

垦复结合施肥对毛竹林生长及土壤理化特性的影响

王勤,孙孟瑶,遆建航,王亮,曹小青,徐小牛*

(安徽农业大学 林学与园林学院,安徽 合肥 230036)

摘要:为了探讨经营措施对毛竹生长及林地土壤肥力的影响,在安徽铜陵凤凰山村选择代表性毛竹林,采用随机区组设计研究不同处理(包括垦复、垦复+尿素、垦复+鸡粪有机肥和对照)对毛竹林新竹生长和土壤肥力指标的影响。结果表明,不同处理措施新竹成竹量存在差异,特别是处理后第2年各处理差异极显著($P<0.01$)。垦复施肥处理第2年新竹胸径、秆高显著高于对照和垦复处理($P<0.05$)。垦复施肥对毛竹林土壤理化性质指标影响显著,垦复显著降低了0~20 cm土层容重,提高了土壤持水性能;鸡粪有机肥施用显著提高了土壤有机C、有效N含量,尤其是有效P含量比对照提高6倍,而尿素施用后导致表层土壤有效P降低。新竹生长受到表层0~40 cm土壤有效N和P、最大持水力和容重的显著影响。研究结果为毛竹林科学经营及土壤肥力维持提供了依据。

关键词:毛竹林;新竹生长;土壤有机碳;氮磷有效性;土壤持水力

中图分类号:S795.7 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2020)04-0013-05

Effects of Ploughing and Fertilization Combination on New Culm Growth and Soil Physicochemical Properties of Moso Bamboo Forest

WANG Qin,SUN Meng-yao, TI Jian-hang, WANG Liang, CAO Xiao-qing, XU Xiao-niu*

(School of Forestry & Landscape Architecture, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, Anhui, China)

Abstract: In order to reveal the effects of management measures on the growth and soil fertility of Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forest, a random block design was adopted at Fenghuang Village Forestry Farm in Tongling, Anhui. Four treatments were designed as ploughing, ploughing + applying urea, ploughing + applying chicken manure, and control. The results showed that there existed somewhat differences in new culm numbers among various treatments, and particularly in the second year after treatment, significant differences appeared ($P<0.01$). The mean DBH and height of the new culm were significantly greater in ploughing combined with fertilization than in only ploughing and the control ($P<0.05$). Ploughing combined with fertilization significantly affected soil physicochemical properties in Moso bamboo forests. Ploughing significantly decreased soil bulk density and increased water-holding capacity in 0—20 cm soil depth. The chicken manure application significantly increased soil organic carbon and available nitrogen, especially available phosphorus was seven times as high as the control. However, the urea application resulted in decreased soil available phosphorus in the surface soil layer. The growth of the new culm was significantly affected by available nitrogen and phosphorus, water-holding capacity, and bulk density of 0—40 cm soil layer. Our results provide a basis for rational management and soil fertility maintenance of bamboo forest.

Key words: *Phyllostachys pubescens* forest; new culm growth; soil organic carbon; nitrogen and phosphorus availability; soil water-holding capacity

收稿日期:2019-09-13 修回日期:2019-10-23

基金项目:安徽省重点研究和开发计划(1804h07020154);国家重点研发计划(2018YFD0600105-03)。

作者简介:王勤,高级实验师。研究方向:生态学。E-mail:qlsforest@ahau.edu.cn

*通信作者:徐小牛,教授,博士生导师。研究方向:森林培育学及森林生态。E-mail:xnxu6162@163.com

毛竹(*Phyllostachys pubescens*)具有生长快、用途广、经济价值高等特点,是我国森林资源重要的组成部分^[1],是竹类资源中分布最广的竹种,在我国林业产业中占有重要的地位^[1-2]。根据第8次全国森林资源清查结果,全国有竹林面积601万hm²,其中毛竹林443万hm²,占全国竹林面积的74%^[3]。现有经营的毛竹林中,大部分属于笋材兼用林,经济效益较好,成为我国亚热带地区山村经济的支柱,在山区经济振兴和改善民生方面发挥着重要作用^[4-5]。

土壤养分供给及其平衡状况已成为维持与提高人工林生态系统生产力的关键所在^[6],垦复和施肥是影响土壤肥力及其可持续利用的重要经营措施^[7-8]。由于毛竹生长速度快,可连续笋、竹利用,在生产经营过程中会消耗大量养分,竹林凋落物归还难以满足其生长对养分的需求,易造成竹林土壤养分衰竭,土壤肥力下降。因此,科学施肥成为竹林长期生产力维持重要经营措施^[9-10]。

近年来,有关毛竹林施肥已有较多的研究^[5,9-11],不同的施肥措施因毛竹林分结构及立地条件的异质性,导致施肥效果存在一定差异^[11]。因此

深入开展竹林培肥技术研究,科学评价土壤肥力变化,是毛竹林可持续经营的基础^[9,12]。为此,选择一般经营的毛竹林,开展林地垦复与施肥试验,探讨不同经营措施对毛竹林生长及土壤肥力的影响,以期为毛竹林的科学经营提供依据。

1 试验地概况与研究方法

1.1 试验地概况

本试验选择在安徽省铜陵市凤凰山村进行,其地理位置30°54'41"N,118°01'54"E,海拔145 m,属北亚热带季风气候,年平均气温16.3℃,四季分明、光照充足,春夏雨量集中,年降雨量为1370~1800 mm。极端高温和低温分别为41℃和-11.9℃。地带性森林植被为常绿阔叶林,毛竹林是该地区主要森林植被类型之一。土壤主要是红壤土,土层厚度在0.6~1.0 m,土壤质地较粘,肥力一般。试验地选择代表性立地条件、竹林结构基本一致的成片竹林(表1),试验林面积约20 hm²。试验前仅割灌抚育、未施肥,每年适度采收竹笋和竹材,经营粗放。

表1 试验前毛竹林分概况

Table 1 Outline of the experimental stands of *Phyllostachys pubescens* (before the experiment)

处理	林分生长状况			pH	0~10 cm 土层养分状况			
	立竹密度 (/m · hm ⁻²)	平均胸径 /cm	平均高度 /m		有机 C (/g · kg ⁻¹)	铵态 N (/mg · kg ⁻¹)	硝态 N (/g · kg ⁻¹)	有效 P (/g · kg ⁻¹)
对照(未垦复)	2408±18a	9.43±0.10a	13.5±0.36a	5.27±0.04a	21.57±1.04a	2.55±0.34a	1.05±0.16b	1.12±0.13b
垦复	2394±19a	9.55±0.07a	13.2±0.36a	5.14±0.05b	22.46±1.05a	2.96±0.52a	1.22±0.13b	1.85±0.24a
垦复+尿素	2430±25a	9.61±0.08a	13.8±0.26a	5.21±0.05ab	21.26±0.62a	2.68±0.37a	1.51±0.19a	1.29±0.17b
垦复+鸡粪	2392±24a	9.44±0.08a	13.7±0.32a	5.15±0.08b	21.36±1.22a	2.41±0.59a	1.14±0.21b	1.18±0.23b

注:同一列不同小写字母表示不同处理间存在显著差异。

1.2 试验设计

选择经营管理相同、立地条件和立竹结构较一致的毛竹林,采用随机区组设计,设置1个垦复和2种施肥+垦复处理,即尿素和鸡粪有机肥,施肥量相当于纯氮300 kg · hm⁻²,另设1个对照,各处理重复3次。每个样地面积均为20 m×20 m,为了避免不同处理间相互干扰,各样地之间间隔≥10 m。根据毛竹生长特点,于2016年6月设置试验样地,将肥料撒施林地后,再进行垦复翻埋,垦复深度25~30 cm。

1.3 调查采样

试验处理后,禁止采笋伐竹,每年调查记录新竹数量,并标记。2018年10月测定近2 a新竹成竹数量、胸径和高度。在每个样地内机械随机设置5个采样点,按照0~10、10~20 cm和20~40 cm采集土壤样品,用于理化指标分析。

1.4 土壤分析

持水量、有机C、有效N(包括铵态氮和硝态氮)、有效P、pH等。SOC和TN采用元素分析仪(EA3000, Italy)测定,其他指标按照常规分析方法测定^[13]。

1.5 数据处理

使用SPSS 18.0进行统计分析,采用Duncan多重比较,Pearson法进行相关性分析,显著性水平设置为P<0.05。

2 结果与分析

2.1 不同措施对毛竹林生长的影响

不同措施对毛竹林生长的影响存在较大差异(表2)。处理后连续2 a新竹成竹量除2017年2种施肥处理无显著差异外,不同措施之间均存在显著差异(P<0.05);不同措施对新竹胸径生长影响显著,而对秆高生长影响不甚明显,仅在处理后第2年不同处理间表现出一定差异(表2)。

处理后2 a间,各处理样地的新竹成竹数量极

显著差异($P<0.01$),这与试验竹林大小年现象有关,垦复+鸡粪有机肥施用有助于缓解竹林大小年现象。从新竹胸径和秆高生长量来看,各措施处理

后的2a间无显著差异,仅垦复+鸡粪有机肥处理中,新竹胸径2018年显著高于2017年(表2)。这也说明鸡粪有机肥的肥效作用相对持久。

表2 垦复和施肥对新竹生长的影响

Table 2 Effects of ploughing and fertilization on the growth of new culm of *P. pubescens* forest

处理	2017年			2018年		
	新竹数量 (Culms · hm ⁻²)	平均胸径 /cm	平均高度 /m	新竹数量 (Culms · hm ⁻²)	平均胸径 /cm	平均高度 /m
对照(未垦复)	605±26cA	9.42±0.05cA	13.1±0.38aA	264±27dB	9.44±0.11cA	13.2±0.46cA
垦复	643±24bA	9.60±0.10bA	13.5±0.25aA	311±19cB	9.69±1.00bA	13.6±0.21bcA
垦复+尿素	780±21aA	9.96±0.16aA	13.9±0.40aA	362±22bB	10.16±0.20aA	14.0±0.25abA
垦复+鸡粪	801±22aA	10.08±0.17aA	13.9±0.32aA	411±30aB	10.39±0.15aB	14.2±0.29aA

注:同一列不同小写字母表示不同处理间存在显著差异。同一行中相同项目不同大写字母表示处理后不同年份间差异显著。

2.2 不同措施对毛竹林土壤肥力的影响

竹林垦复有助于土壤疏松,在0~20 cm土层,垦复林分的土壤容重明显低于对照林分。由于容重变化,引起土壤孔隙状况差异,因此林地垦复提高了土壤最大持水量(表3)。垦复+鸡粪有机肥处理显著改善了土壤的肥力状况,各土层有机C含量分别

为24.65、21.85 g·kg⁻¹和16.31 g·kg⁻¹,比对照(未垦复)分别提高了19.43%、13.11%和30.37%;0~40 cm土层有效N含量显著高于对照和其他措施;有效P含量更是提高数倍。垦复+施肥显著降低了表层0~20 cm土壤的pH值,而在20~40 cm土层不同措施处理对其pH没有显著影响(表3)。

表3 垦复和施肥对毛竹林土壤理化性质的影响

Table 3 Effects of ploughing and fertilization on soil physicochemical properties in *P. pubescens* stands

处理	土层 /cm	土壤容重 (g·cm ⁻³)	最大持水量 /%	pH	有机C (g·kg ⁻¹)	铵态氮 (mg·kg ⁻¹)	硝态氮 (mg·kg ⁻¹)	有效P (mg·kg ⁻¹)
对照(未垦复)	0~10	1.23±0.04a	39.33±1.54c	5.19±0.06a	20.64±0.83b	2.35±0.22d	1.14±0.26b	1.08±0.11d
	10~20	1.26±0.04a	37.75±2.07c	5.26±0.06a	19.32±0.82b	2.12±0.08d	1.31±0.26b	0.96±0.06d
	20~40	1.32±0.04a	35.23±1.28b	5.43±0.07a	12.51±0.85b	1.40±0.07c	1.14±0.21c	0.88±0.07d
垦复	0~10	1.17±0.04ab	42.99±2.52b	5.20±0.07a	21.58±0.82b	3.28±0.31c	1.43±0.17b	2.01±0.09b
	10~20	1.19±0.05b	41.42±2.10b	5.31±0.06a	20.46±0.81a	2.59±0.19c	1.27±0.12b	1.88±0.13b
	20~40	1.31±0.04a	35.69±1.11b	5.46±0.08a	13.28±1.18b	1.63±0.11b	1.05±0.09c	1.52±0.18b
垦复+尿素	0~10	1.13±0.05bc	45.83±4.05ab	5.09±0.04b	20.72±0.73b	3.72±0.16b	2.14±0.22a	1.17±0.07c
	10~20	1.12±0.05bc	46.02±3.51a	5.17±0.05b	19.51±0.51b	3.04±0.14b	2.25±0.18a	1.09±0.04c
	20~40	1.29±0.03a	36.78±1.01ab	5.39±0.04a	12.58±0.91b	2.46±0.10a	2.39±0.13b	0.97±0.05c
垦复+鸡粪	0~10	1.09±0.04c	48.74±2.19a	5.08±0.07ab	24.65±0.72a	5.33±0.21a	2.33±0.24a	8.35±0.76a
	10~20	1.08±0.05c	48.71±2.29a	5.14±0.05b	21.85±0.97a	4.21±0.12a	2.52±0.25a	6.66±0.27a
	20~40	1.28±0.03a	37.25±0.94a	5.41±0.10a	16.31±0.48a	2.38±0.31a	2.78±0.35a	5.54±0.17a

注:同一列不同小写字母表示相同土层不同处理间存在显著差异。

2.3 新竹生长与土壤理化指标的相关性

利用2018年新竹生长指标及土壤理化特性指标,通过Pearson相关分析,其结果(表4)显示,新竹数量及其平均胸径和平均秆高与0~20 cm土层的土壤容重、pH值呈显著负相关关系($P<0.05$),与土壤最大持水量、氨氮、硝氮和有效P含量呈极显著正相关关系(多数 $P<0.01$)。然而,新竹数量和平均胸径与0~10 cm、20~40 cm土层的土壤有机碳含量呈显著相关性($P<0.05$),但新竹秆高与土壤有机碳含量(0~40 cm)无显著相关性。

3 结论与讨论

毛竹是禾本科大型竹种,其生长不同于其他木本植物,其胸径大小在生长初期就已达到稳定,不会

因为林地垦复和施肥等人为经营管理而发生变化。但是,合理的经营管理如林地垦复、施肥可有效地改善立地条件,提高毛竹生理活动和代谢功能,进而对后续发笋成竹产生重要影响^[1,9]。同时,毛竹生长快、生产力高,对养分的需求和消耗较大^[14];毛竹林凋落物产量并不高,分解较慢^[15],通过凋落物养分再循环难以满足其生长需求。如果不能及时补充其生长所消耗的养分,就会影响出笋率和成竹率^[9,16]。宋艳冬等^[17]试验结果显示施肥显著提高毛竹叶片的光合性能,促使更多光合产物和养分向地下鞭系统分配,从而提高新竹数量。刘西军等^[18]研究得出毛竹叶片N浓度与生长状况和土壤养分供应水平之间有较强的相关性,叶片养分浓度可以作为评价毛竹生长状况和土壤养分供应水平的指标。

表 4 新竹生长指标与土壤理化性质的相关分析结果

Table 4 Result of correlation analysis between new culm growth parameters and soil physicochemical properties in *P. pubescens* stands

土层/cm	新竹生长指标	土壤容重/(g·cm ⁻³)	最大持水量/%	pH	有机 C/(g·kg ⁻¹)	铵态 N/(mg·kg ⁻¹)	硝态 N/(mg·kg ⁻¹)	有效 P/(mg·kg ⁻¹)
0~10	新竹数量	-0.729**	0.740**	-0.753**	0.624*	0.908***	0.904***	0.741**
	平均胸径	-0.745**	0.728**	-0.640*	0.634*	0.901***	0.902***	0.684*
	平均秆高	-0.840**	0.812**	-0.430	0.532	0.737**	0.666*	0.573
10~20	新竹数量	-0.794**	0.805**	-0.722**	0.536	0.898***	0.871***	0.734**
	平均胸径	-0.806**	0.815**	-0.791**	0.621*	0.892***	0.887***	0.681*
	平均秆高	-0.840**	0.831**	-0.552	0.523	0.729**	0.652*	0.562
20~40	新竹数量	-0.236	0.522	-0.427	0.681*	0.900***	0.864***	0.730**
	平均胸径	-0.402	0.586	-0.315	0.628*	0.896***	0.898***	0.683*
	平均秆高	-0.199	0.502	-0.079	0.541	0.842***	0.725**	0.558

本研究地区土壤肥力条件一般,表层0~10 cm土壤有机C含量21.66 g·kg⁻¹、有效N(无机N)3.88 mg·kg⁻¹、有效P 1.36 mg·kg⁻¹,远低于福建毛竹林土壤^[11,19],特别是有效P显得严重不足,可能成为研究地区毛竹林生长的最重要限制性养分。因此,合理施肥以改善土壤养分状况,提高N、P有效性,能够提高该地区毛竹林生产力。弓萌萌等^[20]的研究结果表明施用有机肥能提高土壤酶活性,显著改善土壤肥力状况,土壤有机质和速效养分含量显著提高。本研究结果显示,林地垦复可促进土壤有机质转化,表层土壤有效P含量比试验前提高了8.8%,垦复+鸡粪有机肥处理有效P含量提高了6倍,而垦复+尿素处理有效P含量下降了9.1%。由于鸡粪有机肥属高磷有机肥,施用后显著改善土壤P有效性^[21-22];尿素施用可促进毛竹林生长,增加了土壤P的消耗,导致尿素施用后土壤有效P降低^[23]。

由于林地土壤理化性质的改善,促进了新竹生长,不同处理措施对新竹生长的影响表现出一定的差异性(表2)。垦复+鸡粪有机肥处理因肥效持久,促进生长效果最佳,与对照及其他处理相比,在处理后第2年促进生长效果要优于第1年,新竹成竹数量分别比对照提高24.7%和32.2%;新竹秆高和胸径在处理后第2年显著高于对照(表2)。王意锟等^[9]研究也得出类似结论。王宗星等^[5]研究得出土壤施肥提高新竹数量38.9%,而竹腔施肥提高新竹胸径7.3%。可见,林地垦复和施肥是提高竹林生产力和经营效益的重要措施。

综上所述,林地垦复能显著改善土壤理化性质,结合施肥促进毛竹生长效果显著,特别是结合垦复加施鸡粪有机肥,能更有效地改善土壤肥力状况,显著提高土壤有机C、有效N、P含量和持水性能,显著提高毛竹新竹数量及其高粗生长量。

参考文献:

- [1] 李翀,周国模,施拥军,等.毛竹林老竹水平和经营措施对新竹发育质量的影响[J].生态学报,2016,36(8):2243-2254.
- [2] LI C,ZHOU G M,SHI Y J,*et al*. Effects of old bamboo forests and relevant management measures on growth of new bamboo forests [J]. Acta Ecologica Sinica,2016,36(8):2243-2254. (in Chinese)
- [3] 范少辉,赵建诚,苏文会,等.不同密度毛竹林土壤质量综合评价[J].林业科学,2015,51(10):1-9.
- [4] FAN S H,ZHAO J C,SU W H,*et al*. Comprehensive evaluation of soil quality in *Phyllostachys edulis* stands of different stocking densities [J]. Scientia Silvae Sinicae,2015,51(10):1-9. (in Chinese)
- [5] 国家林业局.中国森林资源报告(2009—2013)[M].北京:中国林业出版社,2014:20-21.
- [6] 王宗星,汪舍平,冯博杰,等.影响浙江省毛竹标准化生产与经营效果的因素及建议[J].浙江林业科技,2017,37(3):59-63.
- [7] WANG Z X,WANG S H,FENG B J,*et al*. Factors influencing operation of standard for bamboo production techniques in Zhejiang and countermeasures [J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology,2017,37(3):59-63. (in Chinese)
- [8] 王宗星,胡卫滨,鄢振武,等.不同施肥方法对毛竹林分结构及经济效益的影响[J].浙江农业科学,2018,59(8):1351-1353.
- [9] 徐福利,赵亚芳,张潘,等.施肥对华北落叶松人工林根茎叶中氮磷含量的影响[J].林业科学,2014,50(3):139-143.
- [10] XU F L,ZHAO Y F,ZHANG P,*et al*. Effects of fertilization on nitrogen and phosphorus content in roots, stems and leaves of *Larix principis-rupprechtii* plantation [J]. Scientia Silvae Sinicae,2014,50(3):139-143. (in Chinese)
- [11] 刘恩科,赵秉强,梅旭荣,等.不同施肥处理对土壤水稳定性团聚体及有机碳分布的影响[J].生态学报,2010,30(4):1035-1041.
- [12] LIU E K,ZHAO B Q,MEI X R,*et al*. Distribution of water-stable aggregates and organic carbon of arable soils affected by different fertilizer application [J]. Acta Ecologica Sinica,2010,30(4):1035-1041. (in Chinese)
- [13] LI Y F,ZHANG J J,CHANG S X,*et al*. Long-term intensive management effects on soil organic carbon pools and chemical composition in Moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) forests in subtropical China [J]. Forest Ecology and Management,2018,418:10-18. (in Chinese)

- ment, 2013, 303 (5): 121-130.
- [9] 王意锟, 金爱武, 朱强根, 等. 施肥对毛竹种群不同年龄分株间胸径大小关系的影响[J]. 植物生态学报, 2014, 38 (3): 289-297.
- WANG Y K, JIN A W, ZHU Q G, et al. Effects of fertilization on the relations of diameter at breast height between different-aged ramets of *Phyllostachys edulis* population [J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2016, 25(1): 175-181. (in Chinese)
- [10] 张文元, 刘顺, 江斌, 等. 施肥对硬头黄竹林地上部分生物量结构的影响[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(5): 61-67.
- ZHANG W Y, LIU S, JIANG B, et al. Effects of fertilization on aboveground biomass structure of *Bambusa rigida* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(5): 61-67. (in Chinese)
- [11] 宁川川, 王建武, 蔡昆争. 有机肥对土壤肥力和土壤环境质量的影响研究进展[J]. 生态环境学报, 2016, 25(1): 175-181.
- NING C C, WANG J W, CAI K Z, et al. Effects of organic fertilizers on soil fertility and soil environmental quality: a review [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2016, 25(1): 175-181.
- [12] 钟艺, 俞欣妍, 刘健, 等. 不同土壤肥力水平下毛竹林冠层氮含量分布特征[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2018, 34 (4): 93-102.
- ZHONG Y, YU X Y, LIU J, et al. Distribution characteristics of nitrogen content in canopy of *Phyllostachys pubescens* forest under different soil fertility levels [J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science Edition, 2018, 34(4): 93-102. (in Chinese)
- [13] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [14] 王宏, 金晓春, 金爱武, 等. 施肥对毛竹生长量和秆形的影响[J]. 浙江农林大学学报, 2011, 28(5): 741-746.
- WANG H, JIN X C, JIN A W, et al. Growth and culm form of *Phyllostachys pubescens* with fertilization [J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2011, 28(5): 741-746. (in Chinese)
- [15] 郭晓敏, 牛德奎, 陈防, 等. 毛竹林平衡施肥与营养管理[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [16] 李睿, Werger M J A, 钟章成. 施肥对毛竹(*Phyllostachys pubescens*)竹笋生长的影响[J]. 植物生态学报, 1997, 21(1): 19-26.
- LI R, WERGER M J A, ZHONG Z C. Influence of fertilization on the clonal growth of bamboo shoots in *Phyllostachys pubescens* [J]. Acta Phytocologica Sinica, 1997, 21(1): 19-26. (in Chinese)
- [17] 宋艳冬, 金爱武, 金晓春, 等. 施肥对毛竹叶片光合生理的影响[J]. 浙江林学院学报, 2010, 27(3): 334-339.
- SONG Y D, JIN A W, JIN X C, et al. Physiology of leaf photosynthesis with fertilization in *Phyllostachys pubescens* [J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2010, 27(3): 334-339. (in Chinese)
- [18] 刘西军, 丁正亮, 徐小牛. 毛竹叶片生物量、养分及与土壤的耦合特征[J]. 世界竹藤通讯, 2011, 9(5): 1-6.
- LIU X J, DING Z L, XU X N. Leaf biomass and nutrient and their coupling characteristics with soil of *Phyllostachys pubescens* [J]. World Bamboo and Rattan, 2011, 9(5): 1-6. (in Chinese)
- [19] 孙晓, 庄舜尧, 桂仁意. 建瓯市毛竹林土壤养分状况及丰缺分级[J]. 浙江林业科技, 2012, 32(1): 1-4.
- SUN X, ZHUANG S Y, GUI R Y. Nutrient and classification in soil of *Phyllostachys heterocycla* cv. *pubescens* stands in Jian'ou city [J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2012, 32(1): 1-4. (in Chinese)
- [20] 弓萌萌, 王红, 张雪梅, 等. 不同有机肥施用量对苹果园土壤养分及酶活性的影响[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(3): 74-78.
- GONG M M, WANG H, ZHANG X M, et al. Effects of different organic fertilizer amounts on soil nutrient and enzyme activity of apple orchard [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2019, 34(3): 74-78. (in Chinese)
- [21] 杨苞梅, 宋玉萍, 卢维盛, 等. 施用鸡粪后土壤磷的累积特征[J]. 土壤通报, 2011, 42(2): 421-425.
- YANG B M, SONG Y P, LU W S, et al. Accumulation of phosphorus in soils in chicken manure amended soils [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2011, 42(2): 421-425. (in Chinese)
- [22] 魏钦平, 王小伟, 张强, 等. 鸡粪和草炭配施对黄金梨园土壤理化性状和果品质的影响[J]. 果树学报, 2009, 26(4): 435-439.
- WEI Q P, WANG X W, ZHANG Q, et al. Effect of complex fertilizer of peat and chicken manure on the soil property and fruit quality of *Hwangkumbae* pear cultivar [J]. Journal of Fruit Science, 2009, 26(4): 435-439. (in Chinese)
- [23] 高志勤. 生态型毛竹林土壤肥力维持技术初探[J]. 浙江林业科技, 2009, 29(5): 73-77.
- GAO Z Q. Primary study on techniques of soil fertility maintenance in ecological *Phyllostachys heterocycla* var. *pubescens* stands [J]. Journal of Zhejiang Forestry Science and Technology, 2009, 29(5): 73-77. (in Chinese)