

养分管理措施对丹江口库区橘园氮磷流失的影响

毕磊¹ 谭启玲¹ 胡承孝¹ 李端波² 郭元成² 张思伟¹ 孙学成¹

1. 华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070; 2. 湖北省丹江口市农业局土壤肥料工作站, 丹江口 442700

摘要 采用径流小区法研究推荐施肥、分期施肥、全园植草对丹江口库区橘园地表径流输出量、氮磷养分流失量与流失形态的影响。结果表明:推荐施肥结合全园植草及推荐施肥结合分期施肥处理均能显著降低橘园坡地地表径流的输出,与习惯施肥处理相比分别降低 38.43% 和 26.51%;雨强是氮磷流失的主要驱动因素,在大雨和暴雨中流失的氮磷分别占全年流失量的 96% 和 98% 以上;可溶性总氮和颗粒态磷为库区橘园径流中氮、磷的主要流失形态,需重点加以控制;化肥的施用并不是造成库区橘园氮磷流失的主要影响因素;提高施肥次数,能明显地降低总氮、可溶性总氮和可溶性总磷的流失,而全园植草则在减少总磷和颗粒态磷的流失方面效果显著,与习惯施肥处理相比,推荐施肥结合分期施肥能减少 35.96% 的总氮流失,推荐施肥结合植草处理能减少 59.31% 的总磷流失。

关键词 推荐施肥;分期施肥;植草;氮磷流失;橘园

中图分类号 S 157 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2011)04-0474-05

丹江口水库是南水北调中线工程的水源地,属于长江流域汉江水系,重点解决北京、天津、石家庄等沿线 20 多座城市的缺水问题,对沿线生态环境和农业用水、输水水质安全保障极其重要^[1-2]。柑橘种植业作为丹江口库区的特色产业,目前已形成了 2 条百里柑橘带,并以每年近 1 400 hm² 的速度递增^[3]。近年来对粮食蔬菜等大田作物氮磷地表径流流失的研究虽然多有报道^[4-7],但针对养分管理方式和生长环境与大田作物有很大差异的坡地橘园氮磷流失的研究并不多见。试验调查发现库区橘园土壤速效氮磷含量均低于柑橘园土壤养分适宜标准^[8],而且肥料施用量普遍偏低,元素配比不合理,导致树势衰弱。鉴于丹江口库区的环境敏感性及库区周边柑橘产业发展的需求,本研究探讨推荐施肥量高于当地习惯施肥量的情况下配合分期施肥和坡面植草等养分管理措施对库区橘园氮、磷迁移规律的影响,旨在为有效控制面源污染的养分管理措施提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验区位于丹江口市习家店镇小茯苓村典型柑

橘园坡地, N 32°46'668", E 111°09'252"。该地区年平均降雨量 788 mm,大到暴雨多集中在 4—10 月,占全年降雨量的 82.28%。试验地土壤为紫色土,有机质 11.20 g/kg、碱解氮 57.38 mg/kg、速效磷 10.20 mg/kg、速效钾 270.80 mg/kg, pH 8.30。

1.2 试验设计

单个径流小区面积 28 m² (7 m × 4 m),坡度经调整后均为 9°,小区内种植 4 棵 8 年生温州蜜桔。为防止各小区串流,小区四周采用水泥砖砌结构,地下部分 40 cm,地上部分 20 cm。为便于汇集径流,小区下部设置集流槽,各个小区所形成的径流收集于径流池中,径流池顶部覆盖石棉瓦,防止雨水进入。

试验共设置 5 个处理,见表 1,各处理设 3 个重复。其中 1 次施肥(CF 处理)时间为 2009 年 3 月 10 日一次性施用;3 次施肥处理的施用时间及施肥量分别为 2009 年 3 月 10 日施萌芽肥(氮、磷、钾肥各施用 40%)、5 月 15 日施稳果肥(30% 氮肥、40% 磷肥、40% 钾肥)及 9 月 10 日施壮果肥(30% 氮肥、20% 磷肥、20% 钾肥);4 次施肥处理的施肥时间及施肥量分别为 2008 年 11 月 15 日施采果肥(氮、磷、钾肥各施 20%)、2009 年 3 月 10 日施萌芽肥(氮、磷、钾肥各施 30%)、5 月 15 日施稳果肥(20% 氮肥、

收稿日期: 2010-07-07

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2007BAD87B09)

毕磊, 硕士研究生, 研究方向: 农业面源污染。E-mail: bl0454@hotmail.com

通讯作者: 谭启玲, 博士, 副教授。研究方向: 植物营养与重金属污染。E-mail: qltan@mail.hzau.edu.cn

30%磷肥、30%钾肥)及 9 月 10 日施壮果肥(30%氮肥、20%磷肥、20%钾肥)。试验所用氮、磷、钾肥分别为尿素、过磷酸钙、硫酸钾。

表 1 养分管理措施¹⁾

Table 1 Measures of nutrient management

处理 Treatment	施肥量/(kg/hm ²) Fertilizer amount			施肥次数 Application frequency	地表管理 Surface managements
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
CK	0.0	0	0.0	0	除草 Weeding
CF	172.0	114	0.0	1	除草 Weeding
M0	562.5	375	187.5	3	除草 Weeding
M0+FT	562.5	375	187.5	4	除草 Weeding
M0+PG	562.5	375	187.5	3	植草 Planting grass

1)CK:不施肥; CF:习惯施肥; M0:推荐施肥; FT:4次; PG:植草。CK: No fertilization; CF: Conventional fertilization; M0: Recommended fertilization; FT: Four times; PG: Planting grass. 下同 The same as follows.

施肥方式为柑橘树滴水线沟施,施肥深度 15 cm;植草处理于 3 月下旬全园种植白三叶,定期刈草,部分覆盖树盘,部分作为绿肥翻入土壤,其余各处理均定期人工除草。试验期间无人工灌溉。

1.3 地表径流的采集及分析

测定每次径流池中径流液的体积,并将径流液

混匀后分取部分于塑料瓶中,迅速冷冻至 -20 °C,以备测定分析。测定指标包括:总氮(TN)、溶解性总氮(DTN)、铵态氮(NH₄⁺-N)、硝态氮(NO₃⁻-N)、总磷(TP)、溶解性总磷(DTP)及钼酸盐反应磷(MRP)^[9]。

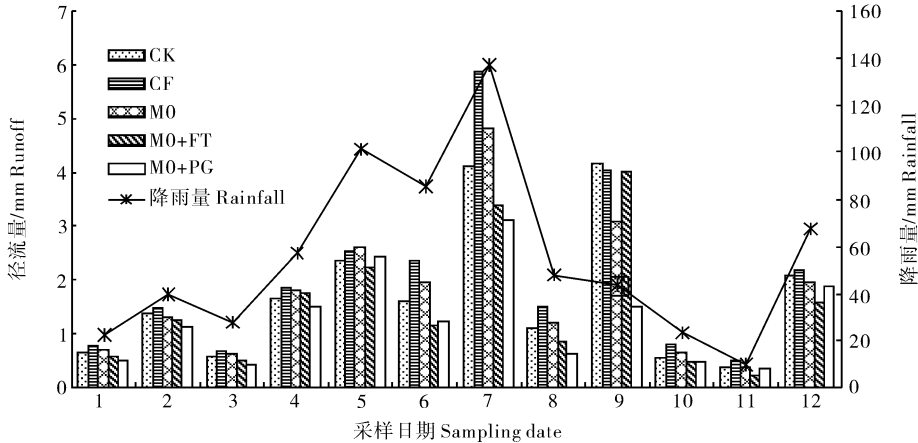
1.4 统计分析方法

试验数据采用 SAS 统计软件进行方差分析,应用 LSD 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 养分管理措施对地表径流失量的影响

试验期间(2009 年 4 月至 2010 年 4 月),共降雨 48 场。根据我国气象部门规定的降雨强度标准(以 12 h 计,小雨 ≤5.0 mm,中雨 5.0~14.9 mm,大雨 15.0~29.9 mm,暴雨 ≥30.0 mm),在 1 a 里,属于暴雨、大雨、中雨及小雨的分别为 9 场、7 场、13 场和 19 场。一般情况下,旱地小雨和中雨条件下很难产生径流,大雨及暴雨多发生在夏季^[10-11],而且有发生连续降雨的天气状况,因此径流样的采集次数少于降雨次数。试验期间共搜集 12 场径流水样,地表径流的产生主要集中在 4—9 月。



1. 2009-01-14; 2. 2009-04-20; 3. 2009-05-12; 4. 2009-05-16; 5. 2009-05-30; 6. 2009-07-14; 7. 2009-08-06; 8. 2009-08-31; 9. 2009-09-10; 10. 2009-09-21; 11. 2010-03-29; 12. 2010-04-21.

图 1 不同处理历次地表径流量及同期降雨量

Fig. 1 Runoff and rainfall of different measures of nutrient management

从图 1 可以看出,各处理不同时期地表径流产生量与同期降雨量变化趋势基本一致。春季(3—5 月)一般雨量低,雨强小,多为小到中雨,地表径流量也不高,各处理径流量差异不明显;进入夏季(6—8 月)后,随着雨季的到来,降雨量及雨强都有所增加,地表径流量也逐渐升高,8 月 6 日降雨量达到 137.2

mm,为试验期内雨量最大的一次降雨,径流量也都处于较高水平;进入秋季(9—11 月),降雨量开始下降,但雨强并没有降低,因此,9 月 10 日的径流量在整个试验期内处于较高水平。从历次产流情况来看(表 2),各处理产流量按大小顺序排列为:CF > M0 > CK > M0+FT > M0+PG,经方差分析发现,

M0+PG 处理和 M0+FT 处理地表径流输出量都显著低于 CF 处理,消减了全年 38.43%和26.51%的径流输出。而 CF、M0 和 CK 各处理间径流量并没有显著差异。

表 2 地表径流年流失量¹⁾

Table 2 Annual loss of surface runoff mm

处理 Treatment	CK	CF	M0	M0+FT	M0+PG
径流年流失量 Annual loss of surface runoff	20.57 ab	24.59 a	21.08 ab	18.07 bc	14.94 c

1)表中的数值为平均值,具有不同字母的数据有显著性差异 ($P<0.05$),下同。The mean values within followed by the different letters are significantly different ($P<0.05$). The same as below.

2.2 不同降雨强度对地表径流氮磷流失的影响

由表 3 可知,降雨强度是氮磷流失的主导性因素。各处理因在小雨中无法产生地表径流,所以并没有氮磷的输出,但随着雨强的增加,氮磷的流失量也随之提高,全年 96%以上的 TN 和 98%以上的 TP 都是在大雨和暴雨中流失的,而各处理氮磷在暴雨中的流失量均超过了全年总流失量的 70%,因

表 3 不同降雨强度下地表径流氮磷年流失量

Table 3 Annual loss of nitrogen and phosphorus in different rainfall intensity $\times 10^{-2}$ kg/hm²

处理 Treatment	总氮 TN				总磷 TP			
	小雨 Fine rain	中雨 Moderate rain	大雨 Heavy rain	暴雨 Torrential rain	小雨 Fine rain	中雨 Moderate rain	大雨 Heavy rain	暴雨 Torrential rain
CK	0	1.91 bc	17.57 ab	50.86 bc	0	0.23 ab	2.41 ab	13.63 ab
CF	0	2.20 ab	22.49 a	66.33 a	0	0.31 a	3.12 a	17.32 a
M0	0	2.49 a	17.66 ab	59.42 ab	0	0.12 c	1.97 b	9.81 bc
M0+FT	0	1.52 c	14.74 b	42.03 c	0	0.15 bc	2.46 ab	9.63 bc
M0+PG	0	2.12 ab	17.41 ab	57.93 ab	0	0.15 bc	2.00 b	6.28 c

表 4 地表径流氮年流失量¹⁾

Table 4 Annual nitrogen loss of surface runoff

$\times 10^{-2}$ kg/hm²

处理 Treatment	DTN			PN	TN	DTN/ TN
	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	DON			
CK	19.26 b	11.31 ab	17.26 bc	22.51 ab	70.34 bc	0.68
CF	24.34 a	15.07 a	18.80 bc	32.81 a	91.02 a	0.64
M0	18.51 b	8.29 b	23.37 ab	29.40 ab	79.56 ab	0.63
M0+FT	14.26 c	8.33 b	16.14 c	19.56 b	58.29 c	0.66
M0+PG	18.72 b	9.71 b	26.12 a	22.92 ab	77.46 b	0.70

1)DTN:溶解性总氮 Dissolved total nitrogen; DON:溶解性有机态氮 Dissolved organic nitrogen; PN:颗粒态氮 Particle nitrogen; TN:总氮 Total nitrogen.

推荐施肥、全园植草以及增加施肥次数均能不同程度减少总氮的流失,与当地习惯施肥(CF)相比,M0+FT、M0+PG 和 M0 处理分别降低35.96%、

此,能否有效减少暴雨中氮磷的流失成为问题的关键,与 CF 处理相比,M0+FT 处理可以显著降低暴雨中氮磷的流失,对于氮的消减最为有效,而 M0+PG 处理则可以显著降低磷的流失,对氮的流失表现出一定的效果但并没有显著性差异。

2.3 养分管理措施对地表径流氮年流失量及形态的影响

如表 4 所示,试验期间,CF 处理 NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 和 DON 的流失量分别占 TN 流失量的 26.74%、16.56%和 20.66%,这 3 种形态的氮构成了 DTN,使得 DTN 的流失量占 TN 流失量的 63.96%,是 PN 流失量的 2 倍左右,因此,DTN 为丹江口库区橘园氮素的主要流失形态,但是 PN 的流失也应该引起足够的重视。另外,即使不施肥(CK 处理),TN 的流失量也达到了 70.34×10^{-2} kg/hm²,而 CF 处理 TN 的流失量虽比 CK 处理高出 20.68×10^{-2} kg/hm²,但其只占 CF 处理施氮量的 0.12%,可见施肥并不是造成库区 TN 流失的主要因素。

14.90%和 12.59%氮的流失,其中 M0+FT 处理和 M0+PG 处理都达到了显著性差异。

施肥次数对氮流失的影响十分显著,无论是组成 DTN 的 NH₄⁺-N、NO₃⁻-N 和 DON,还是 PN 的流失基本上都是随着施肥次数的增加(从习惯施肥的 1 次到推荐施肥的 3 次和 4 次)而明显降低。可见,提高施肥次数可以有效降低氮的流失,特别是溶解态氮的流失。

比较 M0 和 M0+PG 两个处理,全园植草 DTN 的流失量比不植草高出 4.38×10^{-2} kg/hm²,而 DON 占到了其中的 62.79%,为主要贡献因子,可是植草处理(M0+PG)PN 的流失量却比不植草处理低 6.48×10^{-2} kg/hm²,虽然 2 个处理总氮的流失量十分接近(植草处理略低于不植草处理),却在

组成成分上表现出一定的差异,说明植草有提高径流中 DON 而减少 PN 流失的趋势。

2.4 养分管理措施对地表径流磷年流失量及形态的影响

CF 处理(表 5)MRP、DOP 和 PP 的流失量分别占 TP 流失量的 9.40%、4.10% 和 86.55%,可见,PP 是丹江口柑橘园磷素的主要流失形态。同样,对于不施肥的 CK 处理,其 TP 的流失量仅次于 CF 处理,而 CF 处理比 CK 处理高出的部分 TP 占 CF 处理施磷量的 0.09%,可见施肥也不是引起磷素流失的主要原因。

地表径流 TP 的流失量从小到大依次为: $M0+PG < M0 < M0+FT < CK < CF$,其中 $M0+PG$ 处理、 $M0$ 处理和 $M0+FT$ 处理 TP 的流失量都显著地低于 CF 处理,分别降低了 59.31%、42.62% 和 40.98% TP 的输出。

表 5 地表径流磷年流失量¹⁾

Table 5 Annual phosphorus loss of surface runoff

$\times 10^{-2}$ kg/hm²

处理 Treatment	DTP		PP	TP	PP/TP
	MRP	DOP			
CK	1.70 a	1.53 a	13.04 ab	16.27 ab	0.8
CF	1.95 a	0.85 a	17.95 a	20.74 a	0.87
M0	1.77 a	1.13 a	9.00 bc	11.90 bc	0.76
M0+FT	1.41 a	1.14 a	9.69 bc	12.24 bc	0.79
M0+PG	1.91 a	1.04 a	5.49 c	8.44 c	0.65

1)DTP:溶解性总磷 Dissolved total phosphorus; MRP:钼酸盐反应磷 Molybdate reactive phosphorus; DOP:溶解性有机态磷 Dissolved organic phosphorus; PP:颗粒态磷 Particle phosphorus; TP:总磷 Total phosphorus.

从不同处理对各种形态磷输出负荷的影响来看,各处理 PP 占 TP 的比例都在 0.65 以上,而 $M0+PG$ 处理 PP 的输出量是各处理中最低的,并显著低于 CF 处理,PP 的消减率达到了 69.42%。各处理 MRP 和 DOP 的流失量都没有显著差异,但是, $M0+FT$ 处理 DTP 的流失量为 2.55×10^{-2} kg/hm²,是各处理中最低的,这与上述提及的增加施肥次数可以有效减少 DTN 流失的结果相似。

3 讨论

推荐施肥可以提高橘树冠层的覆盖度,避免雨滴对地表土壤的直接打击,减少土壤结皮的产生,增大雨水的入渗量和蓄积量,从而减少地表径流的输出^[12-14],但在本试验中,单纯采用推荐施肥的措施并没有明显降低橘园地表径流的输出,而推荐施肥结

合全园植草却有效地降低地表径流的输出,可能是因为全园植草可以有效降低雨水对地面的直接冲刷,消减雨滴动能,同时植草可以改善土壤理化性质,增加土壤孔隙度和团聚体数量,从而提高雨水入渗量,降低坡面径流流失^[15-16],因此推荐施肥结合植草处理径流流失量最小。

DTN 及 PP 作为丹江口库区橘园氮、磷的主要流失形态,需要重点加以控制,化肥的施用并不是造成库区橘园氮磷流失的主要因素,这也许与橘树的施肥方式有关。橘树施肥一般以穴施和沟施为主,施肥深度在 15 cm 左右,区别于大田作物的撒施或是表施,因此肥料由地表径流而导致流失的量是比较低的,反而由于橘园要定期除草,造成土地裸露,遇到大雨甚至暴雨,极易受到雨水侵蚀而发生水土流失,因此加强地面覆盖或植草显得尤为必要。

增加施肥次数对于减少溶解态氮、磷特别是以溶解态为主的氮素的流失表现出十分显著的效果,Ana 等^[17]的研究也表明,增加施肥次数可以提高氮肥的利用率,而氮素多易溶于水,极易受雨水冲刷而导致流失,分期施肥避开了易发生暴雨的 6—8 月(占全年降雨量的 45.24%),因此能显著减少氮素的流失。同时,坡面植草能加固土壤表面从而有效拦截颗粒态氮、磷的流失,而对减少溶解态氮、磷的流失效果一般,这就类似于筛子,颗粒物难以通过,而溶解态物质却可以自由通过一样。值得注意的是,坡面植草有提高径流中可溶性有机态氮排放的趋势,一方面可能是坡面植草提高了土壤有机质含量^[18],另一方面可能是在雨水的冲洗作用下破损草体的渗液以及草体的分泌物使草体内的有机态氮进入地表径流,从而造成植草处理有机态氮输出量的升高。

参 考 文 献

- [1] 成庆利,朱铁群.丹江口水库库区水环境质量评价[J].水土保持研究,2008,15(1):202-204.
- [2] 赵文耀,胡家庆.丹江口水库流域面源污染现状分析[J].南水北调与水利科技,2007,5(2):50-52.
- [3] 王喜明.通村路是橘农的致富路——丹江口库区柑橘产业发展的调查与思考[J].学习月刊,2007(22):104-106.
- [4] 王巧兰,吴礼树,赵竹青,等.氮素形态对水稻植株氮素损失的影响[J].华中农业大学学报,2010,29(3):312-316.
- [5] 王桂苓,马友华,孙兴旺,等.巢湖流域麦稻轮作农田径流氮磷流失研究[J].水土保持学报,2010,24(2):6-11.
- [6] 韩建刚,李占斌,钱程.紫色土小流域土壤及氮磷流失特征研究

- [J]. 生态环境学报, 2010, 19(2): 423-427.
- [7] 焦平金, 许迪, 王少丽, 等. 自然降雨条件下农田地表产流及氮磷流失规律研究[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(3): 534-540.
- [8] 鲁剑巍, 陈防, 王富华, 等. 湖北省柑橘园土壤养分分级研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(4): 390-394.
- [9] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 243-266.
- [10] 崔鸿侠, 唐万鹏, 刘学全. 丹江口库区大气降雨及森林地表径流特征研究[J]. 湖北林业科技, 2008(3): 1-4.
- [11] 刘可群, 陈正洪, 周金莲, 等. 湖北省近50年旱涝灾害变化及其驱动因素分析[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(3): 326-332.
- [12] 林超文, 庞良玉, 罗春燕, 等. 平衡施肥及雨强对紫色土养分流失的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(10): 5552-5560.
- [13] 张丽, 刘玲花, 程东升, 等. 不同农艺措施对坡耕地水土及氮磷流失的控制[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 21-25.
- [14] VICTOR H, DURAN Z. Nutrient losses by runoff and sediment from the taluses of orchard terraces[J]. Water Air and Soil Pollution, 2004, 153: 355-373.
- [15] 张成梁, 程冬兵, 刘士余. 红壤坡地果园植草的水土保持效应[J]. 草地学报, 2006, 14(4): 365-369.
- [16] SIRRINEA J R, LETOURNEAUB D K, SHENNAN C, et al. Impacts of groundcover management systems on yield, leaf nutrients, weeds, and arthropods of tart cherry in Michigan, USA[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2008, 125: 239-245.
- [17] ANA Q, BELEN M A, FRANCISCO L. Influence of irrigation system and fertilization management on seasonal distribution of N in the soil profile and on N-uptake by citrus trees[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2007, 122: 399-409.
- [18] 王洪刚. 果园覆草技术综合效应研究[J]. 水土保持研究, 2001, 8(3): 55-57.

Effects of nutrient management on loss of nitrogen and phosphorus from citrus orchard of Danjiangkou Reservoir Area

BI Lei¹ TAN Qi-ling¹ HU Cheng-xiao¹ LI Duan-bo²
GUO Yuan-cheng² ZHANG Si-wei¹ SUN Xue-cheng¹

1. College of Resource and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Soil and Fertilizer Station, Agricultural Bureau of Danjiangkou City, Hubei Province, Danjiangkou 442700, China

Abstract Runoff plots experiment was conducted to study the effects of recommended fertilization, recommended fertilization with split-applied fertilization and recommended fertilization with planting grass on the output of runoff, nitrogen and phosphorus, form of nitrogen and phosphorus. Results showed that recommended fertilization with planting grass and recommended fertilization with split-applied fertilization significantly reduced runoff losses 38.43% and 26.51% compared with the conventional fertilization. Rainfall intensity is the main driving factor for the loss of nitrogen and phosphorus with more than 96% of nitrogen lost and 98% of phosphorus lost happened during the heavy rain and torrential rain. Dissolved nitrogen and particle phosphorus other than fertilizer application were the main loss forms of nitrogen and phosphorus in Danjiangkou Reservoir orchard. The loss of total nitrogen, dissolved total nitrogen and dissolved total phosphorus were decreased significantly by increasing the frequency of fertilizer application, and planting grass can effectively reduce the loss of total phosphorus and particle phosphorus. The loss of 35.96% total nitrogen was decreased by increasing the frequency of fertilizer application while the loss of 59.31% total phosphorus were reduced significantly by planting grass, compared with the conventional fertilization.

Key words recommended fertilization; split fertilization; planting grass; loss of nitrogen and phosphorus; citrus orchard