

文章编号: 1108 - 2786 - (2016) 1 - 38 - 08

DOI: 10. 16089/j. cnki. 1008 - 2786. 000098

不同植茶年限茶园土壤的物理性状及渗透性能

陈玉真^{1 2} 王峰^{1 2} 尤志明^{1 2*} 吴志丹^{1 2} 江福英^{1 2} 张文锦^{1 2} 翁伯琦²

(1 福建省农业科学院茶叶研究所 福建 福安 355015;

2 福建省红壤山地农业生态过程重点实验室 福建 福州 350013)

摘 要: 利用环刀法、主成分分析法及 Pearson 相关分析法,对闽东丘陵山地不同植茶年限茶园(撂荒地作为对照)土壤物理性状及渗透性能进行了研究,并评价了 4 种常用入渗模型的适宜性。结果表明: 1) 与撂荒地处理相比,新垦 3 a 茶园土壤容重显著增加,土壤总孔隙度、毛管孔隙度、最大持水量和毛管持水量显著降低,随着植茶年限的增加,茶园土壤物理性状均有所改善。2) 不同处理均表现为初始渗透速率 > 平均渗透速率 > 稳定渗透速率,与撂荒地处理相比,新垦茶园显著降低了土壤渗透性能,成龄茶园(10 a、30 a 和 50 a)茶园土壤渗透性能高于撂荒地,改植换种茶园渗透性能与撂荒地接近;主成分分析评价的土壤入渗能力排序为 50 a 茶园 > 10 a 茶园 > 30 a 茶园 > 撂荒地 > 改制换种 2 a 茶园 > 新垦 3 a 茶园。3) Horton 模型对各处理土壤入渗过程的拟合度最高,其模拟值与实测值接近。4) Pearson 相关分析显示,土壤渗透性能与土壤容重呈显著或极显著负相关,与土壤总孔隙度均呈显著或极显著正相关关系,与其他指标相关性不显著。以上结果表明,新垦茶园显著降低了土壤物理性状和渗透性能,成龄茶园(10 a、30 a 和 50 a)有助于改善土壤渗透性能,Horton 模型对于丘陵山地茶园土壤入渗过程具有较高实用性。

关键词: 丘陵山地; 植茶年限; 土壤渗透性能; 拟合模型

中图分类号: S152.7⁺2

文献标志码: A

土壤渗透是指水分通过地表向下的流动过程,其性能与降雨后土壤水分再分配、地表和地下径流、土壤侵蚀、养分的迁移及面源污染等问题密切相关,是评价生态系统水分调节功能的重要指标之一^[1-2]。土壤入渗是一个复杂的动态过程,它受到土壤环境因子(土壤初始含水率、降雨强度和积水状况等)、土壤理化性质(质地、土壤容重及孔隙度和肥力状况等)、土地利用方式和耕作条件等多种因素的影响^[3-8],且存在强烈的空间异质性。为了定量描述和拟合土壤入渗过程,国内外研究者已经建立 Kostiakov、Philip、Horton 及幂函数等入渗模型^[9-11],但不同植被类型的最优拟合模型也不尽相

同。

茶园是我国亚热带丘陵山区重要的土地利用类型,受茶园“三光”栽培措施(梯壁光、梯埂光和园面光)和立地条件的影响,使得茶园(尤其是新垦茶园)覆盖度较低且坡度大,易受季节性暴雨的直接冲刷,造成水土流失^[12]。由于茶园管理措施(施肥、除草和耕作等)、茶树凋落归还土壤以及根系分泌物等原因,随着植茶年限增加,茶园土壤理化性质发生了一系列变化。如土壤 pH 下降^[13],团粒结构再分布^[14]及盐基离子相对缺乏^[15]等,有关土壤渗透性能方面的研究少见报道。因此,本文以福建省丘陵山地主要利用类型(茶园)为研究对象,研究不同

收稿日期(Received date): 2015 - 06 - 30; 改回日期(Accepted): 2015 - 07 - 31。

基金项目(Foundation item): 国家科技支撑计划(2014BAD15B01); 福建省公益类科研院所专项(2014R1012 - 10); 国家茶叶产业体系(CARS - 23)。[Supported by the national Science-technology Support Plan Projects(2014BAD15B01); Fujian funding scientific research program(2014R1012 - 10); China tea research system(CARS - 23).]

作者简介(Biography): 陈玉真(1985 -),女(汉),硕士,助理研究员,主要从事茶树栽培与环境生态研究。[Chen Yuzhen(1985 -),female(Han nationality),mainly engaged in research on tea cultivation and ecology.] E-mail: 82458lin@163.com

* 通信作者(Corresponding author): 尤志明(1964 -),男,学士,研究员,主要从事作物栽培研究。[You Zhiming(1964 -),male,bachelor,Professor,mainly engaged in research on crop cultivation.] E-mail: 847842412@qq.com

植茶年限下茶园土壤水分的入渗规律,并探讨土壤理化性质对渗透性能的影响,以期为制定茶园水土保持措施和防治土壤侵蚀提供科学依据。

1 研究区域概况和试验方法

1.1 研究区域概况

供试土壤取自福建省福安市社口镇福建省农业科学院茶叶研究所试验基地(119°57'E, 22°22'N),年均气温19.3℃,年均降雨量1646 mm,无霜期为285 d,属于中亚热带季风气候。基地内为低山丘陵地貌,土壤类型为黄壤,主要植被类型为茶园。

1.2 试验设计和样品采集

为研究不同植茶年限茶园土壤渗透性能,本研究设置了6个处理:Ⅰ(撂荒地对照)、Ⅱ(新垦3 a茶园,茶树品种为金观音)、Ⅲ(种植10 a茶园,茶树品种为金观音)、Ⅳ(改植换种2 a茶园,茶树品种为紫玫瑰)、Ⅴ(30 a茶园,茶树品种为福云10号)和Ⅵ(50 a茶园,茶树品种为朝阳)。在不同类型样地中随机布设3个样点进行土壤样品的采集,用环刀采集0~5 cm的原状土样品,用自封袋装好后带回实验室分析,采样时间为2015年3月。为降低边际效应的影响,采样前在环刀内侧涂石蜡,防止入渗过程中边缘漏水,试验用环刀高为5 cm,体积为100 cm³。

1.3 测定方法及数据分析

入渗过程的测定采用环刀法^[16-17],具体过程如下:在装有原状土的环刀上方对接一个空环刀,从外侧用704密封胶密封两个环刀间的缝隙,风干后再用医用密封胶再次密封(确保不漏水),利用铁架台固定密封后的双环刀,并保持环刀口水平,在下部环刀土体下方放置漏斗和烧杯,收集穿透土体的水分。试验装置固定后,向空环刀内加水至环刀口水平,待漏斗下方滴下第一滴水开始计时,分别在第1、2、3、4、5、10、15、20、30、40、60 min……更换烧杯,直至达到稳定状态,并分别测量渗水量。试验进行到连续3次更换的烧杯内水量相同时视为达到稳定状态。试验过程中要及时往上部环刀加水,以保持土层厚度在5 cm处,同时用温度计测定入渗的水温,将测得的渗透速率 K_{θ} 值,换算为10℃时的渗透速率 K_{10} 值。分别计算初始渗透率(本研究选取初始1 min内渗透水量来表示)、平均渗透率、稳定渗透率(单位时间内的渗透量趋于稳定时的渗透速

率)、前30 min渗透量和总渗透量。

采用环刀法测定土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、最大持水量和毛管持水量;自然含水率采用烘干法。

参照相关研究结果^[9-11],采用常见的4种入渗模型模拟茶园土壤渗透过程:Kostiakov入渗模型、Philip入渗模型、Horton入渗模型以及通用经验公式。利用SPSS19.0统计软件进行方差分析、主成分分析、土壤入渗过程模拟和Pearson相关分析,图和表制作分别采用GraphPad Prism 5和Microsoft Excel2003软件。

2 结果与分析

2.1 不同植茶年限茶园土壤物理性状

表1为不同植茶年限茶园土壤物理性状。从表中可以看出,与撂荒地相比,新垦3 a茶园土壤容重显著增加($p < 0.05$),土壤总孔隙度、毛管孔隙度、最大持水量、毛管持水量和初始含水率均显著降低($p < 0.05$);随着植茶年限的增加,茶园土壤物理性状均有所改善,10 a茶园、30 a茶园和50 a茶园土壤容重降低了2.03%~11.78%,土壤总孔隙度、最大持水量和毛管持水量增加了1.30%~8.11%、1.24%~28.89%和2.67%~32.06%,其中10 a茶园土壤物理性状最优,30 a茶园和撂荒地接近;与撂荒地相比,改制换种2 a茶园土壤物理性状下降,其中土壤总孔隙度、毛管孔隙度、最大持水量、毛管持水量和初始含水率均显著下降($p < 0.05$),说明老茶园改制换种过程中破坏了土壤结构,引起表土层物理性状下降。

2.2 不同植茶年限茶园土壤入渗性能

2.2.1 不同植茶年限茶园土壤入渗过程分析

土壤渗透性能是评价土壤水分入渗速度极为重要的土壤物理特征参数之一。从土壤水分渗透速率随时间的变化曲线来看(图1),开始阶段土壤入渗速率大,随着入渗时间的增加,入渗速率迅速下降,并逐渐达到稳定状态,但各处理达到稳渗时间有所不同。新垦茶园达到稳渗速率的时间约为60 min,撂荒地和改制换种2 a茶园达到稳渗速率的时间为80 min,10 a茶园和50 a茶园达到稳定的时间为100 min。从表2可以看出,不同处理均表现为初始渗透速率>平均渗透速率>稳定渗透速率;初始渗透速率、平均渗透速率和稳定渗透速率最低值均出

现在新垦茶园,分别为 1.50、0.69 和 0.33 mm/min,均显著低于其他处理($p < 0.05$);植茶年限大于 10 a 的茶园初始渗透速率显著高于撂荒地、改制换种 2 a 茶园和新垦茶园($p < 0.05$),10 a 和 50 a 茶园之间

差异不显著($p > 0.05$),撂荒地和改植换种 2 a 茶园之间差异不显著($p > 0.05$);前 30 min 渗透量和渗透总量均以 50 a 茶园最大,新垦茶园最低,撂荒地和改植换种 2 a 茶园之间接近。

表 1 不同植茶年限茶园土壤物理性状变化

Tab. 1 Soil physical parameters in tea garden with different plantation ages

茶园	土壤容重 $/(g/cm^3)$	土壤总孔隙度 $/\%$	毛管孔隙度 $/\%$	非毛管孔隙度 $/\%$	最大持水量 $/(g/kg)$	毛管持水量 $/(g/kg)$	初始含水率 $/\%$
撂荒地	1.09b	58.94b	46.08b	12.86c	46.50c	42.36c	31.11a
新垦茶园	1.27a	52.06c	36.31d	15.75b	30.25e	28.56d	15.97b
10 a 茶园	0.96c	63.72a	53.76a	9.95d	59.93a	55.94a	31.02a
改植换种 2 a 茶园	1.12b	57.92b	35.41d	22.51a	36.14d	31.80d	15.18b
30 a 茶园	1.07bc	59.71b	41.07c	18.64ab	47.08bc	43.49bc	27.75a
50 a 茶园	1.00c	62.17a	46.76b	15.41bc	51.08b	46.66b	30.00a

注:表中小写字母表示不同处理间的显著性差异,下同。

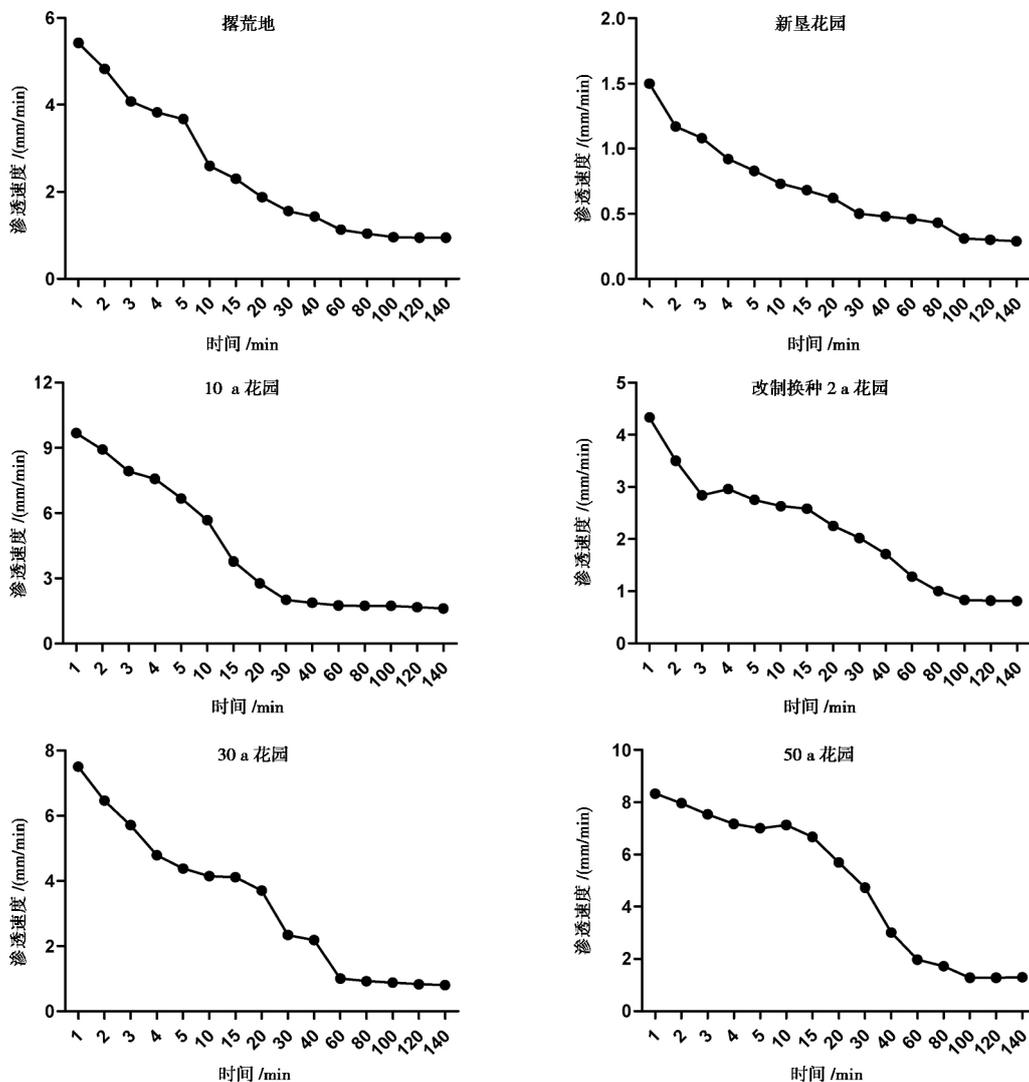


图 1 各样地土壤入渗过程曲线

Fig 1 Soil infiltration curves of the sampling plots

表 2 不同样地的土壤入渗特征

Tab. 2 Characteristics indices soil infiltration of the sampling plots

茶园	初始入渗率 /(mm/min)	平均渗透率 /(mm/min)	稳渗率 /(mm/min)	前 30 min 渗 透量/(mL)	渗透总量 /(mL)
撂荒地	5.42c	2.44c	0.96c	285.33c	745.00d
新垦茶园	1.50d	0.69d	0.33d	82.67d	245.00e
改植换种 2 a 茶园	4.33c	2.15c	0.83c	295.37c	741.53d
10 a 茶园	9.83a	4.38a	1.72a	489.67b	1 245.33b
30 a 茶园	7.50b	3.32b	0.88c	448.17b	889.50c
50 a 茶园	8.33a	4.85a	1.28b	731.33a	1 455.33a

表 3 土壤渗透性主成分分析

Tab. 3 Principal component analysis of soil infiltration

参数	主分量				
	P1	P2	P3	P4	P5
X ₁	0.449 2	0.294 3	-0.774 3	-0.327 1	0.070 7
X ₂	0.462 2	-0.136 4	-0.122 1	0.686 1	-0.531 2
X ₃	0.427 7	0.687 3	0.464 4	0.174 3	0.314 0
X ₄	0.437 5	-0.617 5	0.040 1	0.089 9	0.646 2
X ₅	0.458 5	-0.202 8	0.410 1	-0.619 5	-0.443 4
特征值	4.649 0	0.288 0	0.061 6	0.001 3	0.000 1
贡献率	92.979 6	5.760 8	1.232 3	0.026 2	0.001 1
累计贡献率	92.979 6	98.740 4	99.972 7	99.998 9	100

2.2.2 茶园土壤入渗性能主成分分析

为比较不同植茶年限茶园土壤入渗能力,以初始渗透率(X₁)、平均渗透率(X₂)、稳渗率(X₃)、前 30 min 渗透量(X₄)和总渗透量(X₅)为因变量为评价指标,进行主成分分析(表 3)。结果表明,前两个主分量的方差累积贡献率高达 98.74%,几乎解释了整个总方差,信息量损失非常少。其中又以第 1 主分量提供的信息量最大,方差贡献率达 92.97%。根据表 3 可以得到因子得分函数: $P1 = 0.4492X_1' + 0.4622X_2' + 0.4277X_3' + 0.4375X_4' + 0.4585X_5'$ (X_i' 为各指标的标准化数据)。为了直观地比较不同植茶年限土壤入渗性能,根据第一个主分量方程,计算土壤渗透性能得分(表 4),并进行排序。不同植茶年限茶园土壤渗透性能顺序为: 50 a 茶园 > 10 a 茶园 > 30 a 茶园 > 撂荒地 > 改制换种 2 a 茶园 > 新垦茶园。

2.2.3 茶园土壤入渗模型拟合

土壤入渗模型能够反映入渗速率随时间变化规律,从而对土壤入渗过程作出定性或定量的描述。从表 5 可以看出,4 个土壤入渗模型的拟合精度存

在差异,其中拟合精度以 Horton 方程最高(R² 值为 0.92 ~ 0.99),Horton 模型的数学拟合值与实测值接近,拟合值和实测值相差 0.8% ~ 18.31(均值为 6.74%); Kostiakov 次之,拟合值与实测值相差 2.08% ~ 23.36%(均值为 13.74%); Philip 和通用经验公式拟合值均明显大于实测值,拟合值与实测值分别相差 73.33% ~ 118.39%(均值为 98.20%) 和 3.34% ~ 432.13%(均值为 98.97%),由此可见 Horton 模型能较好地定量评价各处理土壤入渗过程与入渗时间的关系。

表 4 不同植茶年限茶园土壤渗透性能排序

Tab. 4 Rank of soil infiltration of tea garden with different plantation ages

茶园	得分	排序
撂荒地	-0.726 5	4
新垦茶园	-3.604 1	6
改植换种 2 a 茶园	-1.112 5	5
10 a 茶园	2.428 0	2
30 a 茶园	0.346 0	3
50 a 茶园	2.669 1	1

2.3 土壤理化性质对渗透性的影响

对土壤渗透性能各参数与土壤理化性质进行相关分析,结果表明(表 6),初始入渗率、平均渗透率、稳渗率、前 30 min 渗透量和渗透总量之间存在显著或极显著正相关;各渗透参数均与土壤容重呈显著或极显著负相关,而与土壤总孔隙度显著或极显著正相关;初始入渗率与非毛管孔隙度呈显著正相关,与其他指标相关性未达到显著性水平。

3 讨论

3.1 不同植茶年限对茶园土壤理化性质的影响

茶园大多由撂荒地或者林地开垦而成,顺坡种

表5 茶园土壤入渗模型的拟合结果

Tab. 5 Simulated results of the tea garden by using soil infiltration models

茶园	Kostiakov			Philip			Horton				通用经验公式			
	a	n	R ²	S	A	R ²	f _c	f ₀	K	R ²	a	b	n	R ²
撂荒地	5.89	0.36	0.98	11.14	0.63	0.95	1.10	5.46	0.098	0.98	7.32	1.66	0.23	0.99
新垦茶园	1.47	0.31	0.99	2.60	0.26	0.97	0.41	1.44	0.12	0.92	1.55	0.03	0.31	0.88
改制换种茶园	4.34	0.28	0.93	7.79	0.95	0.87	0.79	3.54	0.03	0.94	5.77	0.75	0.34	0.96
10 a 茶园	11.03	0.38	0.94	21.46	0.86	0.91	1.66	10.27	0.093	0.98	14.99	4.48	0.20	0.95
30 a 茶园	8.08	0.36	0.92	15.56	0.78	0.88	0.81	6.55	0.043	0.95	39.91	32.51	0.037	0.94
50 a 茶园	9.91	0.28	0.80	17.05	2.07	0.69	0.74	8.32	0.025	0.98	11.46	1.21	0.12	0.87

表6 土壤理化性质与渗透性的相关性

Tab. 6 Correlation coefficients between soil infiltration capacity and soil physical and chemical properties

	X1	X2	X3	X4	X5	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7
X1	1	0.88**	0.54*	0.76**	0.69**	-0.47*	0.47*	-0.15	0.53*	0.05	0.21	-0.03
X2		1	0.84**	0.96**	0.94**	-0.49*	0.49*	-0.02	0.43	0.18	0.13	0.09
X3			1	0.92**	0.91**	-0.53*	0.52*	0.14	0.22	0.32	0.26	0.17
X4				1	0.95**	-0.56*	0.56*	0.1	0.31	0.29	0.24	0.22
X5					1	-0.59**	0.58**	0.09	0.34	0.31	0.24	0.19

注: X1、X2、X3、X4 和 X5 分别表示初始入渗率、平均渗透率、稳渗率、前 30 min 渗透量和渗透总量; Y1、Y2、Y3、Y4、Y5、Y6 和 Y7 分别表示土壤容重、总孔隙度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、最大持水量、毛管持水量和初始含水率; 表中**表示检验相关性极显著($P < 0.01$); *表示检验相关性显著($P < 0.05$)。

植、超坡度开垦和清耕作业等管理措施大幅改变了自然土壤的理化性质,尤其是新垦茶园土壤理化性状较差,水土流失严重。本研究表明,与撂荒地相比,新垦 3 a 和改制换种 2 a 茶园土壤物理性状下降,随着植茶年限的增加,茶园土壤物理性状均有所改善,这与林绍霞等^[18]、彭萍等^[19]研究结果一致。不论是撂荒地新垦为茶园或衰老茶园改制换种,建园过程中均需使用机械进行梯壁建设和挖沟,机械作业导致土壤结构体受到严重破坏,从而使土壤物理性状在短时间无法恢复,表现为土壤总孔隙度、毛管孔隙度、最大持水量、毛管持水量和初始含水率均显著降低;日常耕作过程中踩踏易造成土壤板结,导致土壤容重显著增加,土壤紧实粘重;同时,这两类茶园建园初期园面覆盖度低,易直接遭受暴雨冲刷,致使土体表面开裂和有机质流失严重,进一步破坏了土壤物理性状。随着植茶年限的增加,受施肥、耕作及茶树根系分泌物的影响^[20],成龄茶园土壤容重下降,土壤总孔隙度和毛管孔隙度均有所增加,土壤物理性状逐渐恢复。成龄茶园封行后,大量的凋落物(修剪枝条和老叶)归还于土壤中分解转化,可及时补充土壤有机质的消耗,而且茶园土壤较少受到机械扰动,有助于改善土壤物理性状。由此可见,

与撂荒地相比,新垦茶园和改制换种 2 a 茶园土壤物理性状显著下降,定期补充有机质,加大有机肥投入,以改善土壤团粒结构和孔隙状况,并通过梯壁种草、园面铺草或套种绿肥等措施提高园面覆盖度,避免降雨直接冲刷,减缓地表径流的产生,避免表土和土壤养分流失。

3.2 不同植茶年限对土壤渗透性能的影响

由于茶园的经营(施肥、除草及耕作等)管理、凋落物归还土壤以及根系分泌物等原因,随着植茶年限的增加,茶园土壤理化性质发生了一系列变化,直接影响水分在土壤运输。本研究可以看出,新垦茶园土壤渗透性能显著降低,成龄茶园(10 a、30 a 和 50 a)土壤渗透能力显著高于撂荒地,这与杨玉梅等^[21]、刘道平等^[22]研究结果相近。影响土壤渗透能力的因素主要有土壤质地、水稳性团聚体含量、土壤容重、土壤有机质含量、初始含水率、土壤孔隙尤其是非毛管孔隙^[23-24]。与撂荒地相比,新垦茶园和改制换种茶园土壤容重较大,机械作业使得土壤团粒结构丧失,土壤孔隙减小,土壤变得紧密坚实,导致渗透能力降低,这与已有的研究结果基本一致^[25-26]。随着植茶年限的增加,成龄茶园土壤容重下降,土壤总孔隙度和毛管孔隙度均有所增加。孔

隙度的增加不仅有利于土壤中纵向的水分渗透,而且也加速了横向的水分渗透,能够对土壤水分渗透创造良好的条件^[27]。同时,成龄茶园凋落物归还量大,有机质含量相对较高,土壤团粒结构多且稳定性好,土壤土水势梯度大,在渗透的过程中渗吸的水量就多^[28]。分析土壤渗透性能与理化性质之间相关性表明,土壤渗透性能均与土壤容重呈显著或极显著负相关,与土壤总孔隙度呈显著或极显著正相关,土壤容重越小,土壤越疏松,孔隙度越大,透水和透气性越好,土壤入渗率就越高,这也证实了土壤容重增加和孔隙度降低是导致新垦茶园和改制换种茶园土壤渗透性能降低的主要因素。以往研究表明,随着植茶年限的增加,土壤理化性质发生转折性变化,通常发生在累积植茶50 a以后的高龄茶园^[29]。本研究表明,在未考虑茶树品种和管理措施的影响下,茶园土壤渗透性能排序为50 a茶园>10 a茶园>30 a茶园>撂荒地>改制换种2 a茶园>新垦茶园,渗透性能并未随着植茶年限的增加而增强。土壤渗透性能除了与植茶年限有关外,还与茶树品种和茶园管理方式有关,30 a生茶园茶树为绿茶品种,以生产大宗茶为主,每年采摘周期长且轮次多,凋落物归还量相对较少,封行后茶树培肥管理以氮肥撒施为主,有机物投入量低于生产名优茶的10 a生金观音茶园,使得土壤物理性状低于10 a生茶园,进而表现为渗透性能低于10 a生茶园。另外,10 a生茶园土壤初始含水率也高于30 a生茶园,湿润土壤的饱和导水能力大于干燥土壤的饱和导水能力^[30]。

选择合适的入渗模型能更方便、准确地看出土壤入渗性能的差异。本研究利用4种常见模型拟合土壤入渗过程发现,4种入渗模型的拟合精度存在较大差异,Horton模型能很好地拟合本区域土壤入渗过程,实测值与拟合值接近,这与胡建朋等^[31]对山东石灰岩林地土壤的研究结果一致;Philip和通用经验公式拟合值均明显大于实测值,说明不同区域适宜土壤入渗模型存在差别。由于土壤入渗性能存在极大的空间变异性,以后的研究中应加大取样点数量,以筛选出更为精确的土壤入渗模型。

4 结论

1. 与撂荒地相比,新垦3 a和改制换种2 a茶园土壤物理性状下降,表现为土壤容重增加,土壤总孔隙度、毛管孔隙度、最大持水量、毛管持水量和初

始含水率均显著降低($p < 0.05$);随着植茶年限的增加,茶园土壤物理性状均有所改善,10 a生茶园土壤物理性状最优,30 a生茶园和撂荒地接近。

2. 不同植茶年限茶园土壤渗透性能排序:50 a茶园>10 a茶园>30 a茶园>撂荒地>改制换种2 a茶园>新垦茶园,变化趋势与土壤理化性质基本一致;4个土壤入渗模型的拟合精度存在差异,以Horton模型对各处理土壤入渗过程的拟合度最高,其模拟值与实测值接近,可以作为本地区茶园土壤入渗过程的拟合方程。

3. 土壤渗透性能与土壤容重呈显著或极显著负相关,与土壤总孔隙度均呈显著或极显著正相关关系,与其他指标相关性不显著,说明孔隙状况是影响茶园土壤渗透影响的主要因素,应定期中耕松土和补充有机质以改善土壤孔隙状况。

参考文献(References)

- [1] 段文标, 颜永强, 赵雨森. 莲花湖区落叶松水源涵养林土壤入渗性能的空间分布特征[J]. 自然资源学报, 2010, 25(12): 2081-2090 [Duan Wenbiao, Yan Yongqiang, Zhao Yusen. Spatial distribution characteristics of soil infiltration capacity in water conservation forest of Larix gmelini in Lianhua Lake Reservoir Area [J]. Journal of Natural Resources 2010, 25(12): 2081-2090]
- [2] Jimenez C C, Tejedor M, Morillas G, et al. Infiltration rate in andosols: effect of changes in vegetation cover (Tenerife, Spain) [J]. Journal of soil and water conservation 2006, 61(3): 153-158
- [3] Rachman A, Anderson S H, Gantzer C J, et al. Influence of stiff-stemmed grass hedge systems on infiltration [J]. Soil Science Society of America Journal 2004, 68(6): 2000-2006
- [4] 刘芝芹, 黄新会, 王克勤. 金沙江干热河谷不同土地利用类型土壤入渗特征及其影响因素[J]. 水土保持学报, 2014, 28(2): 57-62 [Liu Zhiqin, Huang Xinhui, Wang Keqin. Soil infiltration characteristics and its influencing factors of different forest soils in Jing-shajiang Dry-hot Valley Region [J]. Journal of Soil and Water Conservation 2014, 28(2): 57-62]
- [5] 杨永辉, 赵世伟, 雷廷武, 等. 耕作对土壤入渗性能的影响[J]. 生态学报, 2006, 26(5): 1624-1630 [Yang Yonghui, Zhao Shiwei, Lei Tingwu, et al. Tillage on soil infiltration under simulated rainfall conditions [J]. Acta Ecologica Sinica 2006, 26(5): 1624-1630]
- [6] 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(1): 33-36 [Lin Daijie, Zheng Zicheng, Zhang Xizhou, et al. Characteristic and influencing factors of soil infiltration of different land use patterns [J]. Journal of Soil and Water Conservation 2010(1): 33-36]
- [7] 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): 1-20
- [8] 刘春成, 李毅, 任鑫, 等. 四种入渗模型对斥水土壤入渗规律的适

- 用性[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 62-67 [Liu Chuncheng, Li Yi, Ren Xin, et al. Applicability of four infiltration models to infiltration characteristics of water repellent soils [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 27(5): 62-67]
- [9] 赵景波, 张慧慧, 马淑苗. 青海湖沙柳河镇南部土壤入渗规律[J]. 山地学报, 2013(6): 693-700 [Zhao Jingbo, Zhao Huihui, Ma Shumiao. Soil infiltration rule in southern Shaliuhe Town of Qinghai Lake Area [J]. Mountain Research, 2013(6): 693-700]
- [10] 侯秀丽, 付登高, 阎凯, 等. 滇中不同植被恢复策略下土壤入渗性能及其影响因素[J]. 山地学报, 2013(3): 273-279 [Hou Xiuli, Fu Denggao, Yan Kai, et al. Soil infiltration and correlative analysis with some factors in the different restoration method in Central Yunnan [J]. Mountain Research, 2013(3): 273-279]
- [9] 武世亮, 聂卫波, 马孝义. 土壤特性与 Philip 入渗公式标定因子的空间变异性关系[J]. 排灌机械工程学报, 2014, 32(8): 730-736 [Wu Shiliang, Nie Weibo, Ma Xiaoyi. Spatial variation of soil physical characteristics and calibration factor of Philip infiltration formula [J]. Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2014, 32(8): 730-736]
- [10] 陈小英, 查轩, 陈世发. 山地茶园水土流失及生态调控措施研究[J]. 水土保持研究, 2009, 16(1): 51-54 [Chen Xiaoying, Cha Xuan, Chen Shifa. Research on the soil and water loss and ecological treatment measures in hilly tea plantation [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2009, 16(1): 51-54]
- [11] 刘敏英, 郝子成, 李廷轩. 不同植茶年限土壤团聚体的分布特征及稳定性研究[J]. 茶叶科学, 2012, 32(5): 402-410 [Liu Minying, Zheng Zicheng, Li Tingxuan. Study on the composition and stability of soil aggregates with different tea plantation Age [J]. Journal of Tea Science, 2012, 32(5): 402-410]
- [12] 吴士文, 索炎炎, 张峥嵘, 等. 南方茶园土壤酸化特征及交换性酸在水稳性团聚体中的分布[J]. 水土保持学报, 2012, 26(1): 195-199 [Wu Shiwen, Suo Yanyan, Zhang Zhengrong, et al. Acidification of tea plantation soil and distribution of exchangeable acidity in water-stable aggregate [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2012, 26(1): 195-199]
- [13] 俞慎, 何振立, 陈国潮, 等. 不同树龄茶树根层土壤化学特性及其对微生物区系和数量的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(3): 433-439 [Yu Shen, He Zhenli, Chen Guochao, et al. Soil chemical characteristics and their impacts on soil microflora in the root layer of tea plants with different cultivating ages [J]. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(3): 433-439]
- [14] 刘敏英, 郝子成, 李廷轩. 不同植茶年限土壤团聚体的分布特征及稳定性研究[J]. 茶叶科学, 2012, 32(5): 402-410 [Liu Minying, Zheng Zhicheng, Li Tingxuan. Study on the composition and stability of soil aggregates with different tea plantation age [J]. Journal of Tea Science, 2012, 32(5): 40-410]
- [15] 王晟强, 郝子成, 李廷轩, 等. 植茶年限对土壤团聚体中交换性盐基离子分布的影响[J]. 土壤学报, 2013, 50(5): 1013-1020 [Wang Shengqiang, Zheng Zicheng, Li Tingxuan, et al. Effects of age of tea plantations on distribution of exchangeable base cations in soil aggregates [J]. Acta Pedologica Sinica, 2013, 50(5): 1013-1020]
- [16] 刘目兴, 聂艳, 于婧. 不同初始含水率下粘质土壤的入渗过程[J]. 生态学报, 2012, 32(3): 871-878 [Liu Muxing, Nie Yan, Yu Jing. The infiltration process of clay soil under different initial soil water contents [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(3): 871-878]
- [17] 徐小军, 何丙辉, 胡恒, 等. 新生水土流失对汶川震区土壤水分入渗的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(12): 2520-2529 [Xu Xiaojun, He Binghui, Hu Heng, et al. Effect on soil infiltration of water and soil loss made by earthquake in Wenchuan area [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(12): 2520-2529]
- [18] 林绍霞, 张清海, 张珍明, 等. 不同垦植模式茶园土壤性状及团聚体特征研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(6): 45-49 [Lin Shaoxia, Zhang Qinghai, Zhang Zhenming, et al. Research for soil properties and aggregates in tea plantation with different planting patterns [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2012, 19(6): 45-49]
- [19] 彭萍, 杨水平, 李品武, 等. 植茶对土壤环境效应分析研究[J]. 茶叶科学, 2007, 27(3): 265-270 [Peng Ping, Yang Shuiping, Li Pin-wu, et al. Effects of tea planting on the yellow soil properties in tea garden [J]. Journal of Tea Science, 2007, 27(3): 265-270]
- [20] 杨扬, 刘炳君, 房江育, 等. 不同植茶年龄茶树根际与非根际土壤微生物及酶活性特征研究[J]. 中国农学通报, 2011, 27(27): 118-121 [Yang Yang, Liu Bingjun, Fang Jiangyu, et al. The study on characteristics of microbes and enzyme activity in rhizosphere and out rhizosphere soil of tea garden at various ages [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(27): 118-121]
- [21] 杨玉梅, 郝子成, 李廷轩. 不同土地利用方式下土壤抗冲性动态变化特征及其影响因素[J]. 水土保持学报, 2010(4): 64-68 [Yang Yu mei, Zheng Zicheng, Li Tingxuan. Soil anti-scourability dynamic variation characteristics and its influencing factors under different land use types [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010(4): 64-68]
- [22] 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 [Liu Daoping, Chen Sanxiong, Zhang Jinchi, et al. Soil infiltration characteristics under main vegetation types in Anji County of Zhejiang Province [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(3): 493-498]
- [23] 闫东锋, 杨喜田. 豫南山区典型林地土壤入渗特征及影响因素分析[J]. 中国水土保持科学, 2011, 9(6): 43-50 [Yan Dongfeng, Yang Xitian. Characteristics and influencing factors of soil infiltration of typical forest lands in southern mountains of Henan Province [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2011, 9(6): 43-50]
- [24] Li Y Y, Shao M A. Change of soil physical properties under long-term natural vegetation restoration in the Loess Plateau of China [J]. Journal of Arid Environments, 2006, 64(1): 77-96
- [25] 王国梁, 刘国彬, 周生路, 黄土丘陵沟壑区小流域植被恢复对土壤稳定入渗的影响[J]. 自然资源学报, 2003, 18(5): 529-535 [Wang Guoliang, Liu Guobin, Zhou Shenglu. The effect of vegetation restoration on soil stable infiltration rates in small watershed of Loess Gully region [J]. Journal of Natural resources, 2003, 18(5): 529-535]
- [26] Jouquet P, Huchet G, Bottinelli N, et al. Does the influence of earthworms on water infiltration, nitrogen leaching and soil respira-

- tion depend on the initial soil bulk density? A mesocosm experiment with the endogenic species *Metaphire posthuma* [J]. *Biology and Fertility of Soils* 2012, 48(5): 561–567
- [27] Lipiec J, Kušš J, Słowińska – Jurkiewicz A, et al. Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods [J]. *Soil and Tillage research* 2006, 89(2): 210–220
- [28] 李雪转, 樊贵盛. 土壤有机质含量对土壤入渗能力影响的试验研究 [J]. *太原理工大学学报*, 2006, 37(1): 59–62 [Li Xuezhua, Fan Guisheng. Influence of organic matter content on infiltration capacity of field soils [J]. *Journal of Taiyuan University of Technology* 2006, 37(1): 59–62]
- [29] 薛冬, 姚槐应, 黄昌勇. 不同利用年限茶园土壤矿化、硝化作用特性 [J]. *土壤学报*, 2007, 44(2): 373–378 [Xue Dong, Yao Huaiying, Huang Changyong. Characteristics of mineralization and nitrification in soils of tea gardens different in age [J]. *Acta Pedologica Sinica* 2007, 44(2): 373–378]
- [30] 王全九, 叶海燕, 史晓南, 等. 土壤初始含水量对微咸水入渗特征影响 [J]. *水土保持学报*, 2004, 18(1): 51–53 [Wang Qiujiu, Ye Haiyan, Shi Xiaonan, et al. Influence of initial water content on slight saline water infiltration [J]. *Journal of Soil and Water Conservation* 2004, 18(1): 51–53]
- [31] 胡建朋, 杨吉华, 罗明达, 等. 山东石灰岩山地不同林分类型土壤入渗特征研究 [J]. *水土保持学报*, 2011, 25(3): 54–58 [Hu Jianpeng, Yang Jihua, Luo Mingda, et al. Study on characteristics of soil infiltration of different forest types in limestone mountainous [J]. *Journal of Soil and Water Conservation* 2011, 25(3): 54–58]

Soil Physical Properties and Infiltration Capability with Different Tea Plantation Ages

CHEN Yuzhen^{1,2}, WANG Feng^{1,2}, YOU Zhiming^{1,2}, WU Zhidan^{1,2}, JIANG Fuying^{1,2},
ZHANG Wenjin^{1,2}, WENG Boqi²

(1 Tea Research Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fu'an 355015, Fujian, China;

2. Fujian Province Key Laboratory of Agro-Ecological Processes in Hilly Red Soil, Fuzhou 350013, Fujian, China)

Abstract: Using double-rings method, principal component analysis and Pearson correlation analysis, the characteristics of soil physical properties and infiltration capacity of different tea plantation ages (taking fallow land for comparison) were studied in hilly area of Fujian Province, China. In addition, the changes of soil infiltration process over time were estimated with different infiltration models (Kostiakov model, Philip model, Horton model and general empirical model). The results indicate that: 1) Compared with the fallow land treatment, the bulk density of soil in newly-reclaimed young tea garden was significantly increased, while the total soil porosity, capillary porosity, maximum water-holding capacity and capillary water decreased significantly compared with control. With the tea plantation age increase, the physical properties of tea garden soil were also improved. 2) Infiltration eigenvalues of six treatments were shown as initial infiltration rate > average infiltration rate > stable infiltration rate. Compared with the fallow land treatment, the soil infiltration capability of newly-reclaimed young tea garden were significantly decreased, soil infiltration capability of adult tea garden (10, 30 and 50 years) were significantly higher than the fallow land treatment, and no significant difference in soil infiltration capability were found between the fallow land and collar pruning tea garden. Using principal component analysis method to evaluate the soil infiltration capacity, the order expressed 50 years > 10 years > 30 years > fallow land > collar pruning tea garden > newly-reclaimed young tea garden. 3) The Horton model was better accommodative to the hill tea garden, the tested results and simulation results were consistent. 4) Pearson correlation analysis showed that infiltration of six treatments had a significant negative linear correlation with soil bulk density, and a positive significant positive linear correlation with soil total porosity, but not significant correlation with other soil physical properties. These results indicated that the physical properties and infiltration capacity in newly-reclaimed young tea garden soil could significantly decrease, soil infiltration capacity in adult tea garden (10, 30 and 50 years) were better than that in newly-reclaimed young tea, and the Horton model was best one to describe the soil infiltration processes of this area.

Key words: hilly area; tea plantation age; soil infiltration capacity; model fitting