

土壤与竹子生态学效应的相关性研究进展

张红¹ 张涛² 邓东周^{3*} 庄文化¹

(1. 四川大学水利水电学院, 四川成都 610065; 2. 北川羌族自治县林业局, 四川北川 622750;

3. 四川省林业科学研究院, 四川成都 610081)

摘要: 中国是竹类资源最丰富的国家, 然而近年来相继出现的竹子开花死亡现象引起了国内外学者对制约竹子生长发育因素的探讨。在搜集和分析大量文献后得出影响竹子生长发育的因素中土壤因素不容忽视。本文在前人研究的基础上论述土壤与竹子相关性这一领域的研究现状, 主要包括不同土壤条件对竹鞭生长、竹子发笋、生长、开花和衰老等过程影响的研究, 以及竹子在生长发育过程中其群落密度、经营模式等对土壤的反作用。最后介绍大熊猫主食竹在这一方面的研究进展, 并建议在未来的研究中加大实验论证及机理等方面的研究。

关键词: 竹子; 土壤; 相关性; 进展

中图分类号: S795

文献标识码: A

文章编号: 1003-5508(2015)01-0017-06

The Research Progress on Interactions Between Soil and the Ecological Effect of Bamboo

ZHANG Hong¹ ZHANG Tao² DENG Dong-zhou^{3*} ZHUANG Wen-hua¹

(1. College of Water resource & Hydropower, Sichuan University, Chengdu 610065, China;

2. Beichuan Forestry Bureau, Beichuan 622750, China;

3. Sichuan Provincial Academy of Forestry, Chengdu 610081, China)

Abstract: China is the most abundant in the resources of bamboo. However, the phenomenon of continuous bamboo flowering and death has caused a heated discussion on factors to restrict the growth of bamboo among scholars in recent years. After collecting and analysing lots of literatures at home and abroad it is concluded that among these factors soil can not be ignored. This paper deals with the current status of soil and bamboo on the basis of previous studies, mainly include studies on the effects of different soil conditions on the bamboo rhizome, shoots, growth, flowering and senescence, and the community density and management models also produce an retroaction on soil. At last, this paper also describes the research progress of the giant panda's staple bamboo in this field, and puts forward an suggestion of increasing the experiment argumentation and the study of mechanism in the future.

Key words: Bamboo; Soil; Relativity; The research progress

1 引言

竹类植物隶属禾本科竹亚科, 据统计全世界竹类资源共有70多属1200余种, 面积达1200万 hm^2 , 主要分布在温带和寒带。中国是竹类资源最丰富的

国家, 享有“竹之王国”的美誉, 竹类资源共有50多属500余种, 面积达700万 hm^2 。

自20世纪70年代四川邛崃山、岷山、大小相岭和陕西秦岭等地相继发生不同程度的竹子开花死亡现象, 造成竹子严重损失。关于竹子生态学的研究引起了国内外学者的普遍重视。通过搜集和分析大量

收稿日期: 2014-11-17

项目名称: 北川羌族自治县汶川地震灾大熊猫等保护及栖息地恢复重建项目试验研究项目。

作者简介: 张红(1988-), 女, 工程师, 主要从事大熊猫保护及森林生态研究。

文献后得出制约竹子生长发育的3个主要因素:一是大熊猫及其食物竞争者对竹子的啃食;二是竹群落中其他组成成分以及竹种群的内部竞争;三是外界环境因子的影响。近年来,外界环境因子对竹子生长繁殖的影响一直是研究的热点,主要集中在气候、温度、海拔、光照、坡度、郁闭度等方面,并已获得很多有意义的研究成果,而针对不同土壤条件对竹子生态学过程影响的研究还相对较少。土壤是竹子生长发育的基地,反过来竹子在生长发育过程中也会通过各种方式对土壤理化性质及生物学特性造成一定的影响。本文将以多年相关研究为基础,探讨不同土壤条件与竹子生态学过程的相关性,并阐述大熊猫主食竹在这一方面的研究进展,指出研究中存在的薄弱环节,并提出今后研究的发展方向,为竹子的可持续经营管理提供理论依据。

2 土壤对竹子生态学过程的影响

土壤是生态系统中物质与能量交换的重要场所,适宜的土壤理化性质(如优良的土壤质地、良好的水热条件、丰富的土壤养分)及生物学特性(如适当的微生物数量和酶活性)能够满足竹子生长发育的需求,有利于提高竹子丰富度及系统稳定性。

2.1 土壤对竹鞭生长的影响

竹林地下结构是一个复杂的鞭根系统,发笋成竹多寡、竹林生长好坏都与竹鞭紧密相关,同时竹鞭对固着土壤、支撑竹体起重要作用。因此,研究竹鞭生长对提高竹林产量具有重要意义。

土壤对竹鞭的影响主要表现在土壤理化性质两方面。物理性质方面,以土壤类型、深度、湿度、容重等为主。土壤水分和养分是竹鞭生长的重要因素,不同类型土壤其机械组成不同,土壤贮水能力和营养成分等也会存在差异,进而影响竹鞭生长。壤土质地均匀,粗粉粒含量适度,有较强的保水持肥能力,有利于竹鞭的生长;而粘土粘粒含量高,土壤通气透水性差,则不利于竹鞭伸展^[1]。在相同土壤类型下,土壤深度对竹鞭的影响极其显著,土层深厚其深层的养分和水分分布较为丰富,有利于竹鞭生长发育;而土层厚度较浅时,土壤养分及水分易受到气候环境的影响,降水侵蚀土壤会带走养分,干旱季节会降低表层土壤水分,制约了竹鞭的生长^[2]。因此,在竹子扩鞭成林过程中,选择合适的土壤类型并采取合理的土壤管理措施(灌溉、锄草松土、深翻垦复等)可有效控制竹子相关物理性质,从而增加新

竹株数量,达到扩鞭成林的效果。

化学性质方面,土壤pH值、盐胁迫、土壤酶、微肥、激素类物质等都会对竹鞭的生长造成一定的影响。梁爱荣等^[3]通过测定不同受害程度的竹林土壤后发现:土壤pH值降低会严重影响竹鞭生长,甚至枯死。而在盐胁迫方面,随着盐浓度的增加竹鞭活力将下降。但大多数竹种对盐胁迫会表现出一定的适应性,随处理时间的延长,根活力将得到部分恢复,但不同竹种对盐胁迫的反应是有差异的,从而推断它们的抗盐性不同。在我国,散生竹类大多生长于中性或偏酸性土壤中,竹林生产力的维持过分依赖化学肥料,致使林地土壤酸化,严重影响我国竹产业的可持续发展。而土壤盐胁迫直接作用于竹子地下部分的水分、养分的吸收和传输,进而影响地上部分的生长。因此,需严格控制肥料的施加量,减小对竹鞭生长的影响。

2.2 土壤对竹笋发育的影响

竹笋是竹的幼芽,因其鲜嫩可口且营养价值高为人类喜欢的食物之一。在不同土壤条件下,竹笋品质性状与土壤养分状况关系密切。郑蓉^[4]通过分析绿竹不同产地竹笋品质及养分状况后得出土壤中pH值、有机质含量对笋品质有明显促进作用,而在土壤养分水平较高的情况下,速效K、全N和碱解N的提高将不利于鲜笋品质的改善。也有研究表明,毛竹出笋数量和笋径随土壤中速效P含量的增加而显著增加和增粗,而速效K、速效N和有机质的含量对竹笋的影响呈负相关^[5]。这些差异说明土壤类型、成土母质、土地利用方式等因素会使竹笋产地土壤肥力不同,从而导致竹笋生长及品质存在差异。另外,土壤孔隙度、温度和含水率等也是竹笋生长的限制因子,要使竹笋成活率高应选择土壤疏松、排水良好的地块,若土壤含水率高,则倒笋严重。而在经营管理水平相同的情况下,立地土壤的厚薄程度成为影响发笋成竹的决定性因素,土壤厚度直接影响竹鞭的发育程度,最终影响竹笋生长。

竹笋研究工作的核心就是尽可能使出笋最大限度的成竹,成为优质竹材。因此,正确处理好土壤与竹子的关系对提高竹笋成竹率进而提高竹子生物量十分重要。

2.3 土壤对竹子生长的影响

土壤是竹子生长的“厨房”,不同土壤条件是了解竹子生境现状的重要指标,对竹子的生长影响很大,且存在很大差异。迄今为止,针对不同土壤条件对竹子生长的影响研究主要包括以下几个方面:

2.3.1 土壤类型

基于生物气候与土壤相统一的原则,要使竹子的生长效果最好,不同类型竹子需要生长在不同类型土壤中。通过对比,使箭竹生长较适宜的土壤类型为灰化土^[6]。酸性紫色土与石灰土两种土壤类型则适合楠竹生长,但在酸性紫色土上生长更好^[7]。紫色土最适宜撑绿竹生长,这可能与紫色土营养丰富且 K 含量较多,为撑绿竹生长提供了养分保障有关^[8]。李颖等^[9]也通过对南天竹的研究得出南天竹在 3 种土壤中的总体生长情况是黑色石灰土 > 紫色土 > 黄壤。竹子的种类很多,各种竹子对最适合其生长的土壤类型具有一定选择性,这种选择性与土壤理化性质密不可分。

2.3.2 土壤厚度

土壤厚度不同,土壤中水分和养分的累积程度也不同,其上生长的竹子状况也会存在差异。游秋华等^[10]对笋用竹的研究发现土壤厚度对竹径和竹高有显著影响,在 40 cm ~ 60 cm 厚的土层上生长的竹子比在 20 cm ~ 40 cm 厚的土层上的竹径平均宽 0.20 m,竹高平均高 0.82 m。也有研究发现^[11],篾竹地上生物量随着土壤厚度的增加而逐渐加大,40 cm 以下和 40 cm 以上土层的篾竹生物量存在差异显著,土层厚度小于 40 cm 的薄层土不太适合篾竹生长。此数据在对撑绿竹^[12]和楠竹^[7]生长的研究中同样得到验证,但 40 cm 这个临界值是否适用于其他竹种还有待进一步研究。

2.3.3 土壤质地

土壤质地与土壤通气、保肥保水及耕作状况有密切关系。竹子的立竹度、平均胸径和枝下高在砂、轻、中、重壤中表现出逐渐增大的趋势^[13]。就土壤孔隙度而言,土壤孔隙大小直接影响土壤的水分状况,进而影响竹子生长。土壤孔隙度与竹子的胸径和高度呈二次抛物线关系,且在毛管孔隙度、总孔隙度、非毛管孔隙度 3 个孔隙因子中非毛管孔隙度对竹子生长的影响最大,而毛管孔隙度的影响最小。

2.3.4 土壤水热条件

水分对竹子生长有较大影响。四季竹在土壤相对含水率小于 30% 的土壤中生长不良,甚至死亡,在相对含水率 40% ~ 90% 间时能正常生长,这说明四季竹对土壤水分具有较强的适应能力^[14]。土壤自然含水量和毛管持水量则是影响粉单竹生长的主导因子,含水量大,土壤透水 and 通气性好,有利于粉单竹的生长^[15]。而在土壤水梯度环境下,箬竹形态特征表现出明显的适应性变化,随着水分资源有效

性的提高,其分株高度和直径、分枝长度和角度、叶面积及总生物量相应增加,分株数目和密度却相应减小^[16]。这种状况对雷竹无性系分株却呈现不同的状况,随土壤含水量的增加,雷竹无性系分株增多。在较低的水分供应条件下,雷竹无性系把更多的生物量投资于地下部分,使根茎伸长,以便从土壤中获取更多水分^[17]。土壤温度方面。Wei^[18]和 Fukuzawa^[19]认为土壤温度能增加竹子根系呼吸及竹根生物量,提高竹子总生长量。通常来说,竹子最佳月平均生长温度介于 14℃ ~ 17℃ 之间。竹子对高温敏感,当气温高于 30℃ 时,竹子生长会显著下降^[20]。

2.3.5 土壤肥力

土壤肥力对竹子的综合影响很大,可根据土壤肥力状况预测竹子生长情况。丁正亮等^[21]研究安徽毛竹发现土壤 K 含量与竹子总生物量显著相关。而孙刚等^[22]通过对皖南肖坑地区的毛竹林进行调查分析得出毛竹生长主要受土壤中 N、P 限制,而与 K 相关性较差。另外,经调查,土壤肥力对 2 a 生慈竹生长的影响均大于 1 a 生慈竹,说明土壤肥力对慈竹产量的影响具有累积效应^[23]。综上,影响竹子生长的养分因子随竹种类、地域、母岩、种植时间的差异而不同,且众说不一。因此,需积极开展相关试验来论证土壤肥力与竹子生长间的互动过程。

就竹子各细部结构,蒋焱^[24]在对粉单竹的研究中发现林地土壤中全 N 含量直接影响杆重和胸径,全 P、全 K、速效 K 含量则直接影响杆高。有机质含量对桂竹产量影响最大,速效 K 对桂竹胸径影响最大^[25]。鲁顺保^[1]则提出毛竹高随全 N 和有机质含量增加而增高,且在一定范围内毛竹郁闭度随土壤有机质、全 N、速效 P 和速效 K 含量增加而增加。沙罗竹生长与土壤有机质、全 N、速效 N、速效 P 含量等都呈极显著正相关,其中竹胸径与土壤有机质相关性最为显著^[26]。胸径、壁厚、竿高、竿重 4 个指标的大小可显示竹子的生长状况,不同类型的竹子对土壤肥力的需求不同,因此在竹子种植过程中一定要根据竹种类及土壤原始肥力状况合理施肥。

2.3.6 土壤生物学特性

土壤微生物数量和酶活性与土壤养分性状密切相关,二者的强弱均可作为评价土壤肥力的指标。不同类型的土壤,其生物数量和酶活性各异,对竹子的影响也不一。总的说来,土壤微生物数量和酶活性的升高有利于土壤有机质的分解、转换和养分元素的释放,对提高竹林土壤肥力和维持生态系统的

物质循环和能量流动具有重要意义。

2.4 土壤对竹子开花的影响

竹子属一次性开花植物,大多数竹子开花后即意味死亡。竹子开花机理是竹子生态研究的重点,归纳起来可分为“周期说”、“养分说”和“环境说”三种,内因起主导作用,但外因也不可忽视。养分说认为,竹园多年未深挖垦复,土壤板结,通气不良,会影响土壤中有机的分解,导致土壤养分亏缺不能满足竹子生长的时候,竹子就从营养生长阶段转入生殖生长阶段,表现为竹子的开花死亡。环境说中,土壤对竹子开花的影响主要体现在土壤水分、土层厚度上,其次是较高的土壤温度和 $\text{pH} < 7$ 。土壤水分过高或过低都会加快竹子开花的进程。而土层浅薄,鞭根裸露,营养生长受阻,也会促使竹子转入生殖生长。地震是一种强烈的自然干扰方式,会引发土壤运动时空分布格局变化,显著改变了地温等土壤特征,进而诱发竹子开花。竹子开花是一种生理现象,遗憾的是,由于研究周期长、研究基础相对薄弱等原因,迄今为止针对竹子开花机理都是理论上的推测,缺乏充分的实验论证。

2.5 土壤对竹子衰老的影响

竹子衰老,严重阻碍了竹子可持续健康生长。首先,竹子衰老与土壤中矿质元素含量有关。丁兴萃等^[27]通过研究竹林衰老与多种矿质元素的关系,发现土壤中 N、K 与竹子衰老无关,这是由竹林覆盖集约栽培的特殊性所决定的;高浓度的 P、Ca、Al、Se、Cu 等会促进竹子衰老,高 P 含量是主要原因;而 Ni、Mg、Mn、Co、Zn 等在浓度偏低时促进竹子衰老。土壤矿质元素对竹子衰老的影响不是绝对的,而是相对的,随其浓度变化而变化。其次,梁爱荣^[3]提出楠竹林大面积枯死是多种逆境因子胁迫的结果。长期的土壤酸化,使土壤中对植物有害作用的 Al^{3+} 大量积累,营养元素被大量淋溶,生物活动受到影响,土壤物理性质恶化,通气透水性变差。加之竹林结构不合理,营养贫乏,虫害盛发等诱因,加剧了濒死竹的死亡。

另外,地震会改变土壤物理性质,进而诱使作物的衰老期提前。具体来说,地震导致土壤侵蚀,土壤养分严重丧失,质地改变。局部地区,强震提高了土壤通气性、土壤排水性及土壤温度。也有观点认为竹林衰老枯死可能与地震前后地下水中产生的不利于竹子生长的化学元素有关^[28],对此,程颂^[29]等人做了深入探讨。通过 1999 年 9 月 21 日在台湾中部 112.8 km² 森林汇水区发生 7.3 级强震,与 1995

年以后的数据集相比,水中 NH_4^+ 、 Mg^{2+} 、 Na^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等含量明显增加;与此相反, Ca^{2+} 、 K^+ 等含量有所下降^[30]。这一研究结果预示,震区土壤化学性质可能发生变化。地震可能促进土壤的矿化作用和有机物的分解,改变土壤的化学成分,进而诱使竹子提前衰老。

3 竹子对土壤的影响

土壤是竹子生长发育的物质基础,反过来竹群落的物种组成、结构和生长状况等也会对土壤产生一定的影响。迄今为止,研究表明竹子在生长发育过程中对土壤影响主要在以下几方面:

3.1 竹根

黄金燕,周世强等^[31]在对卧龙自然保护区大熊猫栖息地拐棍竹根系特点的研究过程中发现,土壤中竹子根系垂直分布于土壤整个剖面 10 cm ~ 30 cm 土层中。但因竹根着生在竹鞭的秆基部分,故根系在土壤中的分布与竹鞭在土壤中的分布特点基本一致。大体来说,竹子根系分布从上而下呈递减规律,在土壤生态环境方面有两大作用:一是改善土壤物理性质,二是 2 mm 径级内的须根可稳定土层结构,提高土壤抗冲性,从而有效防止水土流失。所以在竹产业发展过程中,注重经济效益的同时,还应充分考虑竹林良好的生态效益。

3.2 群落密度

以箭竹为例,不同密度的箭竹在生长发育过程中会改变土壤养分库的大小。由于箭竹群落密度影响到箭竹对土壤养分的吸收、凋落物养分的归还和微生物活性等养分循环,这将直接导致土壤养分贮量的改变^[32]。箭竹具有高吸收、低归还的生物学特性,随着群落密度的增大,箭竹养分库贮量逐渐增大,土壤中各养分元素的积累量也将逐渐增高。另外,齐泽民等^[33]通过比较发现随着箭竹密度的增大,根层土壤微生物数量和酶活性逐渐降低。其原因是箭竹改变林地微环境,在郁闭度一定情况下随箭竹密度增大,林地光照条件变差,土壤温度越低,因而土壤微生物数量及酶活性越低,凋落物分解速度减慢,地表枯枝落叶贮量逐渐增加,从而影响土壤养分库。土壤微生物和酶活性指标能较好地反映土壤肥力状况,建议适当疏伐高密度竹群落,防止林地土壤退化。

3.3 经营模式

通过对不同经营模式的林分进行比较,赖仕

样^[34], 方金长^[35], 高志勤^[36]等先后提出混交林的土壤性状优于纯林。混交经营能够提高竹林土壤养分含量、改善林地土壤结构、通气透水状况及水源涵养功能, 从而有效维持竹林良好的土壤肥力水平, 对促进竹子生长发育具有很好的效果, 有利于竹子的可持续发展。在不同类型混交林中, 土壤性状也存在差异。竹阔混交林土壤的有机质含量、全 N 含量、土壤总孔隙度、土壤持水量、土壤酶活性等都高于竹杉混交林, 但在土壤容重、P 含量等方面竹杉林却高于竹阔林。这种差异性与树种组成、森林利用等有明显相关, 使得不同经营模式下的土壤理化性质不同。

3.4 经营目标

不同经营目标, 对林地土壤的影响必然存在差别。以毛竹为例, 土壤有机质、水解 N 含量、速效 K 及土壤总孔隙度材用竹林明显高于笋用林, 而土壤容重、有效 P 却较笋用竹林小^[37]。笋用林土壤 P 含量高于材用林, 可以解释为材用林消耗更多的 P 素用于茎秆生物量形成。对速效 K 贮量而言 0 cm ~ 10 cm 土层笋用林低于材用林, 10 cm ~ 20 cm 土层笋用林略低于材用林, 这与笋用林的耕翻垦复强度大、土壤疏松造成 K 元素养分径流淋溶损失较多有关。说明挖笋消耗更多的 K, 笋用林补充 K 元素更为迫切^[38]。材用和笋用毛竹林消耗养分的特征存在较大差异, P 和 K 对毛竹高、径生长的效应不尽相同。

3.5 其它

土壤各理化性状还会随竹子集约经营、管护类型、群落演替等发生变化。徐祖祥等^[39]连续 8 年种植雷竹发现, 集约经营下土壤会出现大量元素含量增加, 微量元素减少, 土壤酸度增强的趋势。而马少杰等^[40]在对毛竹的研究中却发现集约经营后 0 cm - 10 cm 土层土壤碳化合物和有机质含量分别有不同程度的下降, 且差异明显。这些变化与施用化肥、覆盖、翻耕等农业措施有关。而不同管护类型^[41]对竹林不同土层土壤入渗性能的影响程度也不同, 对表层土壤的影响最为显著, 且对土壤的持水能力也影响明显。群落演替方面, 随着竹群落演替(入侵一定居一扩散)的进行, 土壤中有机质、大量及微量元素的含量会相应发生变化, 其变化程度随竹种及所处的环境不同而不同。

4 大熊猫、竹与地震

大熊猫是世界上最珍贵的动物之一, 属于国家

I 级保护动物, 被誉为“国宝”。作为大熊猫的主要食物来源, 竹子在大熊猫生长生存过程中起着重要的作用, 因此对大熊猫主食竹进行研究具有重要的理论和现实意义。

大熊猫主食竹种共 11 属 64 种, 慈竹属、刚竹属、筴竹属、巴山木竹属和箬竹属 5 属为我国特产, 占大熊猫主食竹属的 45%^[42]。然而, 近年来四川地区发生的大地震严重影响了大熊猫主食竹的生长发育, 无可避免的加大了对大熊猫生存的威胁。

地震的发生会改变土壤的物理和化学性质, 进而诱使竹子提前开花及衰老, 详见第 2.5 节。另外, 廖丽欢等^[43]还研究发现地震对大熊猫主食竹拐棍竹竹笋生长发育具有很大的影响。首先, 地震强度干扰的发笋时间较中度和轻度干扰明显推迟, 而发笋期没有受到影响。其次, 地震强度干扰下的拐棍竹退笋程度也较中度和轻度严重。这种影响与地震改变土壤理化性质密切相关。

目前, 地震干扰下土壤与大熊猫主食竹的这些变化尚处于研究初期, 地震如何通过改变土壤状况影响竹类多样性、分布、生长和竹子的营养成分等, 是亟待展开的相关研究。

5 结语与展望

竹子和土壤的互动会影响整个生态系统的发展, 其相关性随竹子类型、土壤理化性质和生物学特性的不同而发生变化。现目前, 针对竹子与土壤相关性的研究仅仅存在于对典型地区典型竹种的研究, 具有很大的片面性, 缺乏很强的说服力。另外, 由于研究时间短, 研究基础薄弱, 使研究成果尚有许多不确定性, 且比较零散, 缺乏系统总结。

建议在未来的土壤与竹子生态学过程相关性研究中加强以下几方面的研究: (1) 迄今为止, 有关土壤与竹子相关性研究工作许多仅基于理论上的推导和假说, 而相关的实验数据还相当匮乏, 亟待深入研究。(2) 对特一物种的竹子, 加大对影响其生态学过程的决定性土壤因子的研究。(3) 运用试验方法研究竹子开花机理, 并提出切实可行的应对竹子开花的对策。(4) 研究地震干扰下土壤理化性质对竹子生态学过程的影响机理。(5) 加大对其它竹种的研究, 尤其是加强对大熊猫主食竹与土壤相关性的研究力度。

总的来说, 竹子与土壤的相关性随竹子类型、土壤理化性质和生物学特性的不同而发生变化, 其具

体规律还需进一步研究。

参考文献:

- [1] 鲁顺保,饶玮,等.立地条件对毛竹生物量的影响研究[J].浙江林业科技 2008 28(4):22~27.
- [2] 李源,储海.北缘地区毛竹实生林生长与立地条件的关系[J].湖北林业科技 2011 6:10~13.
- [3] 梁爱荣,杨冬生,江心,等.楠竹枯黄(死)与土壤营养关系的研究[J].竹子研究汇刊 2000 19(1):68~73.
- [4] 郑蓉.产地绿竹笋品质及土壤养分的主成分与典型相关分析[J].浙江农林大学学报 2012 29(5):710~714.
- [5] 鲁顺保,张艳杰,等.土壤养分与毛竹及竹笋生长相关性研究[J].江苏农业科学 2011(1):205~208.
- [6] 张仁绥,董薯护,等.四川省三个自然保护区箭竹生长与土壤条件关系的研究[J].四川农业大学学报 1990 8(4):312~317.
- [7] 王大来.湘南山区5个立地因子对楠竹生长的影响[J].中国农学通报 2010 26(6):101~103.
- [8] 郑道权,李海,等.立地因素对撑绿竹生长的影响[J].竹子研究汇刊 2012 32(2):11~15.
- [9] 李颖,钟章成,等.三种土壤类型中中天竹差异性的研究[J].广西植物 2006 26(2):137~141.
- [10] 游秋华,何丙辉,等.立地条件对笋用竹护岸林生长影响研究[J].西南大学学报(自然科学版) 2007 29(3):94~99.
- [11] 黄甫昭,范怡,等.渝北立地因子对箬竹地上生物量的影响[J].中南林业科技大学学报 2012 32(4):70~74.
- [12] 苟光前,丁雨龙.黔北山区几个立地因子对撑绿竹生长的影响[J].南京林业大学学报 2007 31(5):21~24.
- [13] 黎庭武,董文渊,等.工艺利用紫竹林分生长的立地条件研究[J].世界竹藤通讯 2007 5(4):17~21.
- [14] 顾大彤,陈双林.四季竹对土壤水分胁迫的生理适应[J].西北植物学报 2012 32(4):0751~0758.
- [15] 舒夏竺,陈红跃.不同立地条件单竹林生长及林地土壤肥力状况研究[J].广东林业科技 2010 26(3):29~34.
- [16] 董文渊,黄宝龙.不同水分条件下箬竹无性系的生态适应性研究[J].南京林业大学学报 2002 26(6):21~24.
- [17] 岳春雷,何奇江.不同土壤水分条件下雷竹无性系的生长[J].浙江林业科技 2002 22(1):25~27.
- [18] Wei Kitaya, Shibuya Kiyota. Soil respiration in a bamboo forest as affected by soil temperatures and soil moisture contents [J]. *Phyton Annales Rei Botanicae* 2005 45:295~298.
- [19] Fukuzawa, Shibata. Vertical distribution and seasonal pattern of fine root dynamics in a cool temperate forest in northern Japan. [J] Implication of the understory vegetation, Sasa dwarf bamboo *Ecological Research* 2007 22:485~495.
- [20] Gratani, Crescente, Varone. Growth pattern and photosynthetic activity of different bamboo species growing in the Botanical Garden of Rome [R] *FLORA* 2008 203:77~83.
- [21] 丁正亮,汪雷,等.安徽霍山毛竹林生产力及其土壤养分的特点[J].经济林研究 2011 29(1):72~76.
- [22] 孙刚,邓文鑫,等.安徽肖坑天然毛竹林生产力及其土壤养分特点[J].经济林研究 2009 27(3):28~32.
- [23] 江明艳,陈其兵.土壤肥力对慈竹生长及竹材成分的影响[J].四川农业大学学报 2011 29(4):482~487.
- [24] 蒋焱,黄大勇,等.广西粉单竹林的生长及林地土壤肥力状况调查[J].西部林业科学 2007 36(3):46~49.
- [25] 檀庆忠.土壤肥力对台湾桂竹生长影响的研究[J].江西林业科技 1999(4):10~12.
- [26] 林兰稳,余炜敏,等.沙罗竹人工林生长与立地条件的关系研究[J].生态环境学报 2011 20(1):88~90.
- [27] 丁兴萃,蔡函江.保护地集约栽培早竹衰老和矿质元素关系的研究[J].浙江林业科技 2007 27(7):1~7.
- [28] 申国珍,谢宗强,等.汶川地震对大熊猫栖息地的影响与恢复对策.植物生态学报 2008 32(6):1417~1425.
- [29] 程颂,宋洪涛.汶川大地震对四川卧龙自然保护区大熊猫栖息地的影响[J].山地学报 2008 26(10):65~69.
- [30] Liu, Sheu. Effects of the 921 earthquake on the water quality in the upper stream at the Guandaushi experimental forest [J]. *Water, Air and Soil Pollution* 2007 179:19~27.
- [31] 黄金燕,周世强,等.卧龙自然保护区大熊猫栖息地拐棍竹根系特点研究[J].四川林业科技 2011 32(4):52~54.
- [32] 鲁叶江,王开运,等.缺苞箭竹群落密度对土壤养分库的影响[J].应用生态学报 2005 16(6):996~1001.
- [33] 齐泽民,王开运.川西亚高山不同密度缺苞箭竹对土壤生物学特性的影响[J].2007 21(4):154~159.
- [34] 赖仕祥.竹木混交经营模式效果的调查分析[J].林业勘察设计 1998 (2):70~73.
- [35] 方金长.不同经营模式毛竹混交林土壤肥力性状及其水文效应研究[J].山东林业科技 2008 (6):22~25.
- [36] 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).
- [37] 胡睦荫,蔡庭付.不同经营类型毛竹林土壤理化性质比较[J/OL].中国科技论文在线:1~4.
- [38] 高志勤.毛竹林土壤磷、钾养分状况及生长效应[J].南京林业大学学报(自然科学版) 2010 34(6):33~37.
- [39] 徐祖祥,陈丁红,等.临安雷竹种植条件下土壤养分的变化[J].中国农学通报 2010 26(13):247~250.
- [40] 马少杰,李正才.不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异[J].生态学报 2012 32(8):2603~2611.
- [41] 范少辉,刘广路,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.
- [42] 易同培,蒋学礼.大熊猫主食竹种及其生物多样性[J].四川林业科技 2010 31(4):1~20.
- [43] 廖丽欢,徐雨,等.汶川地震对大熊猫主食竹一拐棍竹竹笋生长发育的影响[J].生态学报 2012 32(10):3001~3009.