

# 不同施肥模式对雷竹林氮磷流失的影响

胡昱彦<sup>1</sup>, 庄舜尧<sup>2</sup>, 郭益昌<sup>1</sup>, 桂仁意<sup>1</sup>, 方伟<sup>1</sup>, 沈桥民<sup>1</sup>

(1. 浙江农林大学, 亚热带森林培育国家重点实验室, 杭州 311300;

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

**摘要:** 通过田间小区试验, 研究袋控释肥对集约经营雷竹林氮磷损失的影响。结果表明: 施肥后雷竹林的径流液及渗漏液中氮磷含量随时间呈现先升后降的单峰变化趋势; 袋控释肥处理中径流液全氮和全磷流失量分别为 1 844.43, 152.58 g/hm<sup>2</sup>, 比撒施肥处理减少了 18.75% 和 40.94%; 在渗漏液中, 袋控释肥处理的全氮和全磷流失量为 108.84, 3.32 kg/hm<sup>2</sup>, 比撒施肥处理减少 15.35% 和 22.91%; 施肥后 7 天内, 撒施肥处理的氨挥发占总氮挥发量的 75.06%, 而袋控释肥处理的氨挥发量在施肥后第 28 天才释放总量的 68.06%, 且袋控释肥处理的氨挥发量比撒施肥处理减少 32.08%。因此, 通过施用袋控释肥能有效降低雷竹林氮磷的损失, 提高肥料利用率。

**关键词:** 雷竹; 径流; 渗漏; 氨挥发

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2019)03-0051-07

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2019.03.008

## Effect of Different Fertilization Patterns on Nitrogen and Phosphorus Loss in a Bamboo Forest

HU Yuyan<sup>1</sup>, ZHUANG Shuniao<sup>2</sup>, GUO Yichang<sup>1</sup>, GUI Renyi<sup>1</sup>, FANG Wei<sup>1</sup>, SHEN Qiaomin<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300; 2. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008)

**Abstract:** The effect of different fertilizers application on nitrogen and phosphorus loss in a bamboo forest was studied by a field experiment. Results showed that the contents of nitrogen and phosphorus in runoff and leachate in the bamboo forest varied in a peak shape with time. In runoff, the total nitrogen and phosphorus contents were 1 844.43 g/hm<sup>2</sup> and 152.58 g/hm<sup>2</sup> under the treatment of bag-coated fertilizer that were reduced by 18.75% and 40.94% respectively compared with the control. While in leachate, the total nitrogen and phosphorus contents were 108.84 kg/hm<sup>2</sup> and 3.32 kg/hm<sup>2</sup> that were 15.35% and 22.91% lower than the control. Seven days after the fertilizer application, the amount of ammonia volatilization accounted for 75.06% of the total lost, but it was only 68.06% in 28 days in the bag-coated fertilizer treatment. Furthermore, the amount of ammonia volatilization lost in bag-coated fertilizer treatment was 32.08% lower than the control. Therefore, the method of bag-coated fertilizer application should be effective in preventing nitrogen and phosphorus loss and subsequently increase the fertilizer use efficiency in the bamboo forest.

**Keywords:** *Phyllostachys violascens*; runoff; leaching; ammonia volatilization

雷竹 (*Phyllostachys violascens*) 作为笋用竹种的优良品种, 通过雷竹春笋冬出覆盖技术以及重肥集约经营技术, 产生了可观的经济效益。由于雷竹年年采笋以及去老留新导致的养分归还量少等特点, 使得施肥成为了雷竹林维持生产力的最主要方式。因为盲目追求产量, 农民们往往会施用过量的化肥, 造成

肥料利用率低下等问题。据统计, 全世界的氮素利用率为 40%~60%<sup>[1]</sup>, 我国大部分地区的氮素利用率仅为 30%<sup>[2]</sup>, 而磷肥利用率更低, 仅为 10%~20%<sup>[3]</sup>。过量施肥导致了肥料的大量流失而引起环境污染。我国江河湖泊普遍受到氮磷等营养物的污染。施肥后土壤中径流淋溶出的无机形式的氮和磷,

主要是硝态氮和溶解的活性磷,可立即被藻类和水生植物利用。河流中的过量营养促进了藻类和水生植物的生长,造成了赤潮等一系列严重的污染<sup>[4]</sup>。2005年,28个国控重点湖(库),满足Ⅰ类水质的湖(库)0个;而劣Ⅴ类水质有12个,占总量的43%。巢湖和太湖等一些大型湖泊污染严重,水质均为劣Ⅴ类<sup>[5]</sup>,且全氮和全磷含量高,为主要的污染指标。

土壤中氮元素的损失主要通过氨挥发、地表径流及地下渗漏<sup>[6-8]</sup>等途径损失,其中氨挥发为氮的主要损失途径;土壤中的磷元素主要是通过径流及渗漏等方式损失<sup>[9-10]</sup>。国内外在对如何减少肥料损失、提高肥料利用率已有较广泛的研究。Wang等<sup>[11]</sup>研究表明,低施氮量可降低土壤氮素肥力,过量施氮会增加氮的积累,增加氮污染的风险。通过不同方式如复合肥中加入有机肥、生物肥,改变肥料的施肥方式或者降低肥料的使用量都能有效得降低径流的氮损失<sup>[12-14]</sup>。在集约化经营雷竹林中,过量施肥导致土壤中的氮磷元素含量超标,使得氮磷富集在土层中。降水后,富集在土壤中的氮磷通过径流和渗漏方式进入水体,且土壤中氮磷径流渗漏的流失量都较高<sup>[15-17]</sup>。集约化经营雷竹林竹产区流失液按地表水总氮、铵氮含量的浓度属劣Ⅴ类水;按流失液中总磷含量作为衡量指标,属Ⅳ类水质<sup>[5]</sup>。前人<sup>[18-19]</sup>研究表明,袋控释肥能保证肥效稳定的供应,显著减少和延后氨挥发的日排放高峰,减少氮素损失。本试验采用田间径流小区试验,研究袋控释肥和撒施肥对集约经营雷竹林氮磷损失的影响,分析袋控释肥在集约经营雷竹林中的养分利用效果。该研究可为集约经营竹林的面源污染防治提供新的技术方法。

## 1 材料与方 法

### 1.1 研究区概况

研究地点位于浙江省杭州市临安区太湖源镇(119°35' E,30°19' N)。试验地气候属亚热带季风气候,年平均降水量约为1 628 mm,年平均气温15.8℃,1月最低气温-13.3℃,7月最高气温为41.9℃。全年无霜期约为244 d,年日照时间1 939 h。土壤发育自第四纪砂岩母质的铁铝土。土壤基本理化性质为:pH 6.4,有机质含量(SOM)5.69%,全氮含量1.61 g/kg,有效氮含量220.6 mg/kg,有效磷含量460 mg/kg,速效钾含量205 mg/kg。

### 1.2 试验设计

试验于2017年5月20日至2018年9月21日在临安区太湖源镇进行,选取坡度为12.5°的9个相邻试验小区,每个小区的面积为20 m<sup>2</sup>(2 m×10 m),坡向为东南方向,修建小区,每个小区之间使用铝塑板隔离开,铝塑板规格为10 m×40 cm×5 mm,埋设

在地下30 cm,高出地面10 cm。试验共设置9个小区,3个小区不施用肥料(CK);3个小区施用复合肥,每个小区撒施复合肥3.6 kg(含尿素2.7 kg,过磷酸钙0.54 kg,硫酸钾镁0.36 kg);3个小区施用袋控释肥,每个小区施用玉米淀粉袋包裹的复合肥18袋,共3.6 kg(每袋含尿素150 g,过磷酸钙30 g,硫酸钾镁20 g;袋规格为10 cm×10 cm且袋上打有直径为0.4 mm的小孔25个)。

1.2.1 雷竹林地径试验地的设计与样品的采集 在每个小区坡底使用规格为160 cm×140 cm×160 cm(高×底×高)的塑料天沟收集径流液。施肥后,在多样地中选择坡面处于自然状态、坡度一致、植被和地表枯枝落叶保存完好的地段。为避免样方拐点处相邻塑料隔板间的缝隙对样方内径流水的影响,塑料隔板固定后,对缝隙进行培土、覆盖。在最下部的天沟集水槽中间留一排水口,用直径为1 cm的塑料软管连接到25 L塑料桶内收集径流水。施肥后视降雨情况收集径流水样,多次取样,其中6,7,8,9月对径流水样品收集。水样采集前测定每块样地所收集径流水的总体积,摇匀,每次收集500 mL水样带回实验室测定分析。径流渗液中全氮、铵态氮和硝态氮分别采用过硫酸钾氧化-紫外分光光度法、靛酚蓝比色法和双波长比色法<sup>[20]</sup>测定。同时在试验小区周边布置雨量筒,测定降雨量。

1.2.2 雷竹林地渗漏试验设计与样品采集 雷竹为浅根系植物,其竹鞭主要分布在土壤深度10—20 cm的范围内,在5—30 cm的土层范围分布90%以上的雷竹竹鞭,仅1.2%的雷竹根鞭分布在30 cm土层深度以下。因此本试验将30 cm深度线作为肥料淋失的界限,在每个处理小区内的中心位置埋设土壤渗漏水收集装置,土壤渗漏水装置埋在离地面30 cm深度的土层中,利用抽水器通过连接在收集器的塑料管将水样从土壤渗漏水装置抽出<sup>[21]</sup>,使用规格为43 cm×27 cm×27 cm(长×宽×高)25 L的塑料桶作为渗漏装置中的收集装置。每次收集500 mL带回实验室测定分析。

1.2.3 氨挥发量测定的试验设计与样品采集 试验采用原位氨挥发收集装置进行挥发氨气的采集<sup>[22]</sup>。在每个试验样地放置3个氨挥发气体收集装置,且将氨挥发收集装置放于施肥土壤上,当天施肥后开始收集土壤中挥发出来的氨含量,然后每隔1天将上层和下层海绵取出,同时换上1块蘸有硼酸溶液的海绵。将取出的下层海绵密封后带回实验室,用0.3 L 1.0 mol/L的氯化钾溶液浸泡,在180 r/min振荡仪中振荡30 min后,用浓度为0.01 mol/L HCl滴定,计算土壤氨挥发的量以及氨挥发的速率。

### 1.3 数据处理

利用 SPSS Statistics 22.0 软件对数据进行分析。用 Microsoft Excel 2010 软件进行图表的绘制。

## 2 结果与分析

### 2.1 降雨量对氮磷流失的影响

2.1.1 降雨与径流渗漏量的相关性 降雨量是土壤中产生径流和渗漏的最主要的因素。在袋控释肥和撒施肥处理下,降雨量与地表径流存在显著的线性关系;渗漏液量的多少与降雨量的大小呈极显著差异(表1)。

2.1.2 降雨量对氮磷流失的影响 由图1可知,氮磷的流失与降雨量有一定相关性。施肥后降雨量对撒施肥处理的影响比对袋控释肥的影响更为明显,撒施肥处理下渗漏和径流中氮磷的损失量与袋控释肥处理下的损失量达到显著差异( $P < 0.05$ )。在施肥后,降雨是氮素流失的一个重要影响因素,当降雨强度低时,氮磷的

流失随着雨水会向土壤深层渗透,当降雨强度大时,土壤达到饱和含水量后,就会形成蓄满产流,撒施肥处理下在施肥后的短时间内经强降雨冲刷,使得氮磷的流失量较大,而袋控释肥在施肥后虽然经过强降雨,但是流失量少,直到一段时间之后,累积降雨量达到 540 mm,氮磷的流失量才开始逐渐变大。

表1 不同施肥处理径流渗漏量与降雨量相关性

项目	处理	回归方程	$R^2$
径流	CK	$Y_1 = 3.1329x + 20.803$	0.6529**
	撒施肥	$Y_1 = 2.5070x + 23.621$	0.5235*
	袋装肥	$Y_1 = 2.3322x + 22.924$	0.4300*
渗漏液	CK	$Y_2 = 0.2353x + 1.3455$	0.8476**
	撒施肥	$Y_2 = 0.2129x + 1.3242$	0.7996**
	袋装肥	$Y_2 = 0.2280x + 1.3682$	0.7963**

注:  $Y_1$  为径流(L);  $Y_2$  渗漏量(L);  $x$  为降雨量(mm); \*\* 表示极显著相关( $P < 0.01$ ); \* 表示显著相关( $P < 0.05$ )。

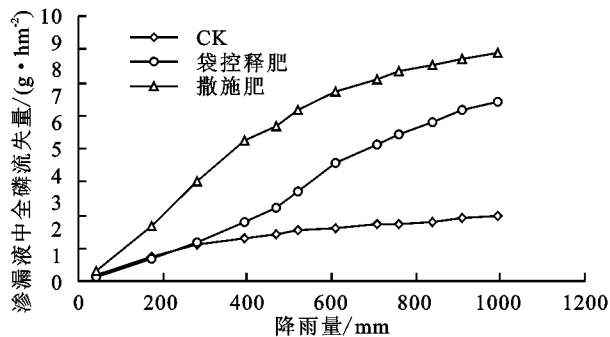
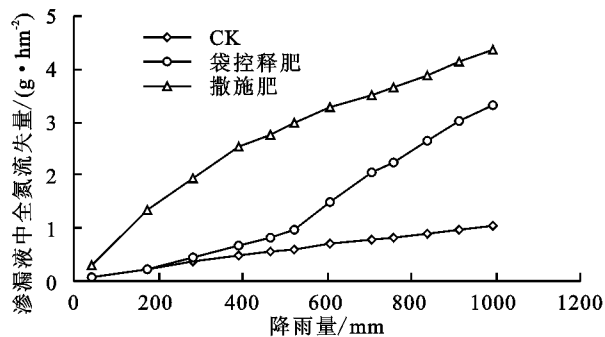
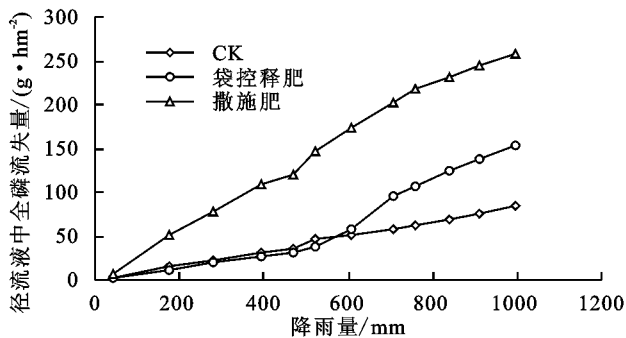
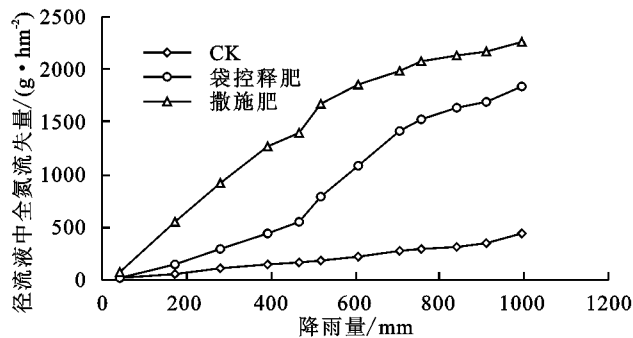


图1 降雨量对氮磷流失的影响

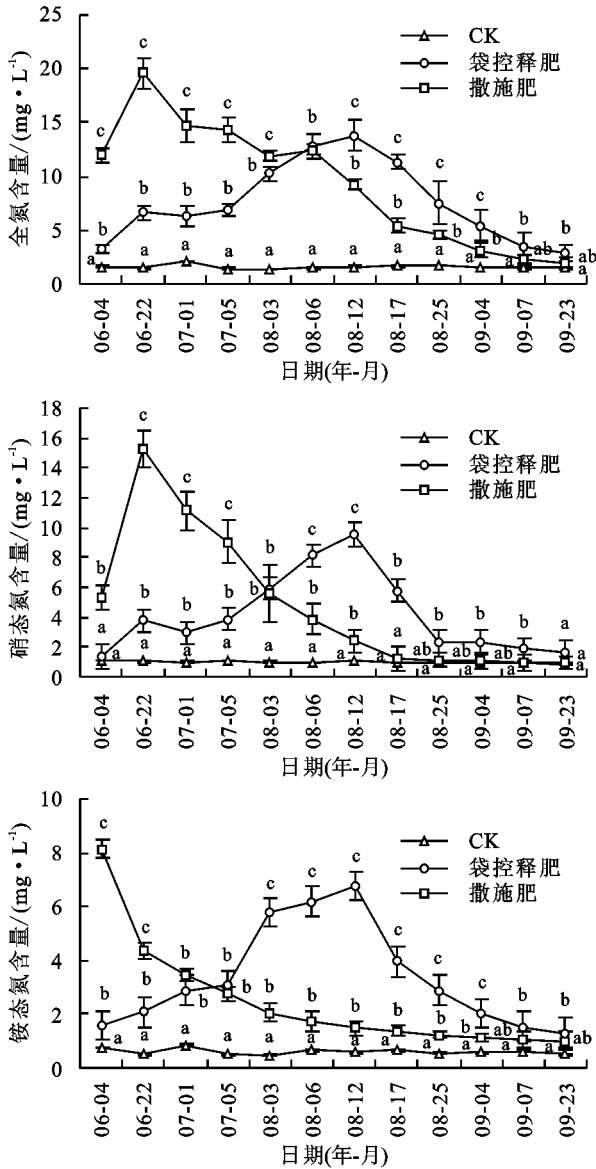
### 2.2 不同施肥方式对氮磷径流损失的影响

2.2.1 不同施肥方式对径流液中氮含量的影响 由图2可知,不同施肥处理下雷竹试验小区径流液中氮含量在5月28日施肥之后撒施肥整体随时间呈现先上升后下降的趋势,径流液中全氮的含量在达到峰值之后,开始逐渐下降,最后保持稳定;而袋控释肥在施肥后的前2个月中,相对于撒施肥处理径流液中全氮的含量相对较少,与撒施肥处理全氮浓度相比二者浓度达到了显著性差异,施肥2个月之后,撒施肥处理径流液中全氮的含量明显下降,而袋控释肥处理径流液中全氮的含量逐渐上升,在达到峰值(13.81 mg/L)之后逐渐下降。未施肥径流液中全氮的含量总体呈现缓慢下降的趋势。

在撒施肥的处理中,当施肥后第1次降雨量和径流液达到最大时(6月22日),径流液中硝态氮的含量达到峰值 15.25 mg/L,而且径流液中硝态氮含量随时间增加而减少,最后达到稳定(图2)。袋控释肥在施肥的第1个月中仅有少部分释放,在前期肥料缓慢释放过程中,6月22日中降雨量达到峰值时,径流液中硝态氮的含量比7月1日径流液中硝态氮含量要高;但相对于第2次降雨高峰(8月17日)也仅仅是流失了一小部分,相对于未施肥径流液中硝态氮的含量,撒施肥和袋控释肥处理径流液中硝态氮浓度要高于对照未施肥处理,且差异显著( $P < 0.05$ )。

不同施肥处理下雷竹林地径流液中铵态氮的含量随时间的变化(图2)。撒施肥处理下径流液中铵态氮的浓

度呈现出了下降的趋势,且在施肥后的第 1 个月中,铵态氮的含量呈现出急剧下降的趋势。袋控释肥处理下径流液中的铵态氮含量在 7 月 5 日之后开始逐渐增加,且比袋控释肥处理下径流液铵态氮的浓度含量要高。



注:图中不同字母表示在同一时间段不同施肥方式下数据在 0.05 水平下差异显著。下同。

图 2 袋控释肥与撒施肥对径流液中氮含量的影响

### 2.2.2 不同施肥方式对径流液中全磷含量的影响

施肥后前 2 个月,撒施肥处理下降雨量对于径流液中全磷含量的变化影响较为明显(图 3)。在降雨量达到最大值时,撒施肥处理下径流液中全磷的含量达到峰值(1.84

mg/L)。而袋控释肥处理下径流液中全磷的含量在施肥后 2 个月内相对于撒施肥处理而言流失量很少,8 月 6 日之后袋装肥处理下径流液中全磷的含量快速增加,直至达到峰值(1.247 mg/L)后逐渐下降。总体来看,径流液中全磷的浓度相对较低,在 0.51~1.84 mg/L 范围内波动。

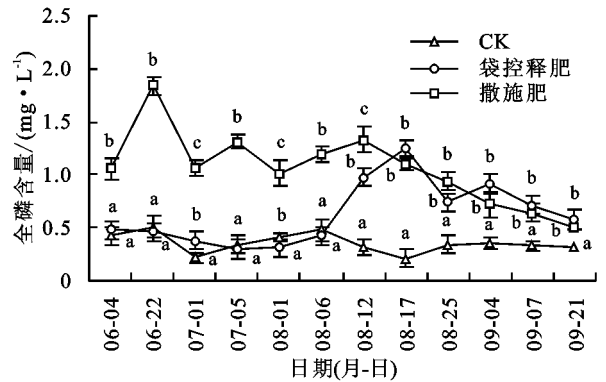


图 3 袋控释肥与撒施肥对径流液中全磷含量的影响

2.2.3 不同施肥方式径流液中氮磷浓度比较 通过径流体积和径流液的浓度,可以估算雷竹林土壤氮磷流失量(表 2)。撒施肥和袋控释肥 2 种处理下的雷竹林土壤径流损失中总氮分别为 2 270.12, 1 844.43 g/hm<sup>2</sup>,占施氮量的 0.36%和 0.27%,总磷分别为 257.41, 152.58 g/hm<sup>2</sup>,占总施磷量的 0.67%和 0.40%。袋控释肥处理下的全氮全磷流失量均低于撒施肥处理,较撒施肥处理分别减少了 18.75%和 40.94%。

### 2.3 不同施肥方式对氮磷渗漏损失的影响

2.3.1 不同施肥方式对渗流液中氮含量的影响 由图 4 可知,撒施肥处理下,渗漏液铵态氮的含量逐渐下降;袋控释肥处理下,渗漏液铵态氮的含量呈现先上升后下降的趋势,在 8 月 17 日时,渗漏液中铵态氮的含量达到峰值 8.5 mg/L。其主要原因是撒施肥处理下肥料的养分流失较快,而袋控释肥养分释放相对比较缓慢,且在袋中仍保持了很大一部分的养分,因此袋控释肥处理下的径流液中在后期相对于撒施肥和不施肥处理下仍有较高的铵态氮浓度。

在袋控释肥和撒施肥处理下渗漏液的中硝态氮的含量总体趋势为先上升后下降。袋控释肥的处理下渗漏液中硝态氮出现峰值比撒施肥晚出现 48 天,且峰值的浓度(95.41 mg/L)比撒施肥低。在袋控释肥和撒施肥处理下渗漏液的中全氮的含量同样呈现出先上升后下降的单峰变化趋势(图 4)。

表 2 不同施肥方式处理下土壤径流液中氮磷流失量的比较

处理	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N		TN		TP	
	含量/ (g·hm <sup>-2</sup> )	占施 氮量/%	含量/ (g·hm <sup>-2</sup> )	占施 氮量/%	含量/ (g·hm <sup>-2</sup> )	占施 氮量/%	含量/ (g·hm <sup>-2</sup> )	占施 磷量/%
不施肥	244.51a		149.02a		433.03a		84.33a	
袋装肥	978.35b	0.16	763.04c	0.13	1844.43b	0.27	152.58b	0.40
撒施肥	1213.86c	0.19	520.53b	0.08	2270.12c	0.36	257.41c	0.67

注:同列不同字母表示同一列数据间在 0.05 水平差异显著。下同。

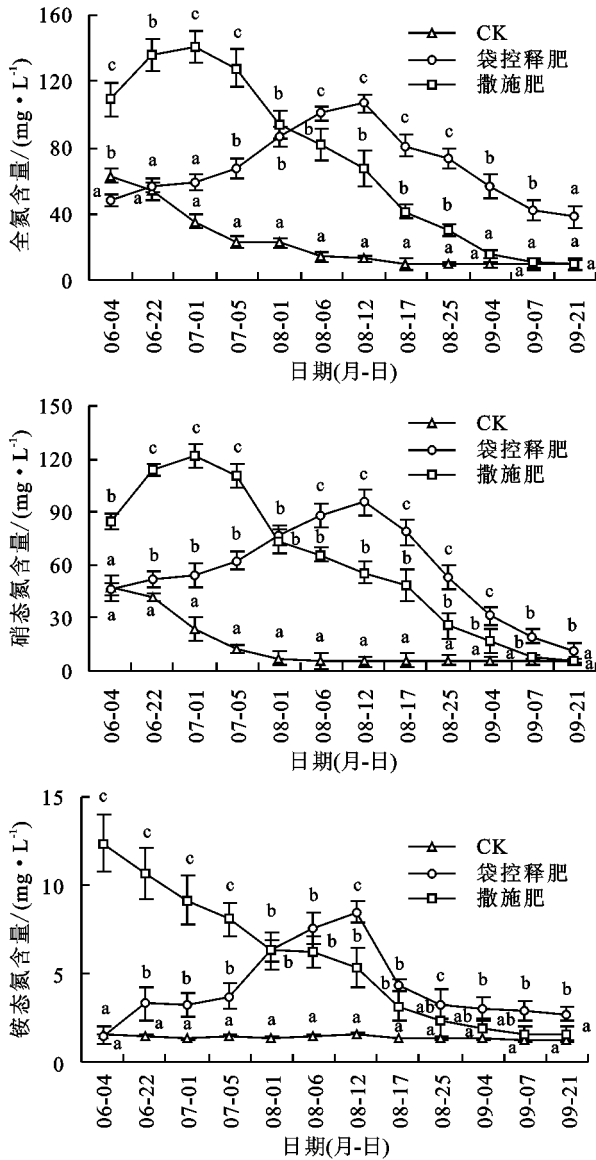


图 4 袋控释肥与撒施肥对渗漏液中氮含量的影响

### 2.3.2 不同施肥方式对渗漏液中全磷含量的影响

由图 5 可知,在施肥后撒施肥和袋控释肥处理下,渗漏液中全磷含量的变化都呈现为先上升后下降的单峰变化趋势,袋控释肥处理下渗漏液全磷的含量峰值(3.97 mg/L)比撒施肥处理下的峰值(5.31 mg/L)晚出现 56 天。相对于撒施肥处理下,在试验期间,袋控释肥处理下渗漏液中磷的中损失量更少。

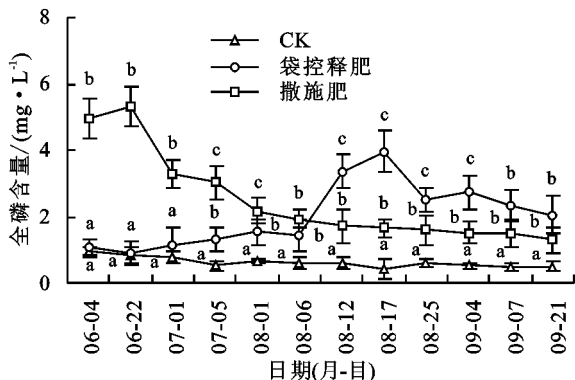


图 5 袋控释肥与撒施肥对渗漏液中全磷含量的影响

2.3.3 不同施肥方式对土壤渗漏液中氮磷流失量的比较 由表 3 可知,未施肥下雷竹林土壤也有一定的养分的损失,土壤的铵态氮、硝态氮、全氮和全磷的含量分别损失了 2.38, 24.73, 38.95, 1.05 kg/hm<sup>2</sup>。可能由于土壤在以往集约化经营中超量施肥,使得土壤中的速效氮含量由未施肥土壤下的 96.42 mg/kg 增长到集约化经营下的 220.60 mg/kg,速效磷含量从 41.33 mg/kg 增长到 460.31 mg/kg,速效钾含量由 13.84 mg/kg 增长到 205.34 mg/kg,养分含量在土壤中累积情况明显。从袋控释肥和撒施肥处理下的结果中可以看出,随着肥料的施入,肥料的淋溶量也增加。袋控释肥处理下的铵态氮、硝态氮、全氮和全磷的损失量比撒施肥处理下分别减少了 30.54%, 19.21%, 15.35%, 19.42%。

### 2.4 不同施肥方式对氨挥发的影响

由图 6 可知,撒施肥在第 2 天即能检测到明显的氨挥发,且明显高于 CK 和袋控释肥处理。撒施肥后第 4 天氨挥发速率达到峰值(32.35 kg/(d·hm<sup>2</sup>)),在施肥后的 20 天,撒施肥氨挥发降至未施肥水平。而袋控释肥在肥料施入土壤的第 10 天才开始逐渐收集到氨挥发,在施肥后 28 天氨挥发速率达到峰值(5.88 kg/(d·hm<sup>2</sup>))。说明袋控释肥能够有效地延迟氨挥发速率峰值的出现。

由图 7 可知,撒施肥氨累积挥发量显著高于未施肥和施用袋控释肥处理,且在施肥后 7 天内,氨快速从肥料中释放出来,且释放速率逐渐增加,从第 8 天开始,累积挥发量趋于平缓且之后保持稳定。而袋控释肥在肥料施入的前 8 天中,基本没有释放氨气,从第 10 天开始,袋控释肥中的氨气逐渐开始释放,且释放速率逐渐增大;袋控释肥中释放氨气的速率和撒施肥相比,袋控释肥处理中释放的速率相对比较平缓且持续时间相对较长。

## 3 讨论

### 3.1 径流肥料损失和降雨量的关系

土壤养分的流失一般分为 3 种方式:一是降雨使得土壤的养分随着地表径流进入水体系统;二是表层土壤达到饱和含水量时,一部分养分随着土壤的渗漏水进入深层土壤,最后进入水体中;三是施肥后产生的气态粉尘或者挥发进入大气中<sup>[23]</sup>。降雨和施肥是决定氮和磷径流损失的最重要因素。降雨量对于氮、磷的流失有明显作用,李莹等<sup>[24]</sup>研究表明,前 3 次降雨流失量较大,随后逐渐变小并趋于平稳,大雨条件下各处理氮素径流损失均大于小雨条件下氮素径流损失。雨量越大,容易导致养分的流失量越大<sup>[25]</sup>且施肥后 1 周内大量的降雨会使径流损失明显增加,因此施肥后第 1 周是控制氮素径流损失的最关键时期<sup>[26]</sup>。

表 3 不同施肥方式处理下土壤渗透液中氮磷浓度比较

处理	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N		TN		TP	
	含量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	占施 氮量/%	含量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	占施 氮量/%	含量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	占施 氮量/%	含量/ (kg·hm <sup>-2</sup> )	占施 磷量/%
不施肥	24.73a		2.38a		38.95a		1.05a	
袋装肥	89.03b	10.03	6.79b	0.71	108.84b	12.37	3.32b	6.01
撒施肥	110.34c	13.79	9.77c	1.19	137.64c	16.89	4.35c	8.73

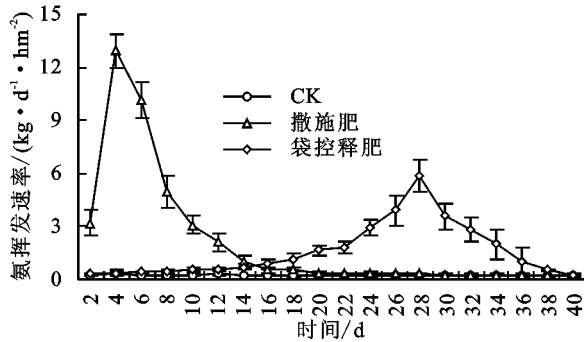


图 6 不同施肥方式氨挥发速率变化

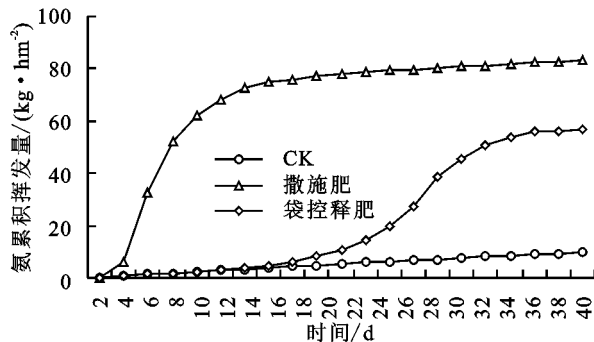


图 7 不同施肥方式氨累积挥发量变化

### 3.2 袋控释肥和传统施肥的比较及其优劣

传统施肥处理下,当土壤中施入大量肥料且肥料相对集中,由于氨化作用,肥料中的尿素水解为碳酸铵,而碱性的碳酸铵有利于氨气的释放,因此,在施肥不久,就有大量的氨挥发,并且 8 天内即损失 81.93%~92.38%<sup>[27]</sup>。相较于传统施肥而言,袋控释肥能有效减少肥料与土壤的接触,仅在大量降雨下使得袋控释肥中的含水量增加,从袋控释肥中淋溶出来的一部分铵态氮产生氨气释放,袋控释肥处理下氨挥发峰值相对较低,出现时间晚,且氨累积挥发量也较低。Shan 等<sup>[28]</sup>的研究表明,SCU、BCU 和 BBCRF 可以延缓缓释肥料释放氨氮的峰值,将肥料包裹在玉米淀粉袋中,使得肥料与土壤接触相对较少,在施肥的前期玉米淀粉袋未分解之前,养分的损失仅仅通过袋上的小孔,形成一个“缓慢释放”的过程;在施肥后期,玉米淀粉袋的分解使得肥料与土壤环境充分接触,造成了峰值出现的“延迟”现象。

撒施肥和袋控释肥处理中,竹林地径流中硝态氮浓度范围分别为 9.87~32.17 mg/L,2.47~12.75 mg/L,袋控释肥处理下最高硝态氮浓度出现在 2018 年 6 月 22 日,第 1 次降水量较大,与吴家森等<sup>[21]</sup>的研究结果相似。李旭等<sup>[29]</sup>的研究中控释尿素各处理

的全氮径流损失量为 15.36~25.98 kg/hm<sup>2</sup>,各处理下径流损失量分别比普通尿素处理减少 1.33,3.41,7.29,7.94 kg/hm<sup>2</sup>,表明控释氮肥在包膜情况下能有效降低肥料养分与土壤接触,保持肥料的肥效时间加长,能有效降低氮的流失量。

在土壤 5—30 cm 土层范围内,雷竹竹鞭占 90% 以上,其中 70%~80% 处于 0—20 cm 范围中,表明雷竹吸收肥料的范围主要在 0—30 cm,所以在将 30 cm 作为养分损失的分界线<sup>[30]</sup>。土壤渗透液收集装置置于土层 30 cm 以下,在撒施肥处理下全氮和硝态氮损失量峰值分别为 140.57,122.08 mg/L,渗透液中硝态氮的含量占全氮百分比为 77.52%~87.35%,这与张瑞杰等<sup>[31]</sup>的研究结果相类似,硝态氮占总氮的 77.1%~89.3%。土壤中的铵态氮在土壤中保持时间短,在撒施肥处理下渗透液中铵态氮的含量通过被土壤固定,甚至一部分通过淋溶向土层的更深处移动。在施肥后第 1 次降雨时,尽管降雨量没有达到峰值,但是在渗透液中的在第 1 次检测中渗透液中铵态氮的含量达到峰值 8.14 mg/L,且之后一直呈现出下降的趋势直至稳定;而在袋控释肥处理下,由于在肥料的外层有一层玉米淀粉袋包装,极大地减少了肥料与土壤接触的机会,减少了肥料中的尿素向铵态氮水解的过程<sup>[31]</sup>,而土壤颗粒对于氨态氮有强烈的吸附作用,玉米淀粉包装袋能有效减少肥料与土壤以及土壤中微生物的接触,起到将肥料缓慢释放的作用。

控释尿素各处理水稻全氮渗漏损失量峰值为 4.15~6.68 kg/hm<sup>2</sup>,比尿素处理峰值 9.83 kg/hm<sup>2</sup> 降低了 4.17%~49.95%,肥料的渗漏损失出现在施肥初期损失大,因此能有效控制施肥初期养分流失是影响减少肥效流失的关键<sup>[29]</sup>。本试验中,袋控释肥处理下全氮和全磷损失量在施肥初期能有效降低肥料养分的流失,且使肥料保持一段较长且稳定的释放时期。玉米淀粉袋包装的肥料可以作为一种新的施肥方式。

## 4 结论

(1)径流液中撒施肥处理和袋控释肥处理下全氮流失量分别为 2 270.12,1 844.43 g/hm<sup>2</sup>,全磷流失量分别为 257.41,152.58 g/hm<sup>2</sup>,渗透液中撒施肥处理和袋控释肥处理下全氮流失量分别为 257.18,217.68 kg/hm<sup>2</sup>,全磷流失量分别为 6.63,8.60 kg/hm<sup>2</sup>,而袋控释肥径流液中全氮和全磷的损失量比撒施肥处理下分别减少了 18.75%和 40.94%,渗透液

中全氮和全磷的损失量比撒施肥处理下分别减少了15.35%和22.91%,相对于传统的撒施肥,袋控释肥能有效降低径流渗漏液中氮磷含量的流失。

(2)撒施肥和袋控释肥处理下氨挥发速率均呈“低—高一低”的变化趋势,但是撒施肥处理下第1周内挥发速率快且累积氨挥发量大,氨挥发累积释放量占总氨挥发量的75.06%,而袋控释肥处理下氨挥发和氨累积挥发量在第1周内缓慢增长,在施肥后的第14天开始,才有显著增长的趋势,施肥后28天氨累积挥发释放量才达致总氨挥发量的68.06%,表明袋控释肥能有效延迟肥料释放肥效的时间。

综上所述,袋控释肥可有效降低雷竹林中氮磷肥料的径流和渗漏损失,降低和延缓氨挥发,有效提高肥料利用率。

#### 参考文献:

[1] 夏循峰,胡宏.我国肥料的使用现状及新型肥料的发展[J].化工技术与开发,2011,40(11):45-48.

[2] 吴巍,赵军.植物对氮素吸收利用的研究进展[J].中国农学通报,2010,26(13):75-78.

[3] 闫金垚,鲁君明,侯文峰,等.磷肥用量对不同水稻品种产量和磷肥利用率的影响[J].中国农业科技导报,2018,20(8):74-81.

[4] Dymond J R, Ausseil A, Parfitt R L, et al. Nitrate and phosphorus leaching in New Zealand: A national perspective [J]. New Zealand Journal of Agricultural Research, 2013, 56(1): 49-59.

[5] 蒲思川,冯启明.我国水体污染的现状及防治对策[J].中国资源综合利用,2008,26(5):31-34.

[6] 陈志良,程炯,刘平等.暴雨径流对流域不同土地利用土壤氮磷流失的影响[J].水土保持学报,2008,22(5):30-33.

[7] 高德才,张蕾,刘强,等.不同施肥模式对旱地土壤氮素径流流失的影响[J].水土保持学报,2014,28(3):209-213.

[8] 张丽娟,马友华,石英尧,等.灌溉与施肥对稻田氮磷径流流失的影响[J].水土保持学报,2011,25(6):7-12.

[9] 闫建梅,何丙辉,田太强,等.施肥水平与耕作模式对紫色土坡耕地地表径流磷素流失的影响[J].水土保持学报,2015,29(1):132-136.

[10] 陈静蕊,刘佳,王惠明,等.保护性耕作措施对陡坡地养分流失的影响[J].中国土壤与肥料,2018(1):146-152.

[11] Wang F, Tian G, Liu J J, et al. Fate of fertilizer nitrogen and soil nitrogen pool budget of Fuji apple from germination stage to new shoot growing stage [J]. Journal of Applied Ecology, 2018, 29(3): 931-937.

[12] Cao Y, Sun H, Liu Y, et al. Reducing N losses through surface runoff from rice-wheat rotation by improving fertilizer management [J]. Environmental Science & Pollution Research, 2017, 24(5): 1-10.

[13] Duan R, Tang Y F, Wen J, et al. Effect of reducing fertilizer application on crop yield and nitrogen and phosphorus loss in runoff from embankment upland in Dongting Lake Region [J]. Chinese Journal of Eco-

Agriculture, 2013, 21(5): 536-543.

- [14] 陈裴裴,吴家森,郑小龙,等.不同施肥对雷竹林径流及渗漏养分流失规律的影响[J].水土保持学报,2013,27(3):39-43.
- [15] 尹海峰,焦加国,孙震,等.不同水肥管理模式对太湖地区稻田土壤氮素渗漏淋溶的影响[J].土壤,2013,45(2):199-206.
- [16] 陈闻,吴家森,许开平,等.集约经营雷竹林土壤磷素状况及流失潜能[J].浙江农林大学学报,2011,28(5):687-693.
- [17] Shan L, He Y, Chen J, et al. Nitrogen surface runoff losses from a Chinese cabbage field under different nitrogen treatments in the Taihu Lake Basin, China [J]. Agricultural Water Management, 2015, 159(5): 255-263.
- [18] 吴家森,陈闻,姜培坤,等.不同施肥对雷竹林土壤氮、磷渗漏流失的影响[J].水土保持学报,2012,26(2):33-37.
- [19] 沙建川,葛顺峰,陈建明,等.袋控肥对苹果土壤  $N_{\min}$  及  $^{15}N$ -氮素吸收利用和损失的影响[J].水土保持学报,2017,31(2):267-271.
- [20] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [21] 吴家森,姜培坤,谢秉楼,等.不同施肥处理对雷竹林土壤氮、磷渗漏流失的影响[J].南京林业大学学报,2009,33(3):60-64.
- [22] 徐万里,汤明亮,马正强,等.新疆绿洲棉花种植体系土壤氨挥发损失原位监测[J].西北农业学报,2011,20(9):197-201.
- [23] Lin Z C, Dai Q G, Ye S C, et al. Effects of nitrogen application levels on ammonia volatilization and nitrogen utilization during rice growing season [J]. Rice Science, 2012, 19(2): 125-134.
- [24] 李堃,司马小峰,丁仕奇,等.控释肥对农田氮磷流失的影响研究[J].安徽农业科学,2012,40(25):12466-12470.
- [25] 陈裴裴,吴家森,郑小龙,等.不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响[J].生态学报,2013,33(18):5599-5607.
- [26] 章明奎,王阳,黄超.水网平原地区不同种植类型农田氮磷流失特征[J].应用生态学报,2011,22(12):3211-3220.
- [27] 赵建诚,苏文会,范少辉,等.肥培毛竹林土壤氨挥发特征[J].林业科学,2016,52(11):55-62.
- [28] Shan L, He Y, Chen J, et al. Ammonia volatilization from a Chinese cabbage field under different nitrogen treatments in the Taihu Lake Basin, China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2015, 38(12): 14-23.
- [29] 李旭,谢桂先,刘强,等.控释尿素减量施用对稻田氮素径流和渗漏损失的影响[J].水土保持学报,2015,29(5):70-74.
- [30] 蔡富春,吴志伟,谢善文,等.雷竹地下鞭系结构分布与调查[J].江苏林业科技,2009,36(1):29-32.
- [31] 张瑞杰,林国林,胡正义,等.氮肥减施及双氧胺施用对滇池北岸蔬菜地土壤氮素流失影响[J].水土保持学报,2008,22(5):34-37.