

文章编号: 1001-1498(2009)04-0568-06

不同管护类型毛竹林土壤渗透性能的研究

范少辉¹, 刘广路¹, 官凤英¹, 邓旺华¹, 肖复明², 吴继林³

(1. 国际竹藤网络中心, 竹藤科学与技术重点实验室 北京 100102; 2. 江西省林业科学院, 江西 南昌 330032;
3. 福建省永安市林业局, 福建 永安 366000)

摘要:以福建省永安市不同管护类型的毛竹林为研究对象,对毛竹林(挖笋+劈草)、(挖笋+劈草+专用肥)和(挖笋+劈草+专用肥+灌水)土壤的持水能力和渗透性能进行了研究。结果表明:管护类型对毛竹林土壤的持水能力有显著影响,林分60 cm土层最大持水能力为 $3\,498.33\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、林分为 $3\,333.33\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、林分为 $3\,254.00\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$;林分60 cm土层毛管持水能力为 $2\,806.67\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、林分为 $2\,728.00\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、林分为 $2\,638.33\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$;与土壤渗透性密切相关的土层非毛管持水能力的排列顺序为 $>>$,分别为 860.00 、 605.33 、 $447.33\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。土壤入渗能力均随着土壤深度的增加而降低,三种林分土壤渗透性能的排列顺序为 $>>$,毛竹林土壤的初渗率、稳渗率、平均渗透率和渗透总量平均值最大,分别为 $10.733\,9$ 、 $7.677\,8$ 、 $8.939\,4\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 和 $354.227\,8\text{ mL}\cdot\text{cm}^{-2}$;毛竹林土壤的初渗率、稳渗率、平均渗透率和渗透总量平均值最小,分别为 $1.861\,6$ 、 $1.211\,8$ 、 $1.453\,5\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 和 $33.575\,8\text{ mL}\cdot\text{cm}^{-2}$ 。不同管护类型对毛竹林不同层次土壤入渗性能的影响程度不同,对表层土壤的影响最为显著。Kostiakov模型可以很好地模拟不同管护类型毛竹林土壤水分入渗过程,模型决定系数 R^2 处于 $0.840\,9\sim 0.976\,0$ 。

关键词:管护类型;毛竹林;土壤持水力;土壤渗透性

中图分类号: S795.7

文献标识码: A

Effects of Different Operations and Management Modes on Soil Water Holding Capacities and Infiltration Characteristics in *Phyllostachys edulis* Forests

FAN Shao-hui¹, LIU Guang-lu¹, GUANG Feng-ying¹, DENG Wang-hua¹, XIAO Fu-ming², WU Ji-lin³

(1. International Centre for Bamboo and Rattan, Key Laboratory of Bamboo and Rattan, Beijing 100102, China;

2. Jiangxi Academy of Forestry, Nanchang 330032, Jiangxi, China;

3. Yong'an Forestry Bureau of Fujian Province, Yong'an 366000, Fujian, China)

Abstract: The water holding capacities and the infiltration characteristics were measured in *Phyllostachys edulis* forests with different operations and management modes in Yong'an County, Fujian Province. The results showed that the water holding capacities were affected by different operations and management modes. The maximum water holding capacity was $3\,498.33\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ in forest (shoot digging + herb chopping + special fertilizer), $3\,333.33\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ in forest (shoot digging + herb chopping + special fertilizer + irrigation), and $3\,254.00\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ in forest (shoot digging + herb chopping). The capillary water holding capacity was $2\,806.67\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ in forest, $2\,728.00\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ in forest, and $2\,638.33\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ in forest. The water holding capacity in non-capillary pore, which was closely related to the infiltration characteristics, from high to low was forest ($860.00\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)

收稿日期: 2008-04-14

基金项目: 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD19B0104、2006BAD19B0302和 2006BAD19B0103);国际竹藤网络中心专项资金项目(618-30)资助

作者简介: 范少辉(1962—),男,福建永泰人,博士,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

> (605.33 t·hm⁻²) > (447.33 t·hm⁻²). The sequence of infiltration characteristics of soil were > > , while all of them was decreased with the increase of soil depth. In forest , the average of initial infiltration rate, stable infiltration rate, average infiltration rate and accumulative infiltration were respectively 10.733 9, 7.677 8, 8.939 4 mm·min⁻¹ and 354.227 8 mL·cm⁻², while just 1.861 6, 1.211 8, 1.453 5 mm·min⁻¹ and 33.575 8 mL·cm⁻² in forest . The operations and management modes influenced the infiltration capability of different depth soils differently, especially the soil surface. The process of soil water infiltration could be simulated well by Kostikov model, and its R² was ranged 0.840 9 to 0.976 0.

Key words: operations and management modes; *Phyllostachys edulis*; water holding capacity; infiltration characteristics

毛竹 (*Phyllostachys edulis* (Carr) de Lehaie) 林是我国重要的竹林资源类型, 占全国竹林面积的 70% 左右, 且近年来栽培面积有不断扩大的趋势。土壤持水能力和入渗性能是竹林生态系统水文生态功能的重要表征参数, 多年来一直是研究的热点。有关竹林生态水文功能的研究已有较多报道, 但多集中在竹林水文生态过程^[1-4], 不同混交类型毛竹林持水能力^[5-7]的研究上, 刘广路等在 2008 年对不同混交类型毛竹林土壤渗透性进行了研究^[8]。有关不同经营措施毛竹林土壤持水能力的研究也有报道^[5], 但对不同管护类型毛竹林土壤渗透性的研究未见报道。

福建永安是典型的南方红壤山区, 也是我国著名的竹子之乡, 竹林种植发展迅速。由于竹林集约经营强度大, 降雨充沛且集中, 水土流失和地力维护等方面的生态问题突出。因此, 如何在大规模高效培育和利用毛竹林资源的同时, 提高毛竹林生态系统功能成为目前亟待解决的重大科学问题。同时, 开展毛竹林生态功能的研究也是毛竹林生态经营和长期生产力维持的重要理论基础。本文以福建省永安市不同管护类型的毛竹林为研究对象, 对毛竹林土壤持水能力和渗透性能进行了研究, 并对毛竹林的土壤水分入渗过程进行了模拟, 以期能够深入揭示不同管护类型对毛竹林土壤持水能力和入渗性能的影响规律, 为毛竹林生态经营、长期生产力保持及水源涵养功能评价提供依据。关于毛竹林生产力维持、生态经营方式等研究内容将另文报道。

1 研究区概况

研究地点位于福建省永安市天宝岩国家级自然保护区 (117°31' ~ 117°33.5' E, 25°55' ~ 25°58' N), 地处戴云山余脉, 属中低山地貌, 海拔 580 ~ 1 604.8 m。

研究区属于亚热带东南季风气候型, 平均气温 23 , 最低温 - 11 , 最高温 40 , 无霜期 290 天左右, 平均降水量 2 000 mm, 10 的活动积温在 4 520 ~ 5 800 , 持续天数为 225 ~ 250 天, 空气相对湿度月均为 80% 左右。竹林主要分布在海拔 800 m 以下, 土壤为红壤。研究区内森林覆盖率 96.8%, 主要为毛竹林, 其间混生江南油杉 (*Keteleeria cyclolepis* Fbus)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb) Hook)、杨梅 (*Myrica nuba* (Lour) Sieb et Zucc)、南酸枣 (*Chorospondias axillaris* (Roxb) Burt et Hill)、鹅掌楸 (*Liriodendron chinense* (Hemsl) Sarg)、木荷 (*Schinus superba* Gardn et Champ.) 等乔木树种。

2 研究方法

2.1 管护类型划分与样地调查

毛竹林管护类型分为 3 个类型: (挖笋 + 劈草), 每年 3 月前挖取冬笋, 6、9 月进行两次劈草作业; (挖笋 + 劈草 + 专用肥), 每年 3 月前挖取冬笋, 6、9 月进行两次劈草作业, 5 月施用毛竹专用肥 (总养分含量 30%, N P₂O₅ K₂O = 9.5.6), 施肥用量为每株 0.25 kg, 穴施, 穴深 30 cm; (挖笋 + 劈草 + 专用肥 + 灌水), 每年 3 月前挖取冬笋, 6、9 月进行两次劈草作业, 5 月施用毛竹专用肥 (总养分含量同), 施肥用量及方式同 , 9 月份进行灌溉 1 次, 使土壤水分达到饱和。2007 年 8 月, 在研究区内选择有代表性的不同管护类型毛竹林样地各 4 块, 样地大小为 20 m × 20 m。对各样地的土壤类型、海拔、坡度、坡向及毛竹的胸径、树高做了每木调查。在每一标准样地沿对角线布点, 挖取 5 个土壤剖面, 用环刀按 20 cm 一层在 0 ~ 60 cm 土层内分层取样, 每层土壤取 6 次重复。样地基本情况见表 1。

表 1 调查样地基本情况

经营类型	土壤类型	海拔 /m	坡度 / (°)	坡向	坡位	平均胸径 /cm	树高 /m	立竹度 / (株 · hm ⁻²)
	红壤	624	25	西南	下	11.4	13.69	2 025
	红壤	774	10	南	上	10.7	15.95	2 500
	红壤	782	10	南	上	11.1	15.88	2 175
	红壤	690	15	东南	下	10.2	13.72	2 200
	红壤	716	40	南	下	10.9	15.69	3 300
	红壤	716	40	南	下	10.2	15.10	2 475
	红壤	718	40	南	下	11.5	15.55	2 925
	红壤	735	30	南	下	10.5	14.21	2 300
	红壤	730	30	南	下	10.7	14.07	2 750
	红壤	734	35	南	下	11.3	13.90	2 800
	红壤	724	30	东南	下	11	13.65	2 100
	红壤	719	25	东南	下	9.9	13.71	2 250

2.2 土壤持水能力测定

采用下式计算出土壤最大持水性能和有效持水性能指标: $W_1 = 10\ 000 \times h \times P_1 \times r$, $W_2 = 10\ 000 \times h \times P_2 \times r$, $W_3 = 10\ 000 \times h \times P_3 \times r$ 。式中 W_1 为土壤最大持水能力 ($t \cdot hm^{-2}$), W_2 为土壤非毛管持水能力 ($t \cdot hm^{-2}$), W_3 为土壤毛管持水能力 ($t \cdot hm^{-2}$); P_1 为土壤总孔隙度 (%); P_2 为土壤非毛管孔隙度 (%), P_3 为土壤毛管孔隙度 (%), h 为土层厚度 (m), r 为水的比重 ($t \cdot m^{-3}$)。

土壤密度、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、最小持水量 (田间持水量) 等物理性质的测定采用环刀法参照参考文献 [9]。

2.3 土壤渗透性能测定及模拟

采用环刀法测定土壤渗透性能参照参考文献 [9], 环刀规格为 $20\ cm^2 \times 5\ cm$ 。取最初入渗时间为 2 min, 并取前 60 min 内的渗透量, 以比较不同管护类型不同土层的渗透总量。参照相关研究结果 [6-7, 10], 选择 Kostikov 土壤水分入渗模型对各类毛竹林的土壤入渗过程进行模拟。模型方程为:

$$f(t) = at^b$$

式中, $f(t)$ 为入渗速率; t 为入渗时间, a , b 为参数。

3 结果与分析

3.1 毛竹林土壤持水能力

土壤在淋溶作用下自然分层, 不同层次土壤孔隙度不同, 持水能力也有差异。三种毛竹林分 60 cm 土层最大持水能力的排列顺序为 $>$, 毛管持水能力的排列顺序为 $>$, 非毛管持水能力的排列顺序为 $>$ (表 2), 可见不同的管

护类型对持水能力产生了不同的影响, 施肥增加了土壤非毛管持水能力, 降低了土壤毛管持水能力, 灌水降低了土壤非毛管持水能力, 增加了土壤毛管持水能力。其中, 不同管护类型对非毛管持水能力的影响最为显著, 毛竹林 60 cm 土层的非毛管持水能力为 $860.00\ t \cdot hm^{-2}$, 是 的 1.4 倍, 的 1.9 倍。在 0~60 cm 土层范围内, 非毛管孔隙的排列顺序为 $>$, 与最大持水能力和非毛管的持水能力的排列顺序相同。可见, 适度施肥可以改善土壤的非毛管孔隙状况, 增加土壤的非毛管持水能力, 灌溉会破坏土壤表层土壤的非毛管孔隙, 造成土壤持水能力的下降。在 0~20 cm 土层范围内, 毛管孔隙的排列顺序为 $>$; 20~40 cm 土层范围内, 毛管孔隙的排列顺序为 $>$ 、40~60 cm 土层范围内, 毛管孔隙的排列顺序为 $>$, 说明不同的管护类型对不同层次土壤的毛管孔隙产生了不同的影响。在 0~20 cm 土层, 毛竹林 土壤毛管孔隙最低、非毛管孔隙含量最高, 说明施肥提高了土壤表层非毛管孔隙的数量, 降低了毛管孔隙的数量; 毛竹林 的毛管孔隙比例在三种林分中 20~40 cm 土层范围内最低, 在 40~60 cm 土层范围内最高, 说明灌溉对该层土壤的毛管孔隙产生了不利的影 响。在毛竹林 和 中, 不同土层非毛管孔隙的排列顺序为 0~20 cm > 20~40 cm > 40~60 cm; 毛竹林 中, 非毛管孔隙的排列顺序为 20~40 cm > 0~20 cm > 40~60 cm, 进一步证明施肥可以改善土壤提高非毛管孔隙数量, 而灌溉起到了相反的作用, 尤其是对 0~20 cm 土层非毛管孔隙的破坏最为严重。

表 2 不同管护类型毛竹林地持水能力

管护类型	土层 / cm	土壤密度 / (kg · m ⁻³)	最大持水量 / mm	毛管持水量 / mm	最小持水量 / mm	非毛管孔隙 / %	毛管孔隙 / %	总孔隙度 / %	60 cm 土层非毛管持水能力 / (t · hm ⁻²)	60 cm 土层毛管持水能力 / (t · hm ⁻²)	60 cm 土层最大持水能力 / (t · hm ⁻²)
	20	967.75	128.06	107.86	98.78	10.10	53.93	64.03	447.33	2 806.67	3 254.00
	40	1 271.50	103.26	87.86	84.38	7.70	43.93	51.63			
	60	1 435.00	94.10	84.96	77.56	4.57	42.48	47.05			
	20	820.50	129.84	88.76	82.04	20.53	44.38	64.92	860.00	2 638.33	3 498.33
	40	1 116.33	114.34	89.06	78.78	12.63	44.53	57.17			
	60	1 306.17	105.66	86.00	81.40	9.83	43.00	52.83			
	20	1 028.67	128.94	107.00	97.32	10.97	53.50	64.47	605.33	2 728.00	3 333.33
	40	1 182.33	93.56	71.10	66.14	11.23	35.55	46.78			
	60	1 213.17	110.84	94.70	88.74	8.07	47.35	55.42			

3.2 毛竹林土壤入渗能力

3.2.1 不同管护类型土壤入渗能力 从图 1 可以看出,三种管护类型林分土壤的初渗率、稳渗率、平均渗透率和前 60 m in 渗透总量存在较大差异,但其大小均随土壤深度的增加而降低。不同管护类型毛竹林土壤初渗率、稳渗率、平均渗透率和前 60 m in 渗透总量

指标变化表现出明显的规律性,即: > >,毛竹林土壤渗透性最好,其初渗率、稳渗率、平均渗透率和渗透总量平均值分别为 10.73、7.68、8.94 mm · min⁻¹和 354.23 mL · cm⁻²,是毛竹林土壤渗透性的 2.14 倍、2.17 倍、2.17 倍和 2.50 倍,毛竹林土壤渗透性的 5.77 倍、6.34 倍、6.15 倍和 10.55 倍。

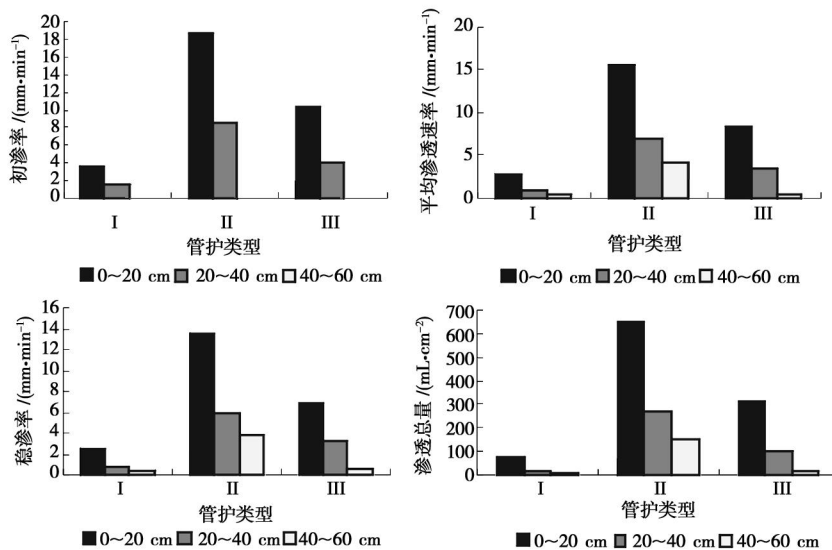


图 1 不同管护类型毛竹林渗透特性

方差分析表明(表 3),不同管护类型土壤之间的渗透特性差异达到极显著水平,多重比较分析结果进一步揭示了毛竹林与、与之间土壤的初渗率、平均渗透率、稳定渗透率和渗出水总量差异极显著,而毛竹林与毛竹林土壤渗透特性差异不显著(表 4)。可见,不同的管护类型对毛竹林土壤的渗透性能影响较大,但是不同管护类型对土壤渗透性的影响并不同。从毛竹林到毛竹林,土壤的渗透性先升后降,说明施肥会改善土壤的渗透

性,灌溉会损害土壤的渗透性。

表 3 不同管护类型土壤渗透性方差分析

变异来源	自由度	Fa	Fb	Fc	Fd
处理	2	27.718 1**	22.767 3**	14.475 7**	12.382 5**
误差	14				
总变异	16				

注: **表示差异极显著。Fa、Fb、Fc、Fd 分别代表初渗率、稳渗率、平均渗透率和渗透总量。

表 4 不同管护类型毛竹林土壤渗透特性平均值及多重比较分析 (LSD 法)

处理	初渗率 / (mm · min ⁻¹)	平均渗透率 / (mm · min ⁻¹)	稳定渗透率 / (mm · min ⁻¹)	渗透水总量 / (mL · cm ⁻²)
	1. 861 7 A a	1. 453 5 A a	1. 211 8 A a	33. 575 8 A a
	10. 733 9 B b	8. 939 4 B b	7. 677 8 B b	354. 227 8 B b
	5. 005 6 A a	4. 118 9 Aab	3. 532 2 A ab	141. 601 5 A a

注:字母相同表示差异不显著,其中大写字母 $P < 0.01$,小写字母为 $P < 0.05$ 。下同。

3.2.2 不同层次土壤入渗能力分析 不同的管护类型对毛竹林不同层次土壤入渗性的影响程度不同(表 5)。毛竹林 0~20 cm 与 20~40 cm 层差异极显著,20~40 cm 与 40~60 cm 之间差异不显著,说明挖笋及踩踏对毛竹林表层土壤的入渗性能造成显著负面影响;毛竹林 0~20 cm 与 20~40 cm 层之间,20~40 cm 与 40~60 cm 之间差异均不显著,说

明毛竹林 土壤毛管孔隙的连通性较好,但由于土壤非毛管孔隙变少,土壤入渗性能优于毛竹林,但劣于毛竹林;毛竹林 不同层次土壤渗透性均有显著差异,渗透性能均明显好于毛竹林 及毛竹林 的土壤渗透性,说明毛竹林 的管护模式对 0~20 cm 层、20~40 cm 层土壤非毛管孔隙改良作用最好,土壤入渗性能增强。

表 5 不同层次土壤渗透性平均值及方差分析

处理	土层 /cm	初渗率 / (mm · min ⁻¹)	平均渗透率 / (mm · min ⁻¹)	稳定渗透率 / (mm · min ⁻¹)	渗出水总量 / (mL · cm ⁻²)
	0~20	3. 601 3 A a	2. 901 7 A a	2. 458 8 A a	72. 166 3 A a
	20~40	1. 517 5 B b	1. 037 5 B b	0. 814 2 B b	19. 280 0 Bb
	40~60	0. 466 3 BCbc	0. 421 3 C bc	0. 362 5 BC c	9. 281 3 BCbc
	0~20	18. 708 3 Aa	15. 535 0 A a	13. 388 3 A a	645. 341 7 ACa
	20~40	8. 523 3 Bb	7. 008 3 B b	5. 900 0 Bb	266. 666 7 Bb
	40~60	4. 970 0 Cc	4. 275 0 C c	3. 745 0 C c	150. 675 0 Cc
	0~20	10. 432 9 Aa	8. 301 7 A a	6. 803 3 Aa	310. 072 9 Aa
	20~40	3. 988 3 ABab	3. 518 3 B ab	3. 320 0 ABab	100. 331 7 ABab
	40~60	0. 596 7 B b	0. 536 7 B b	0. 473 3 Bb	14. 400 0 Bb

3.3 土壤水分入渗过程模拟

从表 6 可以看出,不同管护类型和同一管护类型不同土壤层次的水分入渗过程可以用 Kostiakov 模型进行模拟,相关系数最低的为毛竹林 0~20

cm 土层的回归模型,相关系数为 0.840 9;最高的为毛竹林 0~20 cm 土层的回归模型,相关系数为 0.976 0,经 F 检验均达到极显著水平,说明方程拟合效果很好。

表 6 不同管护类型的毛竹林土壤入渗过程模拟

管护类型	层次 /cm	kostiakov 方程	R^2	F	$SigF$
	0~20	$y = 13.3809t^{-0.0941}$	0.8409	132.0857	0.00
	20~40	$y = 2.2082t^{-0.1659}$	0.9674	356.2034	0.00
	40~60	$y = 0.9424t^{-0.0625}$	0.9359	204.2414	0.00
	0~20	$y = 21.795t^{-0.108}$	0.9760	1087.0430	0.00
	20~40	$y = 14.2836t^{-0.1364}$	0.8846	207.0679	0.00
	40~60	$y = 4.7515t^{-0.0773}$	0.9084	228.1698	0.04
	0~20	$y = 12.6409t^{-0.1383}$	0.9713	914.1297	0.00
	20~40	$y = 7.2699t^{-0.1284}$	0.9110	204.6550	0.00
	40~60	$y = 2.1295t^{-0.0073}$	0.8941	205.4948	0.00

4 结论与讨论

(1) 管护类型对毛竹林土壤的持水能力有显著影响,三种管护类型毛竹林分 60 cm 土层最大持水能力的排列顺序为 > >,非毛管持水能力的排列顺序为 > >,毛管持水能力的排列顺序

为 > >。适度施肥可以改善土壤的非毛管孔隙状况,增加土壤的非毛管持水能力,灌溉会破坏土壤表层土壤的非毛管孔隙,造成土壤持水能力的下降。毛竹林 60 cm 土层的非毛管持水能力为 860.00 t · hm⁻²,是毛竹林 (605.33 t · hm⁻²) 的 1.4 倍,毛竹林 (447.33 t · hm⁻²) 的 1.9 倍。土壤

毛管持水能力包括土壤含有的吸湿水、膜状水和毛管水等,是由毛管孔隙度计算出来的;非毛管持水能力一般认为与土壤的入渗能力和水文调节功能具有更加直接的关系^[11],是由非毛管孔隙度计算出的,土壤总持水能力是毛管孔隙和非毛管孔隙蓄水能力之和,反映了土壤贮蓄和调节水分的潜在能力^[12]。毛竹林林地由于受到连年采笋踩踏,表层土壤密度增大,土壤非毛管孔隙度下降,土壤持水能力降低,与 Yates, C. J. 等的研究结果相符^[13-14]。毛竹林和毛竹林土壤渗透性好于毛竹林土壤渗透性,证实了施肥可以改善土壤物理性质的结论^[15-16]。

(2) 土壤的入渗能力随着土壤深度的增加而减弱,符合土壤渗透性的一般规律^[17]。管护类型显著地影响了毛竹林地土壤的渗透性能,不同管护类型毛竹林地土壤渗透性能排列顺序为: > > 。毛竹林土壤的初渗率、稳渗率、平均渗透率和渗透总量平均值最大,分别为 10.733 9、7.677 8、8.939 4 mm · min⁻¹ 和 354.227 8 mL · cm⁻²;毛竹林初渗率、稳渗率、平均渗透率和渗透总量平均值最小,分别为 1.861 6、1.211 8、1.453 5 mm · min⁻¹ 和 33.575 8 mL · cm⁻²。通常认为对土壤踩踏强度越高,土壤的渗透性能越低^[18-19],毛竹林每年进行采笋踩踏而不对土壤进行管理,造成表层土壤密度增大,非毛管孔隙减少,损害了土壤渗透性能;毛竹林因为进行施肥作业对土壤进行了深翻,改善了非毛管孔隙状况,增强了土壤的渗透性;毛竹林中,施肥改善了土壤的渗透性能,但灌溉破坏了土壤的非毛管孔隙,降低了土壤的入渗性能。

(3) Kostakov 模型可以很好地模拟不同管护类型、同一管护类型不同层次的土壤水分入渗过程,模型回归系数 R^2 在 0.840 9 ~ 0.976 0, F 检验均达到极显著水平。

参考文献:

[1] 王彦辉, 刘永敏. 江西省大岗山毛竹林水文效应研究 [J]. 林业科学研究, 1993, 6(4): 373 - 379

- [2] 曹群根. 毛竹林水文效应的初步研究 [J]. 竹类研究, 1989, 8(2): 24 - 45
- [3] 曹群根. 毛竹林冠层对降水的截留作用 [J]. 福建林学院学报, 1991, 11(1): 37 - 43
- [4] 刘永敏, 王彦辉. 毛竹林林内雨, 冠层截留与降水的关系研究 [J]. 竹子研究汇刊, 1993, 12(2): 55 - 62
- [5] 陈乾富. 毛竹林不同经营措施对林地土壤肥力的影响 [J]. 竹子研究汇刊, 1999, 18(3): 19 - 24
- [6] 杨海龙, 朱金兆, 毕利东. 三峡库区森林流域生态系统土壤渗透性能的研究 [J]. 水土保持学报, 2003(3): 63 - 65, 69
- [7] 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
- [8] 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
- [9] 国家林业局. 中华人民共和国林业行业标准——森林土壤分析方法 (LY/T 1210 ~ 1275) [S]. 1999: 21 - 25, 29 - 34
- [10] 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
- [11] 郝占庆, 王力华. 辽西山区主要森林类型土壤持水能力研究 [J]. 应用生态学报, 1998, 9(3): 237 - 241
- [12] 张雷燕, 刘常富, 王彦辉, 等. 宁夏六盘山地区不同森林类型土壤的蓄水和渗透能力比较 [J]. 水土保持学报, 2007(1): 95 - 98
- [13] 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
- [14] Messing I, Ariksson A, Johansson W. Soil physical properties of afforested and arable land [J]. Soil Use and Management, 1997, 13(4): 209 - 217
- [15] 王改兰, 段建南, 贾宁凤, 等. 长期施肥对黄土丘陵区土壤理化性质的影响 [J]. 水土保持学报, 2006(4): 82 - 85, 89
- [16] Pemes Debuyser A, Tessier D. Soil physical properties affected by long-term fertilization [J]. European Journal of Soil Science, 2004, 55(3): 505 - 512
- [17] 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(2): 1 - 6
- [18] 庞学勇, 刘庆. 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(6): 583 - 587
- [19] 张蕴薇, 韩建国. 放牧强度对土壤物理性质的影响 [J]. 草地学报, 2002(1): 74 - 78