川南地区不同退耕还竹林土壤水分特征及其影响因子研究

蔡春菊，范少辉，张大鹏，刘广路，刘亚迪

（国际竹藤中心 国家林业局 竹藤科学与技术重点实验室，北京 100102）

摘　要：对四川省南部的长宁县不同退耕年限硬头黄竹和撑绿杂交竹的土壤渗透性能及其影响因子进行了研究。结果表明，退耕年限和土层深度不同，土壤的渗透性能差异较大。通过主分量分析，得到不同林地土壤渗透性能综合评价结果。将 7 种样地类型划分为 3 类：第 1 类为退耕 5 a 和非退耕硬头黄竹林，土壤渗透能力强；第 2 类为农耕地和退耕 10 a 硬头黄竹，土壤渗透能力较强；第 3 类为 3 种撑绿竹林，土壤渗透能力一般或较差，这主要是由于伐竹踩踏等原因产生的土壤紧实，土壤结构差及通透性不佳等造成。土壤渗透拟合结果表明，Kostiakov 模型在研究区的拟合效果优于 Horton 模型。

关键词：土壤渗透；硬头黄竹；撑绿杂交竹；主分量分析

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2013)06-0013-06　　**中图分类号**：S152.7

Soil Infiltration Characteristics and Their Influencing Factors Under Different De-farmed Plantations in Southern Sichuan Province

CAI Chun-ju, FAN Shao-hui, ZHANG Da-peng, LIU Guang-lu, LIU Ya-di

(*International Center for Bamboo and Rattan, Key Laboratory of Science and Technology of Bamboo and Rattan, State Forestry Administration, Beijing* 100102, *China*)

Abstract: This study investigated the characteristics of soil infiltration and their influencing factors under different de-farmed plantations of *Bambusa rigida* and *B. pervariabilis*×*Dendrocalamopsis daii* in Changning County of South Sichuan Province. The results indicated that the characteristics of soil infiltration differed significantly with the depth of soil layer and number of de-farming years. The result of the comprehensive evaluation was obtained by principal component analysis, and seven test stands were classified into three groups based on soil infiltration capability. The first group, which included 5-year de-farmed and non-de-farmed plantations of *Bambusa rigida* exhibited the strongest soil infiltration capability. The second group, which was composed of 10-year de-farmed *Bambusa rigida* plantation and farmland, showed a stronger soil infiltration capability. The third group, which comprised the three remaining types of *B. pervariabilis*×*D. daii* plantation, demonstrated a relatively weak soil infiltration capability because of high degree of soil compaction as well as poor soil structure and permeability. The simulation of soil infiltration characteristics indicated that the fitting effect of Kostiakov model was better than that of the Horton model in the study region.

Keywords: **soil infiltration**; ***Bambusa rigida***; ***Bambusa pervariabilis*×*Dendrocalamopsis daii***; **principal component analysis**

土壤渗透性是评价土壤透水性能的重要指标，是表征土壤水动力学的重要参数之一，它反映了土壤孔隙度、孔隙大小分布以及导水性能，并影响土壤中水分运动状况。土壤渗透性能主要受土壤机械组成，土壤水稳性团粒含量，土壤容重和土壤初始含水率等因素影响[1-2]。土壤水分入渗过程和渗透能力决定了降雨过程的水分再分配，从而影响坡地地表径流、流域产流及土壤水分状况[3]。因此，研究林地土壤水分入渗规律是探讨森林流域产流机制的基础和前提，确定土壤水分入渗参数及其特征对于深入探讨森林对流域水文过程的调节机制具有重要意义[4-7]。

川南地区处于长江上游，雨量充沛，多年来对陡

收稿日期：2012-08-24　　修回日期：2012-10-16
资助项目：国家林业公益性行业科研专项“退耕竹林水土保持功能高效经营技术研究”(201104021)
作者简介：蔡春菊(1975—)，女(汉族)，山东省青州市人，副研究员，主要从事竹林水土保持功能研究。E-mail：caicj@icbr.ac.cn。
通信作者：范少辉(1962—)，男(汉族)，福建省永泰县人，研究员，博士生导师，主要从事森林培育和森林生态研究。E-mail：fansh@icbr.ac.cn。

坡地的不合理开垦和种植，使得该地区的土壤退化和水土流失现象十分严重[8-10]。实施退耕还林工程以来，硬头黄竹(*Bambusa rigida*)和撑绿杂交竹(*Bambusa pervariabilis* × *Dendrocalamopsis daii*)(以下简称撑绿竹)作为当地的常用竹种，便因其较好的经济价值和生态功能，在退耕还林工程中得到了广泛的应用和推广。然而，有关川南竹林土壤渗透性能的研究极少，针对坡地退耕还竹林的相关研究还未见报道。本研究以川南地区常用的退耕竹种撑绿杂交竹和硬头黄竹为研究对象，对其不同退耕年限竹林的土壤渗透性能进行研究，旨在为川南地区退耕还林地水土保持功能的发挥提供科学依据和理论指导。

1 研究地概况

研究地选择在四川省南部的长宁县。该县属四川盆地中亚热带湿润性季风气候，是四川省热量最丰富的地区之一。县内年均气温 18.3 ℃，年最高极端气温 40.7 ℃，最低气温－4.2 ℃，年均降雨量 1 108.3 mm，降雨集中在 6—9 月，以 8 月最多，12 月最少。平均日照时间 1 148 h，年均空气湿度 83%，无霜期多达 360 d。该县森林面积 4.71×10^4 hm^2，其中竹林面积 3.14×10^4 hm^2，森林覆盖率达 50.2%。常见的竹种有毛竹(*Phyllostachys heterocycla* cv. *Pubescens*)，苦竹(*Pleibolastus amarus*)，大叶慈(*Dendrocalamus farinosus*)，硬头黄竹以及撑绿竹等。此外，还夹杂有极少量的杉木(*Cunninghamia lanceolata*)，麻栎(*Quercus acutissima*)，润楠(*Machilus pingii*)和竹林的混交林等[11]。研究区土壤条件以黄壤土和紫色土为主，土壤成份的特点主要为成土母质复杂，肥力差异大，土壤有机质含量偏低，缺素土壤占了较大比例。

2 研究方法

2.1 样地选择

以川南地区实施退耕还林工程常用的撑绿竹和硬头黄竹为研究对象，采用空间代时间法，于 2011 年 3 月在研究区域内分别选择立地条件和经营方式相近的 5 和 10 a 年退耕还竹林，同时以非退耕竹林和农耕地为对照，设置 20 m×20 m 的标准样地各 3 个(表 1)。所选样地为 2000 和 2005 年退耕并栽植竹种，次年补植；样地土壤类型为石灰性紫色砂岩、页岩母质土壤在频繁的风化作用和侵蚀作用下形成的紫色土，退耕前，土地主要采用小麦—玉米“一年两熟”的种植方式，采用传统的人工作业方式进行土地耕作和收获，退耕后选取的退耕模式为硬头黄竹和撑绿竹纯林。

试验开始于 2011 年 4 月，对设置的各标准样地进行本底调查后，在标准样地内沿对角线 S 形布设 5 个样点，开挖土壤剖面用环刀按 0—20 cm，20—40 cm 和 40—60 cm 分层取样，以供测试土壤机械组成和土壤理化性质用。

表 1 样地基本情况

样地号	林分类型	起源	坡度/(°)	坡向	海拔/m	林龄/a	林分密度/(丛·hm^{-2})	郁闭度	土层厚度/cm	土壤类型
A	农耕地	Ⅰ	7.0	S	458	—	—	—	76	紫色土
B	硬头黄竹	Ⅱ	17.0	S	446	5	844	0.80	73	紫色土
C	硬头黄竹	Ⅱ	20.2	NW	489	10	853	0.77	69	紫色土
D	硬头黄竹	Ⅲ	22.0	SE	434	10	806	0.75	64	紫色土
E	撑绿竹	Ⅱ	21.0	SW	461	5	852	0.78	65	紫色土
F	撑绿竹	Ⅱ	19.0	SW	482	10	794	0.73	72	紫色土
G	撑绿竹	Ⅲ	18.7	S	473	9	831	0.74	66	紫色土

注：Ⅰ为耕地；Ⅱ为退耕还竹林地；Ⅲ为非退耕竹林。

2.2 测定项目与方法

将制备好的环刀带回实验室内，采用烘干称重法测定其自然含水量，采用环刀法测定土壤容重、最大持水量、毛管持水量、非毛管持水量、总孔隙度、毛管孔隙度和非毛管孔隙度，土壤 pH 值采用电位法，有机质采用重铬酸钾氧化—外加热法，土壤机械组成采用吸管法，土壤水稳性团聚体测定采用湿筛法[9]。均设置 3 次重复，测定结果详见表 2。

土壤渗透性测定采用双环刀法[9]。各指标计算的方法为[10-11]：

初渗率＝最初入渗时段内渗透量/入渗时间

本研究选取的最初入渗时间为 1 min；平均渗透率＝达稳渗时的渗透总量/达稳渗时的时间；稳渗率为单位时间内的渗透量趋于稳定时的渗透速率；因所有土样渗透速率在 60 min 内已达稳定，故为便于比较，渗透总量统一取前 60 min 的渗透量。数据记录与运算采用 Excel 软件，统计和分析采用 SPSS 16.0 软件进行。

表 2　研究区不同竹林土壤理化性质

样地类型	土层深度/cm	土壤有机质/(g·kg^{-1})	土壤 pH 值	土壤容重/(g·cm^{-3})	总孔隙度/%	毛管孔隙度/%	非毛管孔隙度/%	粉粒含量/(g·kg^{-1})	黏粒含量/(g·kg^{-1})
A	0—20	8.89±0.12a	5.07±0.04a	1.22±0.096a	46.1±1.7a	35.2±1.6a	10.9±0.4 ab	17.72±1.8a	8.12±1.3a
	20—40	5.57±0.01b	4.68±0.05a	1.24±0.025 ab	44.5±1.2 ab	32.7±1.5a	11.8±0.9a	18.92±2.2a	8.32±1.4a
	40—60	5.10±0.09c	4.72±0.01a	1.36±0.054b	41.4±1.5b	33.7±1.3a	7.7±0.4b	18.68±1.6a	8.52±1.0a
B	0—20	16.76±0.91a	6.90±0.02a	1.01±0.078a	53.2±2.1a	46.5±3.1a	6.7±0.4a	15.08±1.3a	5.0±0.6a
	20—40	12.27±0.11b	6.65±0.03a	1.20±0.029b	49.0±2.4 ab	42.5±2.7a	6.5±0.7a	14.04±1.1a	5.48±0.4a
	40—60	11.64±0.20b	6.62±0.04a	1.35±0.081c	47.7±1.7b	43.8±1.9a	3.9±0.3b	14.48±1.5a	5.72±0.8a
C	0—20	5.09±0.05a	6.12±0.03a	1.52±0.037a	41.8±1.7a	36.9±2.4a	4.9±0.3a	9.12±1.0a	4.32±1.2a
	20—40	4.66±0.08b	6.20±0.01a	1.61±0.058a	39.5±1.9a	36.1±3.0a	3.4±0.4b	9.04±1.2a	4.36±0.5a
	40—60	3.85±0.11c	6.48±0.04a	1.61±0.052a	37.7±1.3a	35.1±2.1a	2.6±0.2c	6.92±1.5b	2.96±0.3b
D	0—20	19.90±2.21a	4.02±0.02a	1.21±0.142a	40.1±2.2a	33.2±1.5a	6.9±1.1a	8.88±2.1a	2.2±0.3a
	20—40	14.92±2.32b	4.17±0.03a	1.34±0.041a	41.6±1.5a	32.1±1.7a	9.5±1.2b	6.96±1.2a	2.08±0.1a
	40—60	12.92±0.85c	4.07±0.03a	1.38±0.090a	40.6±1.4a	33.3±1.4a	7.4±0.9 ab	8.52±1.5a	2.16±0.2a
E	0—20	15.09±0.74a	4.20±0.05a	1.23±0.102a	44.7±2.3a	41.5±2.1a	3.3±0.5a	10.6±2.2a	4.52±0.6a
	20—40	10.70±0.48b	4.10±0.04a	1.28±0.077a	44.9±2.5a	42.0±2.3a	2.9±0.1a	8.88±2.1a	6.48±0.9b
	40—60	10.27±0.07b	4.07±0.03a	1.36±0.075a	44.4±1.6a	40.9±2.0a	3.5±0.4a	8.24±1.3a	2.8±0.5c
F	0—20	7.87±0.40a	5.90±0.02a	1.39±0.086a	41.2±2.5a	36.2±1.6a	5.0±0.7a	3.32±0.8a	2.16±0.7a
	20—40	6.55±0.13b	6.01±0.01a	1.29±0.063a	42.7±2.7a	35.6±2.1a	7.2±0.9b	4.48±0.4 ab	2.4±0.9a
	40—60	5.41±0.08c	6.49±0.04a	1.48±0.125a	28.6±1.0b	24.7±1.5b	3.9±0.5c	5.032±0.6b	3.14±1.0a
G	0—20	7.86±0.15a	4.20±0.03a	1.25±0.127a	45.7±3.3a	37.5±1.3a	8.1±0.3a	9.24±2.1a	3.72±0.9a
	20—40	5.31±0.30b	4.07±0.02a	1.30±0.144a	43.7±2.8a	38.1±1.5 ab	5.6±0.5b	10.24±2.0a	3.32±0.3 ab
	40—60	4.43±0.20c	4.15±0.03a	1.30±0.041a	46.2±1.9a	42.6±1.7b	3.6±0.2c	10.0±1.8a	2.44±0.5b

注:不同林分编号的具体处理详见表 1;同一样地不同土层间不同字母表示差异显著($p<0.05$)。下同。

3　结果与分析

3.1　不同样地的土壤渗透性能分析

土壤渗透性能是土壤的重要水分物理性质之一,也是林分涵养水源的重要指标。土壤的渗透性能的优劣直接关系到地表产生径流量的大小,也对土壤侵蚀的发生和发展影响很大[12-13]。从图 1 中可以看出,不同样地土壤渗透指标差异较大,且随着土层深度的增加,土壤的初始入渗率、稳定入渗率、平均入渗率、渗透总量以及渗透系数均呈现降低趋势,这与根系分布对森林土壤孔隙度的影响关系密切。渗透总量的范围介于 6.77～96.57 mm,退耕 5 a 硬头黄竹林最高,非退耕撑绿竹林最低。0—20 cm 土层初始入渗率范围在 0.90～4.00 mm/min,最高的为非退耕硬头黄竹林,其次为农耕地(3.00 mm/min),退耕 10 a 撑绿竹林初渗率最低。稳定入渗率和平均入渗率最高的为退耕 5 a 硬头黄竹林,分别为 1.61 和 1.85 mm/min,为最低值的 298.15%和 318.97%。20—40 cm 土层初渗率则以退耕 10 a 硬头黄竹和非退耕硬头黄竹最高,而稳定入渗率和平均入渗率最高的仍为退耕 5 a 硬头黄竹林,不同样地类型的土壤平均入渗率大小顺序为:B>C>A>D>F>E>G。40—60 cm 土层土壤初始入渗率的范围为 0.30～1.30 mm/min,稳定入渗率范围为 0.11～0.79 mm/min,平均渗率为 0.13～0.99 mm/min。从结果中还可以看出,退耕 5 a硬头黄竹的各项指标均显著高于其它林分,该林分渗透性能最好;而撑绿竹 3 种林分(E,F,和 G)各指标均较低,说明该竹种对土壤性状的改良作用较硬头黄竹弱。

3.2　不同样地类型土壤渗透模型

有关土壤水分入渗的数学模型有许多,包括纯经验公式和半理论、半经验模型。如 Green—Ampt 公式,Philip 公式,Kostiakov 经验公式,Horton 公式和 Smith—Parange 入渗方程等[4-5]。本研究采用较为准确、常用的 Kostiakov 经验公式和 Horton 公式进行渗透模拟。

(1) Kostiakov 公式:

$$f(t)=at^{-b}$$

式中:$f(t)$——渗透速率;a,b——拟合参数;t——入渗时间。

(2) Horton 公式:

$$f(t)=f_c+(f_0-f_c)e^{-\beta t}$$

式中:f_c——稳渗率;f_0——初渗率;β——拟合参数;t——入渗时间。拟合结果见表 3。

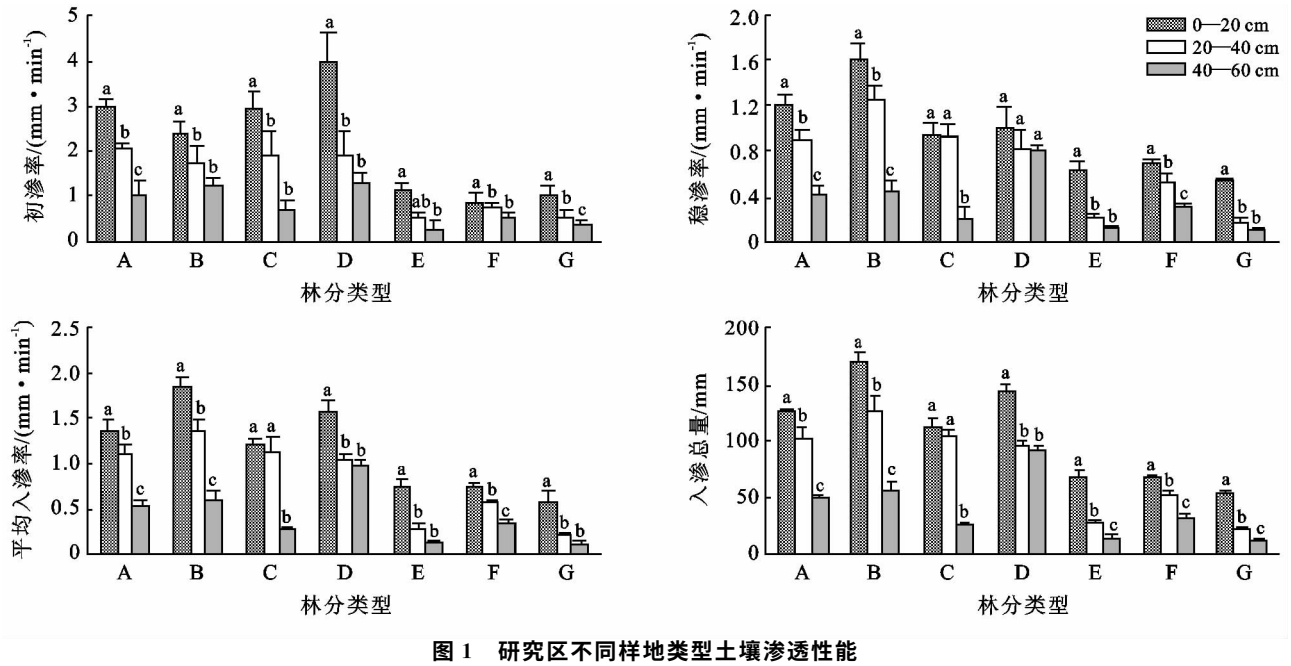


图 1 研究区不同样地类型土壤渗透性能

由拟合结果(表 3)可以看出,2 种模型均与土壤渗率呈现极显著相关关系,但在拟合优度上各有不同。 Kostiakov **公式拟合度在** 0.893～0.991,**以** 0—20 cm **土层退耕** 10 a **硬头黄竹林最高,最低为非退耕硬头黄竹的** 40—60 cm **土层;** Horton **公式拟合度范围为** 0.850～0.985,**拟合度最高的为退耕** 10 a **撑绿竹** 40—60 cm **土层,最低为非退耕撑绿竹** 40—60 cm **土层。从** 2 **种模型的全部** 21 **个方程拟合度来看,** Kostiakov **模型的最优模型数为** 17,**占总数的** 80.95 %,**显著高于** Horton **模型的** 4 **个(**19.05%**),表明在研究区采用** Kostiakov **模型进行模拟土壤水分渗透效果更好。**

表 3 不同样地类型不同层次土壤入渗模型

样地类型	土层/cm	Kostiakov 模型			Horton 模型		
		方程	拟合度 r	显著性 F	方程	拟合度 r	显著性 F
A	0—20	$y=2.769t^{-0.393}$	0.962	110.77	$y=1.20+2.110e^{-0.513t}$	0.904	35.76
	20—40	$y=2.170t^{-0.384}$	0.963	115.37	$y=0.90+2.660e^{-0.379t}$	0.956	85.25
	40—60	$y=0.991t^{-0.345}$	0.970	145.78	$y=0.43+0.823e^{-0.493t}$	0.919	43.30
B	0—20	$y=2.682t^{-0.212}$	0.907	41.68	$y=1.61+2.452e^{-0.493t}$	0.916	41.65
	20—40	$y=1.759t^{-0.140}$	0.945	75.84	$y=1.25+0.732e^{-0.334t}$	0.866	23.89
	40—60	$y=1.298t^{-0.441}$	0.924	52.51	$y=0.45+1.711e^{-0.482t}$	0.917	42.15
C	0—20	$y=2.859t^{-0.498}$	0.991	506.04	$y=0.95+4.177e^{-0.583t}$	0.975	151.50
	20—40	$y=2.053t^{-0.336}$	0.970	141.33	$y=0.94+2.589e^{-0.539t}$	0.928	49.60
	40—60	$y=0.760t^{-0.604}$	0.942	70.79	$y=0.21+0.791e^{-0.451t}$	0.933	54.02
D	0—20	$y=5.345t^{-0.734}$	0.949	81.16	$y=1.00+10.923e^{-0.642t}$	0.976	159.61
	20—40	$y=1.908t^{-0.348}$	0.931	58.15	$y=0.82+2.482e^{-0.489t}$	0.937	52.29
	40—60	$y=1.474t^{-0.234}$	0.893	35.48	$y=0.79+1.353e^{-0.384t}$	0.891	30.98
E	0—20	$y=1.167t^{-0.263}$	0.971	150.06	$y=0.63+1.152e^{-0.487t}$	0.939	60.05
	20—40	$y=0.551t^{-0.370}$	0.974	164.33	$y=0.23+0.581e^{-0.460t}$	0.907	37.02
	40—60	$y=0.334t^{-0.439}$	0.960	105.72	$y=0.12+0.272e^{-0.387t}$	0.957	82.23
F	0—20	$y=0.908t^{-0.115}$	0.982	238.39	$y=0.69+0.332e^{-0.353t}$	0.951	75.15
	20—40	$y=1.768t^{-0.162}$	0.976	176.21	$y=0.53+0.42e^{-0.431t}$	0.966	110.44
	40—60	$y=0.513t^{-0.209}$	0.987	327.09	$y=0.31+0.267e^{-0.322t}$	0.985	265.91
G	0—20	$y=0.914t^{-0.249}$	0.961	108.16	$y=0.54+0.442e^{-0.421t}$	0.959	92.36
	20—40	$y=0.600t^{-0.573}$	0.917	47.51	$y=0.18+0.508e^{-0.502t}$	0.910	38.69
	40—60	$y=0.387t^{-0.636}$	0.939	67.23	$y=0.11+0.234e^{-0.367t}$	0.850	20.79

3.3　不同样地类型土壤渗透性能的综合评价

为比较不同样地土壤渗透能力优劣次序,现对各土层土壤初始入渗率(Y_1)、稳定入渗率(Y_2)、平均入渗率(Y_3)和前 60 min 总渗透总量(Y_4)指标进行主分量分析(表 4)。从表 4 可以看出,前两个主分量的方差累积贡献率高达 99.80%,信息损失量较少,几乎可以解释整个总体方差,其中又以第 1 主分量的方差积累贡献率最高,为 94.13%。从主成分分析结果中得出,各因子载荷量分别为 0.915(Y_1),0.971(Y_2),0.997(Y_3)和 0.996(Y_4),以平均渗率值最高。再根据其特征值与因子载荷矩阵,得出其主成分因子表达式为:

$F=0.471\ 6Y_1+0.500\ 4Y_2+0.513\ 8Y_3+0.513\ 3Y_4$

式中:Y_{1-4}——各指标标准化数据。说明 4 个变量的载荷几乎相等,故可以解释为对渗透能力总的量度。

表 4　研究区土壤渗透主分量

参数	第 1 主分量 P_1	第 2 主分量 P_2	第 3 主分量 P_3	第 4 主分量 P_4
Y_1	0.915	0.403	0.022	−4.20E−06
Y_2	0.971	−0.232	0.063	0
Y_3	0.997	−0.062	−0.047	0.003
Y_4	0.996	−0.082	−0.035	−0.003
特征值	94.128	5.673	0.198	0
贡献率	94.128	99.802	100	100
累计贡献率	2.410	1.578	0.011	2.38E−05

采用刘道平等[10]的方法,以第一主分量的标准化得分值为 X 轴,以第二主分量标准化得分值为 Y 轴,做散点图(图 2)。

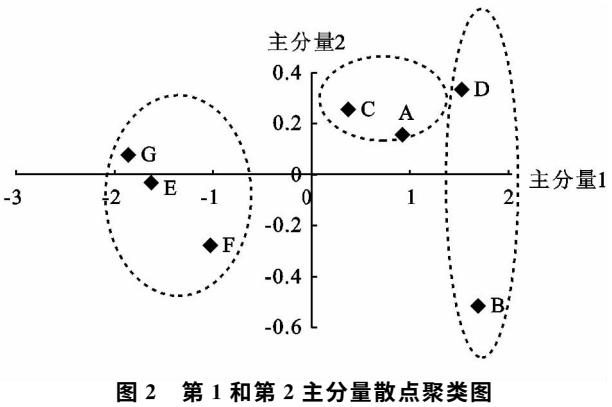


图 2　第 1 和第 2 主分量散点聚类图

根据图 2 中各样地综合评价得分($Q_{综}$),可将不同样地土壤渗透能力进行聚类:第 1 类为退耕 5 a 和非退耕硬头黄竹($Q_{综}\geqslant 1.0$),其土壤渗透能力强,主要是因为这两种竹林土壤通透性好和有机质含量高,有利于土壤渗透性的增加;第 2 类为农耕地和退耕 10 a硬头黄竹($0\leqslant Q_{综}<1$),土壤渗透能力较强,其中,农耕地综合得分较高,主要与耕种作业中土壤整地翻耕,土壤通透性和孔隙度得到增加有关;第 3 类为 3 种撑绿竹林($Q_{综}<0$),土壤渗透能力一般或较差,说明撑绿竹林地土壤紧实、土壤结构差及通透性不佳,总体而言,聚类分析与实测结果相吻合,各样地间土壤渗透能力差异明显,硬头黄竹林土壤渗透性优于撑绿竹林。

4　结 论

(1) 不同退耕年限竹林内土壤渗透性存在较大差异。0—60 cm 土层中不同竹林渗透总量的范围介于 6.77～96.57 mm,且均以退耕 5 a 硬头黄竹林最高,最低为非退耕撑绿竹林,各渗透性指标随土层深度的增加而降低,符合土壤渗透性的一般性规律[10-11,14-17],对不同土壤水分入渗过程进行模拟的结果表明,Kostiakov 模型和 Horton 模型均能对不同竹林土壤入渗效果进行较好的拟合,其中,Kostiakov 模型不同土层间最优模型数占 80.95%,而 Horton 模型仅占最优模型数的 19.05%,故在研究区使用 Kostiakov 模型来模拟土壤水分入渗效果最好。

(2) 硬头黄竹土壤渗透性能优于硬头黄竹林。对不同竹林土壤渗透性进行主分量分析,得到表征土壤渗透性能主分量方程,并通过散点聚类和综合评价得分分析,对不同样地土壤渗透性能进行等级划分。结果表明,硬头黄竹在退耕 5 a 便可达到较好的土壤渗透性能,然而,随着退耕年限的增加,人为活动(如踩踏、伐竹、搬运等)对竹林林地干扰加剧,表层土壤容重增加,土壤通透性和土壤非毛管孔隙度降低[18-20],最终导致退耕 10 a 时竹林林地土壤渗透性降低。与撑绿竹相比,硬头黄竹作为乡土竹种,对环境及立地条件具有更好的适应性,故其对土壤渗透能力具有更好的改良效果。

(3) 与其它退耕树种不同[21],竹林随着退耕年限的增加,土壤物理性质呈现出先升高后降低的趋势,而土壤养分则呈现下降的趋势,这主要是由竹林的连年采伐和林地经营不善所造成[17]。随着竹林林龄的增加,竹林在经营过程中土壤不断熟化和植物的不断消耗以及采伐等将大量的营养物质带出林外,造成土壤养分缺失,降低了土壤质量。因此要维持退耕竹林的土壤质量,延缓土壤质量退化年限和转变土壤质量发展方向,就必须加强管理,及时补给林地肥力,特别是增施有机肥,使竹林向着发挥其正常生态功能的方向发展。

(4) 本研究采用分层次多指标法对不同退耕还

竹林土壤渗透性进行研究，有效降低了因外界环境因素如长历时降水等对单一土层带来的影响，结果更为准确。但众多学者研究表明植物根系深刻地影响着土壤的渗透性能，并通过选取单位体积的根系分支、根重或根长和根系径级分级等不同方法对其进行分析，为揭示根系对土壤渗透性能的影响提供了思路。此外，土壤石砾含量及大小[22]、土壤微生物和土壤酶活性等因素对土壤渗透性的影响还将随着研究的深入而逐步展开。

[参 考 文 献]

[1] 李卓，吴普特，冯浩，等. 容重对土壤水分入渗能力影响模拟试验[J]. 农业工程学报，2009，25(6)：40-45.

[2] Franzluebbers A J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth [J]. Soil Tillage Research, 2002, 66(2)：197-205.

[3] 赵洋毅，王玉杰，王云琦，等. 滦北水源区水源涵养林构建模式对土壤渗透性的影响[J]，生态学报，2010，30(15)：4162-4172.

[4] 余新晓，赵玉涛，张志强，等. 长江上游亚高山暗针叶林土壤水分入渗特征研究[J]. 应用生态学报，2003，14(1)：15-19.

[5] 漆良华，张旭东，周金星，等. 湘西北小流域典型植被恢复群落土壤贮水量与入渗特性[J]. 林业科学，2007，43(3)：1-7.

[5] 张志强，王礼先，余新晓，等. 渗透坡面林地地表径流运动的有效糙率研究[J]. 林业科学，2000，36(5)：22-27.

[6] 周玉成，刘硕，田育新，等. 湘西南山地典型植物群落森林土壤渗透性能研究[J]. 水土保持研究，2007，14(5)：255-258.

[8] 王景燕，胡庭兴，龚伟，等. 川南坡地不同退耕模式对土壤团粒结构分形特征的影响[J]. 应用生态学报，2010，21(6)：1410-1416.

[9] 中华人民共和国林业行业标准. LY/T 1210—1275 森林土壤分析方法[S]. 北京：国家林业局，1999.

[10] 刘道平，陈三雄，张金池，等. 浙江安吉主要林地类型土壤渗透性[J]. 应用生态学报，2007，18(3)：493-498.

[11] 张昌顺，范少辉，官凤英，等. 闽北毛竹林的土壤渗透性及其影响因子[J]. 林业科学，2009，45(1)：36-42.

[12] 田育新，李锡泉，吴建平，等. 小流域森林生态系统林地土壤渗透性能研究[J]. 水土保持研究，2006，13(4)：173-175.

[13] 黄高宝，罗珠珠，辛平，等. 耕作方式对黄土高原旱地土壤渗透性能的影响[J]. 水土保持通报，2007，27(6)：5-8，66.

[14] 赵西宁，吴发启. 土壤水分入渗的研究进展和评述[J]. 西北林学院学报，2004，19(1)：42-45.

[15] Murray C D, Buttle J M. Infiltration and soil water mixing on forested and harvested slopes during spring snowmelt, Turkey lakes watershed, central Ontario [J]. Journal of Hydrology, 2005，306(1/4)：1-20.

[16] 田大伦，陈书军. 樟树人工林土壤水文—物理性质特征分析[J]. 中南林学院学报，2005，25(2)：1-6.

[17] 范少辉，刘广路，官凤英，等. 不同管护类型毛竹林土壤渗透性能的研究[J]. 林业科学研究，2009，22(4)：568-573.

[18] 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.

[19] Yates C J, Norton D A, Hobbs R J. Grazing effects on plant cover, soil and microclimate in fragmented woodlands in South-western Australia: Implications for restoration [J]. Austral Ecology, 2000，25(1)：36-47.

[20] Messing I, Alriksson A, Johansson W. Soil physical properties of afforested and arable land[J]. Soil Use and Management, 1997，13(4)：209-217.

[21] 彭文英，张科利，陈瑶，等. 黄土坡耕地退耕还林后土壤性质变化研究[J]. 自然资源学报，2005，20(2)：272-278.

[22] 时忠杰，王彦辉，于澎涛，等. 六盘山森林土壤中的砾石对渗透性和蒸发的影响[J]. 生态学报，2008，28(12)：6090-6098.