

长江三角洲地区竹林经营中的氮磷流失负荷概算^①

巩万合^{1,2}, 顾培^{1,2}, 沈仁芳^{1*}

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008;

2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 通过分析长江三角洲地区竹林集约经营面积、竹林施肥情况及氮(N)、磷(P)流失率, 对该区竹林经营中因施肥产生的 N、P 流失量进行了概算。结果表明, 长江三角洲地区竹林中每年 N、P 流失量分别为 3795~6067 t、828~1104 t。其中, 浙江省竹林地的 N、P 流失量分别为 3573~5713 t、779~1039 t, 均占总流失量的 94%。从单位面积上的流失量来看, 浙江省竹林地 N 流失负荷 (9.8~15.6 kg/hm²) 显著低于该省农田 N 流失负荷 (57.4 kg/hm²), 而 P 流失负荷 (2.1~2.8 kg/hm²) 稍高于农田 (1.7 kg/hm²)。在部分高度集约经营地区, 竹林地每年的 N、P 流失更高。这些竹林地主要位于水源上游或河湖两岸, 流失的 N、P 进入水体后, 将对水体造成污染, 降低水质, 加速下水水体的富营养化。

关键词: 肥料; 竹林面积; 氮磷流失量; 集约经营

中图分类号: X53

长江三角洲地区是我国竹林主要分布区之一, 该地区分布着大面积的竹林资源, 每年可生产大量的竹材和竹笋, 为地方经济发展和农民致富起到了重要作用。近些年来, 随着毛竹、雷竹、高节竹、绿竹等经济竹种集约经营面积的不断增加, 竹林施肥量和施肥面积也迅速增加^[1-4]。竹农为了追求竹林经济效益最大化, 向竹林内施用大量的化肥、有机肥, 并进行松土、除草, 致使竹林地表土壤裸露、疏松, 地表径流显著增加, 富含养分的表土层随地表径流而流失, 尤以坡度大的竹林为甚^[5]。而且, 竹林多处于江河湖库的源头或两岸, 随水土流失的养分极易直接进入水体造成污染。有研究表明, 长期大量施用有机肥和化肥已经使慈溪市里杜湖水库处于富营养化状态, 导致水库发生蓝藻水华, 严重削弱了水库的饮用水源功能^[1,6]。

目前, 关于长江三角洲区域农业面源污染的研究

相当多^[7-10], 主要集中在农田施肥、畜禽养殖、水产养殖及生活污水等方面, 但经济竹林施肥产生的污染负荷研究非常有限^[1,6]。因此, 本研究旨在通过对该区域经济竹林施肥产生的 N、P 流失负荷进行估算, 初步了解经济竹林经营对面源污染的潜在风险。

1 研究区竹林资源概况与研究方法

1.1 研究区竹林资源概况

我国是世界上竹子资源最丰富的国家, 有 40 多属 500 余种, 面积近 500 万 hm², 主要分布在南方 13 个省(区)。从表 1 可以看出, 自 1984 年以来, 长三角地区竹林总面积增加显著, 主要表现在浙江省, 而上海和江苏面积小且没有明显变化。从最近的第 6 次全国竹林资源清查数据来看, 浙江省竹林面积约占全国的 1/6, 而上海与江苏的总和不足浙江省的 1/20。因此, 本研究以浙江省竹林为主。

表 1 两省一市与全国历次竹林资源清查 (×10⁴ hm²)^[11]

Table 1 Area of bamboo forests in whole China, Shanghai, Jiangsu and Zhejiang provinces in previous investigations

统计区域	第 3 次 1984—1988 年	第 4 次 1989—1993 年	第 5 次 1994—1998 年	第 6 次 1999—2003 年
全国	366.02	390.47	436.31	484.26
上海	0.27	0.23	0.23	-
江苏	2.30	2.20	2.30	-
浙江	48.62	50.98	62.45	78.29

注: -, 表示无统计数字。

①基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2002CB410811) 资助。

* 通讯作者 (rfshen@issas.ac.cn)

作者简介: 巩万合 (1980—), 男, 河南南阳人, 硕士研究生, 主要从事农业生态环境研究。

1.2 研究方法

为统计数据方便, 本文中长江三角洲地区包括上海、江苏和浙江全部地区。在查阅有关文献、统计资料的基础上, 赴该地区调研, 通过访谈农户、实地勘察竹林经营状况、请教专家等方式, 获得了该地区竹林资源、竹林经营、施肥、N、P 流失率等数据, 利用下列公式估算该地区竹林经营中因施肥而产生的 N、P 流失量。

竹林 N、P 流失量 = 竹林面积 × 集约经营比例 × 单位面积施肥量 × N、P 流失率 (1)

毛竹林集约经营比例 (百分数) = 毛竹林集约经营面积/毛竹林总面积 (2)

由于非集约经营的竹林一般不施肥或很少施肥, 本文主要研究集约经营竹林地的肥料流失量。

2 结果

2.1 浙江省竹林集约经营状况

浙江省是全国重点产竹省份, 全省几乎每个县(市、区)都有竹林分布或栽培, 竹林面积在 1.33 万 hm^2 以上的有 15 个县(市、区), 竹林总面积 41.7 万 hm^2 , 占全省竹林总面积的一半以上。如此丰富的竹林资源, 加之社会对竹笋、竹材需求量的增加及浙江省各级政府对竹业经济的重视, 各地农民纷纷加大了对竹林的开发程度。尽管如此, 由于各地自然、经济条件不同, 竹林经营状况也有很大差别。在本研究中, 我们以毛竹 3 个主产区的平均集约程度代表全省的毛竹集约水平。根据调查资料^[12-14], 在表 2 中列出了几个毛竹主产区竹林面积及集约经营面积。

表 2 毛竹 3 个主产区竹林面积与集约经营面积 ($\times 10^4 \text{ hm}^2$)^[12-14]

Table 2 Total area and intensive cultivation area of *Phyllostachys pubescens* forests in the three main production regions

区域	安吉	丽水	杭州
毛竹林面积	5.23	11.67	8.71
集约经营面积	2.62	4.47	4.67

根据表 2 和公式 (2), 计算得到浙江省毛竹林集约经营比例约为 45.9%。

由于作为笋用林经营的雷竹、高节竹及绿竹等杂竹林主要为人工栽培经营, 再加上近几年来笋用竹林高效经营技术的推广, 其集约经营程度要比毛竹高。据调查, 全省粗放经营的杂竹林有 5.36 万 hm^2 , 占到 41.4%^[15], 即集约经营的杂竹林占 58.6%。据有关资料报道^[16], 2005 年我国集约经营的竹林比例达 40%, 而浙江省竹林集约经营比例要高一些, 因此认为估算出

来的比例较为合理。

2.2 不同竹林施肥量的确定

浙江省竹林大部分生长在丘陵山地上, 由于施用有机肥需要花费大量的人力、物力, 竹农主要向竹林施用化肥和复合肥。对浙江省临安市竹林经营状况调查表明, 当地竹农施用的肥料主要是尿素和复合肥, 因尿素养分单一, 更多竹农选择施用复合肥 (15:15:15)。当地雷竹林全年施肥量一般为 2250 ~ 3000 kg/hm^2 ; 毛竹林施肥量比较少, 每年施用复合肥 225 ~ 300 kg/hm^2 。

结合有关文献, 我们发现部分地区笋用杂竹林施肥量更大。如浙西丰产栽培的高节竹林, 每年施有机肥达 90 t/hm^2 , 化肥为 1000 kg/hm^2 ^[17]。浙南地区的丰产栽培绿竹笋用林, 每年施用化肥为 1200 kg/hm^2 , 有机肥达 60 t/hm^2 ^[18]。雷竹林施肥更多, 在慈溪市库区的雷竹林单有机肥一项, 每年的施用量一般都超过 75 t/hm^2 , 多的达 150 t/hm^2 ^[11]。

尽管上述地区的杂竹林施肥量较大, 但考虑到部分竹林集约程度比较低的实际情况, 本研究选用在临安调查所得施肥量作为估算竹林 N、P 流失的数据, 杂竹林的施肥量以雷竹林的施肥量表示, 即毛竹林每公顷每年施用 225 ~ 300 kg 复合肥, 杂竹林每年施用 2250 ~ 3000 kg 复合肥。

2.3 肥料流失率的确定

肥料流失率与很多因素有关, 如肥料种类、施肥方式、降雨、地形、土壤类型、植物覆盖及耕作措施等。一般而言, 水土流失越严重的地方, 肥料流失越严重。浙江省的自然条件易于产生水土流失, 主要表现在以下几个方面: ①浙江地形以丘陵山地为主, 占全省陆域面积的 70.4%, 25°以上陡坡占全省总面积的 46.5%, 占丘陵山地面积的 65.9%; ②浙江境内广泛分布着易引起侵蚀的红壤, 其透水性差, 暴雨后产生大量地表径流, 可使其严重侵蚀; ③浙江地处亚热带湿润季风气候区, 降水充沛, 年降雨量为 1200 ~ 2000 mm, 大部分地区有春、秋两个多雨季节, 而且降雨强度大, 如一次台风过程降雨量可达 200 mm 左右。除了上述自然因素外, 还有人为因素的影响: 近年来随着竹林经营集约程度的提高和集约经营面积的扩大, 许多地方的竹农对竹林进行翻土复垦及除草, 导致林地土壤裸露、疏松, 地表径流显著增加, 位于表层土壤的肥料也随之流失。

浙江省竹林主要分布在丘陵山地上, 地形条件比农田更为复杂。目前对竹林 N、P 流失的研究主要集中在林地 N、P 流失形态方面^[19-22], 有关竹林 N、P 流失率的研究比较有限。参照沈振月等^[23]对浙江省经济

林地(包括果园、茶园等)化肥流失情况的研究,以及 N、P 流失率的其他相关研究^[24-25],确定竹林 N 肥流失率为 10%~12%,P 肥流失率为 5%。该流失率的确定主要从以下几方面考虑:首先,该流失率是全省范围内的平均值,并不是指某一特定竹林;其次,在全省范围内,由于竹林和茶园地理分布上

的相似性,两者所处土壤类型、地形条件、降雨等因素比较接近;最后,竹林和茶园在大范围内有较为接近的覆盖度。

2.4 肥料流失量的估算

通过以上对浙江省竹林施肥情况、竹林集约经营程度以及林地肥料流失率的调查,得到表 3。根据

表 3 浙江省竹林经营情况

Table 3 Management of bamboo forests in Zhejiang Province

竹林种类	面积 (10 ⁴ hm ²)	集约比例	N 肥用量 (kg/hm ²)	N 肥流失率	P 肥用量 (kg/hm ²)	P 肥流失率
毛竹林	65.35	45.9%	33.8~45	10%~12%	14.7~196	5%
杂竹林	12.94	58.6%	337.5~450	10%~12%	147.4~196.5	5%

注:表中 N、P 肥分别指纯 N 与纯 P。

表 3 和公式 (1),计算出浙江省竹林中每年 N 流失量为:3573~5713 t, P 流失量为 779~1039 t。

假定江苏省和上海市竹林经营状况相同,且竹林 N、P 流失率一样,同样方法,结合表 3 和表 4,可计算出上海市竹林经营中每年因施肥产生的 N、P 流失量分别为 44~70 t、10~13 t,江苏省竹林经营中的 N、P 流失量分别为 178~284 t、39~52 t。长三角地区竹林经营中每年的 N、P 流失总量分别为 3795~6067 t、828~1104 t。浙江省竹林 N、P 流失量占主要部分,均为 94%。

表 4 上海市和江苏省的竹林面积(hm²)^[11]

Table 4 Area of bamboo forests in Shanghai and Jiangsu Province (hm²)

竹林种类	上海市	江苏省
毛竹林	100	15200
杂竹林	2200	7800

3 讨论

与浙江省近些年每年超过 90 万 t 的化肥用量相比,该省因竹林施肥而产生的 N、P 流失量还非常少,但与该省 2000 年农田 N、P 流失量(分别为 115427 t、3340 t)相比^[23],竹林施肥产生的 N、P 流失量已分别占 3.3%~5.3% 和 24.8%~3.1%。从单位面积上的平均流失量来看,竹林 N、P 流失负荷分别为 9.8~15.6 kg/hm² 和 2.1~2.8 kg/hm²,这与已有的关于太湖丘陵地区竹林地 N、P 流失量的研究结果相近(分别为 12 kg/hm²、2.7 kg/hm²)^[26],同时该省农田 N、P 年流失负荷分别为 57.4 kg/hm² 和 1.7 kg/hm²^[22],竹林地 N、P 年流失负荷是其 17.8%~27.2% 和 158.8%~164.7%。因此,竹林地因施用化肥导致的 N、P 流失负荷已比较严重,特别是 P 已超过农田,其流失总量也占了农

田的近 1/4~1/3。

在部分高度集约经营竹林地区,肥料流失更为严重。以冯世祥等^[27]在慈溪市、余姚市和奉化市设置的雷竹笋“一早两高”栽培技术为例,其施肥情况为:每年施肥 5 次,每公顷施厩肥 105 t,尿素 2400 kg, P 肥 510 kg, K 肥 870 kg。结合各种肥料养分含量,可以计算出在这些高产栽培技术推广地区,每年因施肥可流失 N 为 162.9~195.5 kg/hm², P 为 7.4 kg/hm²,显然高于浙江省竹林 N、P 流失的平均水平。而陈欣等^[19]在德清对竹林内 P 流失的测定结果则高达 20.5 kg/hm²(6—8 月),竹园径流总 P 浓度在多雨季节达 36.45 mg/L,在少雨季节为 9.92 mg/L。这些污染物进入水体后,将会对水环境产生严重的影响,加剧水体富营养化。慈溪市山区水库已经出现了水质富营养化,其原因之一便是当地雷竹林覆盖栽培并大量施用化肥^[1]。

由于各竹林产区施肥水平不一,地形也不尽相同,本研究估算出来的 N、P 流失量必然不够精确。根据陈欣等^[19]在浙江德清的研究推算,竹林地 P 肥流失率超过 8%,而据 Gao 等^[21,28]研究推算,竹林 N、P 流失率还不到 1%。经分析主要由于前者竹林施肥量大(P 肥年施用量超过 250 kg/hm²),并且农业活动频繁(经常翻耕除草),而后者则完全相反,且地表凋落物丰富, N、P 流失显著减少,这和 Richardson 等^[29]研究的免耕显著减少营养元素流失相一致。虽然浙江很多地方的笋用杂竹林使用了覆盖增温技术,但这些覆盖物通常在 3—4 月份被清除掉^[30],因此并不能减轻当地 5—8 月份的集中降雨期雨水对林地的冲刷。另外本研究参考的肥料流失率是农田系统的,丘陵坡地的流失率应该比农田要大,相应的实际流失量要大于本文估算量,因此考虑到上述方面的影响因素,本文估算结果偏低。尽管如此,本研究对于竹林地水源的面源污染防治还

是具有一定的借鉴意义。

4 结论

(1) 长三角两省一市竹林因施肥产生的 N、P 流失量分别为 3795~6067 t/年、828~1104 t/年; 与农田相比, 竹林施肥还未在较大的范围产生面源污染。

(2) 在浙江省部分笋用竹林集约经营程度高的地区, 竹林每年因施肥流失的 N、P 已达 162.9~195.5 kg/hm²、7.4 kg/hm², 显著高于农田 N、P 平均流失量, 对水环境构成了潜在的风险。因此, 相关部门应当加以重视, 采取措施减轻这种风险。

(3) 近年来, 由于竹林面积的逐年扩大和施肥量的增加, 竹林经营产生的面源污染对上游水源地的污染风险在不断增加。

致谢: 特别感谢在临安市调研时浙江林学院姜培坤教授和吴家森实验师提供帮助。

参考文献:

- [1] 徐绍清, 陈旭君, 吕兆田. 慈溪市库区覆盖雷竹园的无公害经营技术. 浙江林业科技, 2003, 23(6): 47-48, 63
- [2] 姜培坤, 叶正钱, 徐秋芳. 高效栽培雷竹林土壤重金属含量的分析研究. 水土保持学报, 2003, 17(4): 61-63, 74
- [3] 方伟, 何钧潮, 卢学可. 雷竹早产高效栽培技术. 浙江林学院学报, 1994, 11(2): 121-128
- [4] 田青英. 南京市笋用竹发展的思考. 林业科技开发, 2003, 17(3): 58-59
- [5] 陈双林, 萧江华. 现代竹业栽培的土壤生态管理. 林业科学研究, 2005, 18(3): 351-355
- [6] 王洪敏. 里杜湖富营养化综合评价及预测. 环境污染与防治, 2003, 25(1): 4-56
- [7] Zhang ZJ, Zhu YM, Guo PY, Liu GS. Potential loss of phosphorus from a rice field in Taihu Lake Basin. J. Environ. Qual., 2004, 33: 1403-1412
- [8] 顾培, 沈仁芳. 长江三角洲地区面源污染及调控对策. 农业环境科学学报, 2005, 24(5): 1032-1036
- [9] 刘培芳, 陈振楼, 许世远, 刘杰. 长江三角洲城郊畜禽粪便的污染负荷及其防治对策. 长江流域资源与环境, 2002, 11(5): 456-460
- [10] 段永惠, 张乃明, 张玉娟. 施肥对农田氮磷污染物径流输出的影响研究. 土壤, 2005, 37(1): 48-51
- [11] 中国林业科学数据中心. http://www.cfsdc.org/sjzy_list.asp?parentid=41
- [12] 刘德弟, 宣裕方, 李兰英. 安吉县竹产业发展探讨. 林业经济问题, 2005, 25(1): 25-29, 34
- [13] 李明华, 金玲, 张小芳. 丽水竹业: 社区参与的山区可持续发展模式. 浙江林学院学报, 2004, 21(2): 189-193
- [14] 林太本, 孙孟军, 季祝庆. 杭州竹业发展与竹业创新开发的研究. 华东森林经理, 2002, 16(1): 23-25
- [15] 翁甫金, 朱云杰, 楼云台. 浙江省竹业发展现状及对策. 竹子研究汇刊, 2004, 23(1): 9-12
- [16] 王左军. 我国竹林面积扩大, 竹产业化进程加快. 中国绿色时报, 2005-11-4
- [17] 方伟, 何钧潮, 凌申坤, 余树全, 华文礼. 高节竹丰产经营技术. 林业科技开发, 2002, 16(1): 39-41
- [18] 陈余钊, 林锋, 吴一宏, 林必秀. 浙南地区的绿竹笋用林丰产高效栽培技术. 竹子研究汇刊, 2003, 22(4): 25-29
- [19] 陈欣, 姜曙千, 张克中, 边卓平. 红壤坡地磷素流失规律及其影响因素. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1999, 5(3): 38-41, 63
- [20] 陈欣, 范兴海, 李东. 丘陵坡地地表径流中磷的形态及其影响因素. 中国环境科学, 2000, 20(3): 284-288
- [21] 高超, 朱继业, 朱建国, 宝川靖和, 王登峰, 周娟娟, 高翔, 窦贻俭. 不同土地利用方式下的地表径流磷输出及其季节性分布特征. 环境科学学报, 2005, 25(11): 1543-1549
- [22] 朱继业, 高超, 朱建国, 宝川靖和. 不同农地利用方式下地表径流中氮的输出特征. 南京大学学报(自然科学版), 2006, 42(6): 621-627
- [23] 沈振月, 杨斌, 朱有为. 浙江省化肥、农药污染状况及防治对策研究. <http://www.eedu.org.cn/Article/academia/papers/sumpapers/200405/1127.html> 2004-5-12
- [24] 翁焕新, 陈立红, 楼竹山, 田荣湘, 朱扬明, 孙向卫. 沿海沉积营养物质对引发赤潮的潜在影响. 浙江大学学报(理学版), 2004, 31(5): 595-600
- [25] 田平, 陈英旭, 田光明, 梁新强, 张秋玲, 俞巧钢, 李华. 杭嘉湖地区淹水稻田氮素径流流失负荷估算. 应用生态学报, 2006, 17(10): 1911-1917
- [26] 曹慧, 杨浩, 赵其国. 太湖丘陵地区典型坡面土壤侵蚀与养分流失. 湖泊科学, 2002, 14(3): 242-246
- [27] 冯世祥, 何月祥, 黄胜利, 诸余庭, 陆百福, 顾柳生, 顾国琪. 雷竹笋“一早两高”栽培技术研究. 竹子研究汇刊, 1996, 15(1): 66-76
- [28] Gao C, Zhu JG, Zhu JY, Gao X, Dou YJ, Hosen Y. Nitrogen export from an agriculture watershed in the Taihu Lake area, China. Environmental Geochemistry and Health, 2004, 26(2): 199-207
- [29] Richardson CW, King KW. Erosion and nutrient losses from zero tillage on a clay soil. J. Agric. Engng Res., 1995, 61(2): 81-86
- [30] 周国模, 金爱武, 何钧潮, 王安国. 覆盖保护地栽培对雷竹笋用林丰产性能的影响. 中南林学院学报, 1999, 19(2): 52-54

Estimation of Nitrogen and Phosphorus Losses from Bamboo Forest in Yangtze River Delta

GONG Wan-he^{1,2}, GU Pei^{1,2}, SHEN Ren-fang¹

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences)*, Nanjing 210008, China;

2 *Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China*)

Abstract: Losses of nitrogen and phosphorus from bamboo forest in Yangtze River Delta were estimated on the basis of analysing intensive cultivation area, fertilization, and fertilizer loss rate. The results showed that annual loss of nitrogen and phosphorus amounted to 3795 ~ 6067 t and 828 ~ 104 t, respectively, in which, those from Zhejiang Province were 3573 ~ 5713 t N and 779 ~ 1039 t P, accounting for 94% of the total loss. The loss of nitrogen from bamboo forest ($9.8 \sim 15.6 \text{ kg/hm}^2$) was much lower than that from farmland (57.4 kg/hm^2) in Zhejiang Province. However, the loss of phosphorus from bamboo forest ($2.1 \sim 2.8 \text{ kg/hm}^2$) was higher than that from farmland (1.7 kg/hm^2). In some intensive cultivation area of bamboo, the annual loss of nitrogen and phosphorus amounted to 162.9 ~ 195.5 and 7.4 kg/hm², respectively. Since bamboo forests usually grow upriver or on the river or lake banks, the loss of N and P could directly increase the risk of water pollution.

Key words: Fertilizer, Area of bamboo forest, N and P loss, Intensive cultivation