

# 重庆缙云山楠竹林土壤水分物理性质和氮素研究

刘明智<sup>1,2</sup>, 许建平<sup>1</sup>, 李丑<sup>1</sup>, 袁慎鸿<sup>1</sup>

(1. 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆市三峡库区植物生态与资源重点实验室, 西南大学 生命科学院, 重庆 400715;

2. 铜仁职业技术学院 生物工程系, 贵州 铜仁 554300)

**摘要:**以重庆缙云山国家级自然保护区的楠竹林为研究对象,并以广泛分布的常绿阔叶林作为对照,对楠竹林和常绿阔叶林内土壤第1层表土(A)0~5 cm,第2层(B)20~30 cm,第3层(C)50~60 cm的土壤容重等土壤水分物理性质、全氮、有效氮进行了测定。结果表明:随着土层深度、土壤容重的增加,阔叶林的第2、3层高于楠竹林;土壤孔隙度随着土层的增加而减小,楠竹林土壤孔隙度高于阔叶林;土壤毛管持水力、田间持水力、自然含水量阔叶林的表层大于楠竹林,楠竹林的第2、3层高于阔叶林;楠竹林的土壤质地较阔叶林疏松多孔,渗水、保水效果好;土壤全氮、有效氮随土层的增加而减小,阔叶林表土层稍高于楠竹林,楠竹林第2、3层高于阔叶林。

**关键词:**重庆缙云山;楠竹林;土壤;水分;理化性质;氮素

**中图分类号:**S 665.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)18-0177-04

森林是陆地生态系统中重要的组成部分和最为宝贵的自然资源,还可为人类提供木材等林产品。森林拥有涵养水源、防止水土流失、调节气候、保护生物多样性等多种功能<sup>[1]</sup>。竹林是我国南方山区经济价值高、经营面积广、经营强度大的森林类型之一。我国现有竹林520万hm<sup>2</sup><sup>[2]</sup>。楠竹(*Phyllostachys pubescens*)亦称毛竹,是中国所特有的经济竹种,也是竹类资源中分布最广和经济价值最高的竹种资源<sup>[3]</sup>,天然分布于北纬23°23'~32°20'、东经104°30'~122°00'的广阔区域内,是我国分布最广,面积最大,集经济、生态、社会效益于一体的优良竹种<sup>[3]</sup>。据国家第六次森林资源清查,我国的毛竹超过350万hm<sup>2</sup><sup>[4]</sup>。毛竹生长快、周期短、能快速成材、再生性强、

收益期长,并且竹材利用前景好、经济效益高,深受山区农民欢迎,在我国竹产业中占据着十分重要的地位<sup>[5]</sup>。楠竹为速生和营养克隆繁殖的林种,在我国南方山区广为栽种,已替代许多天然林及杉木[*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.],马尾松林(*Pinus massoniana* Lamb.),成为工业、建筑业主要用材林种和山区农民创收林种之一。在开发利用楠竹这一可再生的森林资源方面,既要发挥其经济效益,更要注重其涵养水源、保持水土的生态效益。

该研究以重庆缙云山国家级自然保护区的楠竹林土壤为对象,并以常绿阔叶林进行对照,比较楠竹林和阔叶林土壤的水分物理性质和氮素,以期探讨进行森林分改造的人工演替后森林土壤理化性质变化和森林水源涵养生态效益。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

缙云山自然保护区位于重庆市北碚区境内,距重庆市中心60 km,嘉陵江小三峡之温塘峡西岸,其地理位置

**第一作者简介:**刘明智(1969-),男,湖南绥宁人,博士研究生,副教授,现主要从事生态学和植物学等研究工作。E-mail:lmzbright@yahoo.com.cn.

**基金项目:**中国-欧盟生物多样性资助项目;国家自然科学基金资助项目(31070474)。

**收稿日期:**2014-05-20

**Abstract:** 'Chunqiu Xianfeng No. 5' is a new mini fruit cucumber F<sub>1</sub> hybrid developed by crossing excellent inbred lines 'N-4' as female parent and 'N-7' as male parent. This variety has strong growth vigor, high parthenocarpy ability, early-maturing. The fruit is good merchandise with dark, luster green skin, short tubular shape, without the melon stem, no papilloma on its skin. The fruit is about 15~18 cm in length and 120 g in weight with smooth surface. Its yield could reach 10 000 kg/667m<sup>2</sup> in protected cultivation. It is resistant to downy mildew, powdery mildew, tolerant to low temperature and weak light. It is suitable for protected field cultivation all over China.

**Keywords:** fruit cucumber; 'Chunqiu Xianfeng No. 5'; protected field; F<sub>1</sub> hybrid; cultivation techniques

为东经  $106^{\circ}20'18'' \sim 106^{\circ}24'42''$ , 北纬  $29^{\circ}48'25'' \sim 29^{\circ}51'53''$ , 土地总面积为  $18 \text{ km}^2$ , 海拔  $180 \sim 951.5 \text{ m}$ 。该保护区具有亚热带季风湿润性气候特征, 年平均气温  $13.6^{\circ}\text{C}$ , 年均日照  $1\,293.9 \text{ h}$ , 年平均相对湿度  $87\%$ , 年平均降水量  $1\,611.8 \text{ mm}$ , 年平均蒸发量  $777.1 \text{ mm}$ <sup>[6]</sup>。缙云山自然土壤类型主要为山地黄壤, 人为利用下主要土壤类型为水稻土, 并有少量零星分布的紫色土。区内自然环境多样, 土壤肥沃, 物种十分丰富, 有高等植物(包括引种植物)244 科、973 属、1 861 种<sup>[7]</sup>。森林植被繁茂, 类型丰富多样, 主要为常绿阔叶林、暖性针叶林、竹林、常绿阔叶灌丛、亚热带灌草丛和水生植被 6 个类型, 是长江中上游保存较为完好的亚热带常绿阔叶林。区内主要树种为马尾松(*Pinus massoniana*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata* Lamb.)、香樟(*Cinnamomum camphora*)、丝栗(*Castanopsis fargesii* Franch.)、华山松(*Pinus massoniana* Lamb.)、四川大头茶(*Gordonia szechuanensis* Chang) 和山矾(*Symplocos setchuanensis* Brand) 等。

## 1.2 试验方法

1.2.1 样地设置与标准地调查 在楠竹林内设立 3 条样带, 样带间相隔  $20 \sim 30 \text{ m}$ , 在每条样带上相隔  $30 \text{ m}$  分 3 个样点设成  $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$  的标准样方进行林分特征调查, 包括楠竹的胸围、竹高、郁闭度和竹下种类、历年砍划后留下的竹桩数等; 并在竹阔叶混交林的阔叶林设一条样带, 样带上相隔  $30 \text{ m}$  分 3 个样点设成  $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$  的标准样方进行林分特征调查, 包括阔叶树的胸围、株高、郁闭度、冠幅、枝下高及林下种类。

1.2.2 土壤采样 在确定的楠竹林地段(海拔  $601 \sim 657 \text{ m}$ )按 S 形挖取土壤剖面 9 个, 阔叶林地段(海拔  $665 \sim 681 \text{ m}$ )按略为 V 形挖取土壤剖面 3 个。每个土壤剖面分层取土壤, 即第 1 层表土(A)  $0 \sim 5 \text{ cm}$ , 第 2 层(B)  $20 \sim 30 \text{ cm}$ , 第 3 层(C)  $50 \sim 60 \text{ cm}$ 。先用  $100 \text{ cm}^3$  环刀采土样, 再在剖面环刀取土处逐层取土  $1 \text{ kg}$  左右入塑料

袋, 带回室内风干, 先过 18 号筛, 再用二分法, 将已过 18 号筛的  $1/2$  过 60 号筛后分别装入  $250 \text{ mL}$  广口瓶中保存。

## 1.3 项目测定

采用环刀法测定土壤容重和土壤毛管持水量等土壤水分物理性质; 采用恒温烘干法测定土壤含水量; 采用碱解扩散法测定土壤水解效氮<sup>[8]</sup>, Büchik 凯氏定氮仪测定土壤全氮。

## 1.4 数据分析

采用 SPSS 统计软件中进行分析, Excel 统计软件中进行整理。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤水分物理性质

土壤容重是土壤物理性质的重要指标, 与土壤的透气性、透水性和根系生长阻力有关, 土壤容重反映土壤松紧程度和土壤结构的好坏, 是鉴别土壤肥力高低的重要指标之一<sup>[9]</sup>。由表 1 可知, 随着土层深度的增加, 土壤容重逐渐增加, 楠竹林表土层( $A=1.04 \text{ g/cm}^3$ ) > 阔叶林( $A=0.98 \text{ g/cm}^3$ ), 而孔隙度则随土层增加而逐渐减小(楠竹林 > 阔叶林), 土壤表土层总孔隙度楠竹林稍高于阔叶林, 并且楠竹林土壤孔隙度随土层深度变化小 [ $A(60.55\%) > B(59.80\%) > C(56.59\%)$ ], 而阔叶林表土层最大, 变化梯度为  $A(60.27\%) > B(44.85\%) > C(42.50\%)$ 。土壤毛管持水量为土壤毛管空隙借毛管引力作用所保持的水分, 楠竹林和阔叶林的土壤毛管持水量随土层增加而减小, 但阔叶林的表土层  $A(54.30\%) >$  楠竹林表层  $A(46.36\%)$ , 楠竹林的第 2 层  $B(35.74\%)$ 、第 3 层  $C(23.76\%)$  均高于阔叶林第 2 层  $B(25.45\%)$ 、第 3 层  $C(25.12\%)$ 。非毛管孔隙无论是土层还是均值都高于阔叶林, 楠竹林  $B(24.11\%) > C(17.31\%) > A(14.59\%)$ , 阔叶林  $A(10.22\%) > B(7.64\%) > C(4.94\%)$ 。

表 1 楠竹林和阔叶林土壤水分物理性质

Table 1 Water physical properties of different soil depth in *Phyllostachys pubescens* and broad-leaved forest

林地 Stands	土层 Soil depth	土壤容重 Soil Bulk density ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ )	孔隙度 Porosity/%			持水力 Water holding capacity/%			
			总空隙 Total porosity	毛管孔隙 Capillary porosity	非毛管孔隙 Non-capillary porosity	毛管持水量 Capillary water holding capacity	田间持水量 Field water holding	自然含水量 Natural water holding	相对含水量 Relative water holding
楠竹林 Bamboo forest	A	$1.04 \pm 0.08a$	$60.55 \pm 3.02a$	$45.97 \pm 3.29a$	$14.59 \pm 4.14$	$46.36 \pm 5.23a$	$31.45 \pm 3.20a$	$30.99 \pm 2.41a$	$113.54 \pm 11.2a$
	B	$1.07 \pm 0.09a$	$59.80 \pm 3.23a$	$35.57 \pm 1.86b$	$24.11 \pm 3.20$	$35.74 \pm 3.65a$	$26.00 \pm 1.60a$	$25.91 \pm 1.99a$	$100.39 \pm 5.73a$
	C	$1.15 \pm 0.11a$	$56.59 \pm 4.12a$	$39.25 \pm 2.48b$	$17.31 \pm 5.42$	$36.62 \pm 3.53a$	$23.76 \pm 2.40a$	$26.41 \pm 1.90a$	$114.36 \pm 5.36a$
	均值	$1.09 \pm 0.02$	$58.12 \pm 1.97$	$40.26 \pm 1.68$	$18.67 \pm 2.54$	$39.58 \pm 2.52$	$27.07 \pm 1.53$	$27.77 \pm 1.25$	$109.43 \pm 4.58$
阔叶林 Broad-leaved forest	A	$0.98 \pm 0.07a$	$60.27 \pm 0.43a$	$52.92 \pm 3.39a$	$10.22 \pm 6.18a$	$54.30 \pm 0.96a$	$28.71 \pm 1.58a$	$35.19 \pm 0.40a$	$123.15 \pm 5.43a$
	B	$1.46 \pm 0.02b$	$44.85 \pm 0.93b$	$37.21 \pm 1.35b$	$7.64 \pm 2.18a$	$25.45 \pm 0.63b$	$19.34 \pm 0.86b$	$20.28 \pm 0.40b$	$107.78 \pm 4.55a$
	C	$1.52 \pm 0.05b$	$42.50 \pm 2.00b$	$38.41 \pm 4.08b$	$4.09 \pm 5.71a$	$25.12 \pm 2.16b$	$17.58 \pm 1.71b$	$20.03 \pm 1.37b$	$115.13 \pm 8.01a$
	均值	$1.32 \pm 0.09$	$49.21 \pm 2.86$	$42.85 \pm 2.98$	$7.98 \pm 2.66$	$34.96 \pm 4.89$	$21.87 \pm 1.87$	$25.17 \pm 2.54$	$115.35 \pm 3.88$

注: a, b 为 Duncan 检验表示值, 表示土层间的差异。

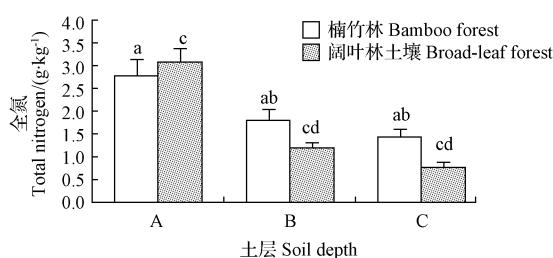
Note: a and b are the value by Duncan-Test, which indicate the difference among different soil depths.

土壤是由固体、液体、气体组成的 3 相复合系统,液体系土壤水分部分,是反映林地水源涵养能力的重要指标。楠竹林和阔叶林土壤田间持水量随土层增加而递减,楠竹林 A(31.45%)>B(26.00%)>C(23.76%)稍高于阔叶林 A(28.71%)>B(19.34%)>C(17.58%)。

由表 1 可知,楠竹林土壤含水量随土层递减,A(30.99%)>B(25.91%)<C(26.41%),阔叶林土壤含水量随土层递度变化而减小,且变化明显,A(35.19%)>B(19.34%)>C(17.58%)。

## 2.2 土壤全氮

土壤全氮量是衡量土壤氮素基础肥力的指标。由图 1 可知,楠竹林和阔叶林土壤全氮随土层的增加而递减,但楠竹林表土层的全 N(A=2.77 g/kg)<阔叶林(A=3.08 g/kg),楠竹林第 2 层和第 3 层的土壤全氮均高于阔叶林,即楠竹林第 2 层(B=1.79 g/kg)>阔叶林(B=1.18 g/kg),楠竹林的第 3 层(C=1.43 g/kg)>阔叶林的(C=0.75 g/kg)。



注:图中 a、b、c、d 为 Duncan 检验表示值;a、b 表示楠竹林不同土层间的差异;c、d 表示阔叶林不同土层间的差异。以下同。

Note:a,b,c and d are the value by Duncan-Test,a and b indicate the difference among different soil depth in *Phyllostachys pubescens* stand,while c and d indicate the difference among different soil depth in broad-leaved stand. The same below.

图 1 楠竹林和阔叶林土壤全氮

Fig. 1 Soil total nitrogen in bamboo and broad-leaf forest

## 2.3 土壤有效性氮

土壤有效性氮是土壤中氮素活跃的速效性养分,是土壤肥料氮(N)、磷(P)、钾(K)三要素中被吸收利用的最有效氮素养分形态。图 2 表明,楠竹林和阔叶林土壤有效性氮随土层的增加而递减,但表土层有效 N 是阔叶林高于楠竹林,即楠竹林(A=197.011 mg/kg)<阔叶林(A=214.511 mg/kg);楠竹林第 2 层、第 3 层的土壤有效性氮高于阔叶林,第 2 层楠竹林(B=117.211 mg/kg)>阔叶林(B=103.289 mg/kg),第 3 层楠竹林(C=109.56 mg/kg)>阔叶林(C=101.422 mg/kg)。

## 3 结论与讨论

土壤是森林植被存在与发展的物质基础,由于森林植被的存在和发展,反过来也将影响其土壤的形成和发育<sup>[3]</sup>。土壤容重和孔隙度不仅是反映土壤物理性状的

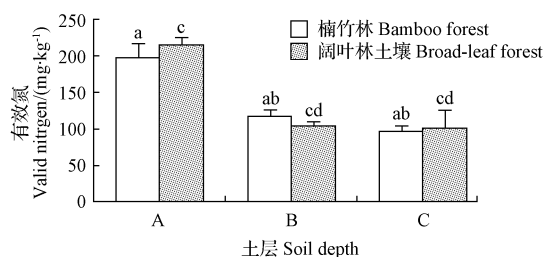


图 2 楠竹林和阔叶林土壤有效性氮

Fig. 2 Soil valid nitrogen in bamboo and broad-leaf forest

重要指标,直接影响到土壤的蓄水性能<sup>[10-12]</sup>,而且土壤持水性能主要受土壤总孔隙度、毛管孔隙度、土壤容重等影响<sup>[12]</sup>。楠竹林和阔叶林的土壤容重均随土层深度增加而增加,但阔叶林较楠竹林增加明显,这是由于楠竹的根状茎和根系多集中分布在 0~40 cm 土层,阔叶树种的根系多分布在土层深处,而且每年春季采挖些春笋,使得楠竹林土壤比阔叶林的第 2、3 层疏松。土壤水分含量,不仅直接影响土壤固、液、气三相比比例,而且是土壤蓄水性能的重要指标。楠竹林土壤含水量随土层变化不显著,A(30.99%)>B(25.91%)<C(26.41%),均值为 27.77%,阔叶林土壤含水量随土层递度变化明显,A(35.19%)>B(20.28%)>C(20.03%),均值为 25.17%,阔叶林表土层较楠竹林含水量高是在于阔叶林的枯枝落叶层比楠竹林的厚且落叶大,能有效地减少表土层的水分蒸发,但楠竹林的第 2、3 层高于阔叶林,且土壤含水量均值高于阔叶林,表明楠竹林土壤的保水性能并不逊色于阔叶林。

森林土壤的渗透性和蓄水能力是十分重要的土壤水文物理性质,主要取决于土壤孔隙的数量和大小组成,它们决定着土壤动态蓄水的有效空间<sup>[3]</sup>。土壤容重变动的总趋势是随着土层深度的增加而增加,而土壤孔隙度则随土层深度的增加而降低。土壤的毛管孔隙度为楠竹林<阔叶林,楠竹林土壤依靠毛管孔隙蓄存的水分少于阔叶林,毛管孔隙蓄存的水分只供植物根系吸收和土壤蒸发,阔叶林的叶表面积远大于楠竹林,在高温时节,在植被郁闭度相同时,土壤水分蒸发高于楠竹林,而且楠竹林的地被物种数量及其盖度远高于阔叶林。楠竹林土壤总孔隙度和非毛管孔隙度无论是土层,还是均值都高于阔叶林,可见楠竹林依靠总孔隙度和非毛管孔隙度蓄存的水分高于阔叶林。一般来说,总孔隙度在 50%左右,而其中非毛管孔隙占 1/5~2/5 为好,这种情况使得土壤的通气性、透水性和持水能力比较协调<sup>[3]</sup>。楠竹林的土壤总孔隙度和非毛管孔隙度均高于阔叶林为 58.12%,非毛管孔隙度为 18.67%,而且楠竹林的土壤容重较阔叶林的小,表明楠竹林的质地较阔叶林的疏松,结构性强,既利于雨水迅速下渗,有利于水分的传输



和储存,又利于水分保持,可见楠竹林土壤水土保持的生态效益优越于阔叶林,有较好的土壤涵养水源效果,也是水源涵养和水土保持的主要竹类。

土壤的氮素肥力,不论是土壤全氮,还是有效氮,都随土层深度增加而减少。阔叶林的枯枝落叶层较楠竹林厚,阔叶林的表土层全氮和有效氮均高于楠竹林,但楠竹的根状茎及根系多分布在土壤 10~40 cm 处,阔叶树的根系多分布在土层深处,并且楠竹林下的地被层丰富于阔叶林,楠竹林土壤全氮的第 2、3 层高于阔叶林,且土壤全氮均值为楠竹林(1.99 g/kg) > 阔叶林(1.67 g/kg),表明楠竹林土壤贮备优越于阔叶林。土壤有效氮楠竹林稍逊色于阔叶林,均值阔叶林(139.741 mg/kg)稍高于楠竹林(136.941 mg/kg)。土壤全氮含量一般在 0.5~4.0 g/kg 之间,土壤有效氮含量一般在 20~200 mg/kg 范围内,楠竹林和阔叶林土壤的有效氮供给能满足植物的生长需求,而且楠竹林的土壤氮素贮存及供给并非较阔叶林逊色。

#### 参考文献

- [1] 申彦科,王玉杰,成晨.重庆缙云山不同植被类型空间结构特征分析[J].林业调查规划,2009,34(5):39-42.
- [2] 汤孟平,徐文兵,陈永刚,等.天目山近自然毛竹林空间结构与生物量的关系[J].林业科学,2011,47(8):1-6.
- [3] 黄承标,尹华田,王凌晖,等.毛竹林不同经营管理措施对土壤理化性质的影响[J].竹子研究汇刊,2010,29(3):35-41.
- [4] 陈双林,吴柏林,张德明,等.笋材两用毛竹林冠层结构及其生产力功能研究[J].林业科学研究,2001,14(4):349-355.
- [5] 孙棣棣,徐秋芳,田甜,等.不同栽培历史毛竹林土壤微生物生物量及群落组成变化[J].林业科学,2011,47(7):181-186.
- [6] 刘敏,王玉杰,赵洋毅,等.重庆缙云山水源涵养林地土壤水文效应[J].中国水土保持,2010(5):41-44.
- [7] 刘楠,王玉杰,王毅力,等.重庆缙云山典型林分土壤有机碳密度特征[J].生态环境学报,2009,18(4):1492-1496.
- [8] 中国科学院南京土壤研究所.土壤理化分析[M].上海:上海科学技术出版社,1978.
- [9] 余定坤,李兵,杨清培,等.井冈山自然保护区毛竹林土壤水文特征研究[J].江西科学,2011,29(4):485-490.
- [10] 宋吉红,张洪江,姜广翔.缙云山自然保护区 4 种森林类型林地土壤的持水特性研究[J].西部林业科学,2007,36(4):26-33.
- [11] 陈晨,高明,郑杰炳,等.缙云山不同森林植被下土壤理化性状研究[J].西南大学学报(自然科学版),2010,32(3):88-92.
- [12] 杨进怀,孙艳红,张洪洪.缙云山不同类型植被坡面土壤水分特征[J].水土保持研究,2007,14(6):131-134.

## Study on Physical Properties and Nitrogen of Soil Under *Phyllostachys pubescens* Stand in Jinyun Mountain in Chongqing

LIU Ming-zhi<sup>1,2</sup>, XU Jian-ping<sup>1</sup>, LI Chou<sup>1</sup>, YUAN Shen-hong<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Chongqing Key Laboratory of Plant Ecology and Resources Research in Three Gorges Reservoir Region, School of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715; 2. Department of Bio-engineering, Tongren Profession and Technology College, Tongren, Guizhou 554300)

**Abstract:** Taking the soil layer in *Phyllostachys pubescens* stand in Jinyun Mountain in Chongqing as study object and taking broad-leaved forest which was widely distributed in Jinyun Mountain as reference. Soil bulk density, soil porosity, holding water capacity, total nitrogen and valid nitrogen were studied in the first surface(A) 0~5 cm, the second layer(B) 20~30 cm, and the third layer(C) 50~60 cm. The results showed that with increasing of soil layer, soil bulk density increased, but the second and the third layer were higher in broad-leaved stand than that in *Phyllostachys pubescens* stand. With increasing of soil layer, soil porosity decreased, soil porosity in *Phyllostachys pubescens* stand was higher than that in broad-leaved forest. Soil water holding capacity, field water holding capacity, and natural water content in broad-leaved forest were greater than their in *Phyllostachys pubescens* stand, while the second and the third layer in bamboo stand were higher than that in broad-leaved forest. Soil texture in bamboo forest were looser, more porous and more permeable than that in the broad-leaved forest, the effect of water preserve on *Phyllostachys pubescens* stand was slightly higher than that in broad-leaved forest, soil total nitrogen, available nitrogen decreased as the soil increased, total nitrogen, available nitrogen in broad-leaved forest were slightly higher than that in bamboo forest, the second and third layer in bamboo forest were higher than that in broad-leaved forest.

**Keywords:** Jinyun mountain in Chongqing; *Phyllostachys pubescens* stand; soil; water; physical and chemical properties; nitrogen