-2149.
- [10] 张昕川, 刘纪根, 张平仓. 尼洋河流域水土流失综合治理措施探讨 [J]. *人民长江*, 2013, 44(19): 85-87, 95. Zhang X C, Liu J G, Zhang P C. Comprehensive harnessing measures of soil and water conservation in Niyang River Watershed [J]. *Yangtze River*, 2013, 44(19): 85-87, 95.
- [11] 徐增让, 成升魁, 闵庆文, 等. 导致西藏生态退化的人为因子空间效应分析 [J]. *中国环境科学*, 2006, 26(2): 253-256. Xu Z R, Cheng S K, Min Q W, et al. Analysis of spatial effects of artificial factors of ecological degradation in Tibet [J]. *China Environmental Science*, 2006, 26(2): 253-256.
- [12] 葛立雯, 潘 刚, 任德智, 等. 西藏林芝地区森林碳储量、碳密度及其分布 [J]. *应用生态学报*, 2013, 24(2): 319-325. Ge L W, Pan G, Ren D Z, et al. Forest carbon storage carbon density and their distribution characteristics in Linzhi area of Tibet China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(2): 319-325.
- [13] 李朝霞, 牛文娟. 水电梯级开发对生态环境影响评价模型与应用 [J]. *水力发电学报*, 2009, 28(2): 35-40. Li Z X, Niu W J. Model and applications of environment impact assessment of cascade hydropower development [J]. *Journal of Hydroelectric Engineering*, 2009, 28(2): 35-40.
- [14] 李庆云, 余新晓, 信忠保, 等. 黄土高原典型流域不同土地利用类型土壤物理性质分析 [J]. *水土保持研究*, 2010, 17(6): 106-110, 114. Li Q Y, Yu X X, Xin Z B, et al. Analysis on soil physical properties of different land uses in a typical watershed of the Loess Plateau [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, 17(6): 106-110, 114.
- [15] 依艳丽. 土壤物理研究法 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2009: 92-93. Yi Y L. Soil physical research method [M]. Beijing: Peking University Press, 2009: 92-93.
- [16] 张万儒, 杨光滢, 屠星南, 等. 中华人民共和国林业行业标准 (LY/T 1210~1275-1999): 森林土壤分析方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2000: 32-33. Zhang W R, Yang G Y, Tu X N, et al. Forest Industry Standard of the People's Republic of China (LY/T 1210-1275-1999): forest soil analysis method [S]. Beijing: Chinese Press of Stand, 2000: 32-33.
- [17] 张希彪, 上官周平. 人为干扰对黄土高原子午岭油松人工林土壤物理性质的影响 [J]. *生态学报*, 2006, 26(11): 3685-3695. Zhang X B, Shanguan Z P. Effect of human-induced disturbance on physical properties of soil in artificial *Pinus tabulaeformis* Carr. forests of the Loess Plateau [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(11): 3685-3695.
- [18] 刘月秀, 李 银, 曹福亮. 广东桉树林土壤物理性质及其影响因素分析 [J]. *林业科技开发*, 2012, 26(4): 13-18. Liu Y X, Li Y, Cao F L. Soil physical properties and their influencing factors under Eucalyptus plantations in Guangdong province [J]. *China Forestry Science and Technology*, 2012, 26(4): 13-18.
- [19] 张淑娟, 王道杰, 梅永丽, 等. 泥石流多发区小流域土地利用方式对土壤性质的影响 [J]. *水土保持学报*, 2015, 29(1): 257-262. Zhang S J, Wang D J, Mei Y L, et al. Effects of land use types

- on soil properties in a small watershed of debris flow activity region [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2015, 29(1):257-262.
- [20] 江培福,雷廷武,刘晓辉,等.用毛细吸渗原理快速测量土壤田间持水量的研究 [J]. *农业工程学报*, 2006, 22(7):1-5.  
Jiang P F, Lei T W, Liu X H, et al. Principles and experimental verification of capillary suction method for fast measurement of field capacity [J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(7):1-5.
- [21] 庞学勇,刘庆,刘世全,等.人为干扰对川西亚高山针叶林土壤物理性质的影响 [J]. *应用与环境生物学报*, 2002, 8(6):583-587.  
Pang X Y, Liu Q, Liu S Q, et al. Effect of human-induced disturbance on soil physical properties of subalpine coniferous forests in Western Sichuan [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2002, 8(6):583-587.
- [22] 邹文秀,韩晓增,陆欣春,等.不同土地利用方式对黑土剖面土壤物理性质的影响 [J]. *水土保持学报*, 2015, 29(5):187-193, 199.  
Zou W X, Han X Z, Lu X C, et al. Effect of land use types on physical properties of black soil profiles [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2015, 29(5):187-193, 199.
- [23] 邓羽松,丁树文,蔡崇法,等.鄂东南崩岗洪积扇土壤物理性质空间分异特征 [J]. *中国农业科学*, 2014, 47(24):4850-4857.  
Deng Y S, Ding S W, Cai C F, et al. Spatial distribution of the collapsing alluvial soil physical properties in Southeastern Hubei [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2014, 47(24):4850-4857.
- [24] 李晓晓,刘京,赵世伟,等.西北干旱区县域农田表层土壤容重空间变异性特征 [J]. *水土保持学报*, 2013, 27(4):148-151.  
Li X X, Liu J, Zhao S W, et al. Spatial variation of top soil bulk density of farmland on county level in northwest arid area [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2013, 27(4):148-151.
- [25] 陈凤霞,许松葵,薛立,等.冰雪灾害对杉木林土壤特性的影响 [J]. *生态学报*, 2010, 30(20):5466-5474.  
Chen F X, Xu S K, Xue L, et al. Effect of ice-snow damage on soil characteristics in a *Cunninghamia lanceolata* stand [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(20):5466-5474.
- [26] Franklin J F. Tree death as an ecological progress [J]. *Bioscience*, 1987, 37:550-556.
- [27] 窦森,李凯,关松.土壤团聚体中有机质研究进展 [J]. *土壤学报*, 2011(2):412-418.  
Dou S, Li K, Guan S. A review on organic matter in soil aggregates [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2011(2):412-418.
- [28] 许建新,侯晓丽,薛立.冰雪灾害对粤北杉木林土壤物理性质的影响 [J]. *生态科学*, 2015, 34(3):85-89.  
Xu J X, Hou X L, Xue L. Impact of ice storm damage on soil physical property in a *Cunninghamia lanceolata* stand in northern Guangdong, China [J]. *Ecological Science*, 2015, 34(3):85-89.
- [29] 林代杰,郑子成,张锡洲,等.不同土地利用方式下土壤入渗特征及其影响因素 [J]. *水土保持学报*, 2010, 24(1):33-36.  
Lin D J, Zheng Z C, Zhang X Z, et al. Characteristic and influencing factors of soil infiltration of different land use patterns [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 24(1):33-36.
- [30] 刘广路,范少辉,漆良华,等.不同类型毛竹林土壤渗透性研究 [J]. *水土保持学报*, 2008, 22(6):44-47, 56.  
Liu G L, Fan S H, Qi L H, et al. Soil infiltration characteristics of different *Phyllostachys pubescens* forests [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(6):44-47, 56.
- [31] 王鹏程,肖文发,张守攻,等.三峡库区主要森林植被类型土壤渗透性能研究 [J]. *水土保持学报*, 2007, 21(6):51-55, 104.  
Wang P C, Xiao W F, Zhang S G, et al. Study on soil infiltration in some main vegetation types in Three Gorges Reservoir Area [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2007, 21(6):51-55, 104.
- [32] 王纪杰,俞元春,陈容,等.不同栽培代次、林龄的桉树人工林土壤渗透性研究 [J]. *水土保持学报*, 2011, 25(2):78-82, 103.  
Wang J J, Yu Y C, Chen R, et al. Soil infiltration characteristics of eucalyptus plantation with different rotations and ages [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(2):78-82, 103.