

生草栽培与坡度对桂东北坡地果园 地表径流氮磷流失的影响

李婷婷^{1,2}, 韦彩会¹, 董文斌¹, 俞月凤¹, 唐红琴¹, 李忠义¹, 何铁光¹

(1.广西壮族自治区农业科学院农业资源与环境研究所, 南宁 530007; 2.广西大学, 南宁 530004)

摘要:对桂东北坡地果园地表径流氮磷流失进行研究,为该区养分流失控制提供数据支撑和科学依据。在野外自然降雨条件下研究了不同坡度(即坡度为 12° , 23° , 42°)金桔园间种雀稗(*Paspalum thunbergii*)和白花藿香蓟(*Ageratum conyzoides*)后果园氮、磷养分流失状况。结果表明:随着坡度升高,同一生草栽培的地表径流总氮、总磷、氨氮及硝态氮平均含量增加。相对于清耕处理,间种雀稗后金桔园地表径流总氮、总磷、氨氮及硝态氮流失量分别减少 $4.61\% \sim 24.55\%$, $15.30\% \sim 26.49\%$, $9.97\% \sim 48.03\%$ 和 $17.46\% \sim 96.46\%$ 。间种白花藿香蓟后地表径流总氮、总磷、氨氮及硝态氮流失量分别减少 $9.15\% \sim 16.17\%$, $10.09\% \sim 13.16\%$, $1.90\% \sim 33.19\%$ 和 $11.67\% \sim 19.41\%$ 。生草栽培、坡度及两者的交互作用对总氮和总磷流失量均有极显著的影响($p < 0.001$),生草栽培对地表径流氮磷流失量的抑制作用随着坡度升高而减弱,而坡度对地表径流氮磷流失量的增加作用则增强。雀稗对总氮和总磷流失量降低的相对贡献指数高于白花藿香蓟。随着坡度升高,同一生草栽培处理的土壤养分含量下降。同一坡度下雀稗控制养分流失效果优于白花藿香蓟,生草栽培的存在可在一定程度上削弱坡度对果园坡面氮磷流失的增加作用。

关键词:生草栽培; 坡度; 总氮流失量; 总磷流失量

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2021)03-0059-06

Effects of Sod Culture and Slope on Losses of Nitrogen and Phosphorus in the Surface Runoff of Orchards of Northeast Guangxi

LI Tingting^{1,2}, WEI Caihui¹, DONG Wenbin¹, YU Yuefeng¹,
TANG Hongqin¹, LI Zhongyi¹, HE Tieguaung¹

(1. Agricultural Resources and Environmental Research Institute, Guangxi

Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China; 2. Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: In order to provide data support and scientific basis for nutrient loss control in Northeast Guangxi, the losses of nitrogen and phosphorus in surface runoff of orchard were studied. Under the condition of natural rainfall in the field, *Paspalum thunbergii* and *Ageratum conyzoides* were intercropped in Kumquat orchards under different slope conditions (i. e., 12° , 23° , 42°), and the effects of the losses of two kinds of grass culture components were compared and analyzed. The results showed that, with the increase of slope gradient, the average contents of total nitrogen, total phosphorus, ammonia nitrogen and nitrate nitrogen in the runoff of the same life grass cultivation increased. Compared with clear ploughing, *Paspalum thunbergii* reduced the losses of total nitrogen, total phosphorus, ammonia nitrogen and nitrate nitrogen by $4.61\% \sim 24.55\%$, $15.30\% \sim 26.49\%$, $9.97\% \sim 48.03\%$ and $17.46\% \sim 96.46\%$, respectively. The losses of total nitrogen, total phosphorus, ammonia nitrogen and nitrate nitrogen of *Ageratum conyzoides* were $9.15\% \sim 16.17\%$, $10.09\% \sim 13.16\%$, $1.90\% \sim 33.19\%$ and $11.67\% \sim 19.41\%$, respectively. The effect of grass growth on the losses of total nitrogen and total phosphorus was significant ($p < 0.001$). With the increase of

收稿日期: 2020-07-07

修回日期: 2020-07-24

资助项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS-22); 广西创新驱动发展专项资金项目(桂科 AA17204097); 广西特色作物试验站项目(桂TS201417); 广西农业科学院科技发展基金资助项目(桂农科 2017JM09, 2020YM112); 广西农业科学院基本科研业务专项(桂农科 2018YT08, 2018YT07, 2021YT040)

第一作者: 李婷婷(1988—), 女, 广西柳城县人, 硕士研究生, 助理研究员, 主要研究方向: 农业生态环境可持续发展。E-mail: litt@gxaac.com
通信作者: 何铁光(1976—), 男, 湖南桂阳县人, 博士, 研究员, 主要研究方向: 环境生态。E-mail: tghe118@163.com

slope gradient, the inhibition of grass cultivation on the amount of nitrogen and phosphorus loss decreased, while the promotion of slope on the amount of nitrogen and phosphorus loss increased. The relative contribution index of *Paspalum thunbergii* to the losses of total nitrogen and total phosphorus was higher than that of *Ageratum conyzoides*. With the increase of slope gradient, the soil nutrient content of the same life grass decreased. The control effect of *Paspalum thunbergii* on nutrient loss was better than that of *Ageratum conyzoides*. The existence of grass cultivation can weaken the increasing effect of slope on the losses of nitrogen and phosphorus in surface runoff to some extent.

Keywords:sod culture; slope; total nitrogen loss; total phosphorus loss

坡地果园经济效益显著,而坡面养分流失极易导致地力衰退及面源污染,控制坡地果园养分流失刻不容缓。养分流失的主要载体是地表径流和径流中携带的泥沙,影响因素包括降雨^[1]、植被^[2]、地形地貌^[3]、施肥方式^[4]及土地利用方式等^[5],其中植物与坡度对坡面养分流失是非常重要的因素。果园生草可提高地表覆盖度,有效增强表层土壤抗蚀能力,减少土壤养分流失^[6]。生草类型和生草方式可影响坡地果园养分流失状况,如李太魁等^[7]研究认为果园套种三叶草(*Trifolium repens*)能使地表径流总氮和总磷分别减少 30.5%和 52.8%,控制效果最好,其次是黑麦草(*Lolium perenne*.),最后是苕子(*Vicia villosa*);高小叶等^[8]对比了桃园套种白三叶(*Trifolium repens*)和菊苣(*Medicago sativa*)草地降低总氮、总磷的径流流失量效果,发现白三叶优于菊苣草地。李发林等^[9]研究发现生草栽培方式中人工生草方式优于自然生草,可显著减少坡地果园水土及养分流失。多数植物之间的对比集中在同一坡度,而忽视了坡面养分流失状况也会因坡度不同存在差异。坡度影响雨滴溅蚀土壤的角度和坡面承受的雨量,从而影响坡面养分迁移量。张佳崎等^[10]研究发现人工模拟降雨下片麻岩山坡地土壤坡面氮素流失量和流失浓度为 5°<15°<25°>30°,临界坡度为 25°,刘俏等^[11]研究发现氮磷流失临界坡度为 10.22~18.55°。霍洪江等^[12]研究认为坡度不影响三峡库区紫色土坡耕地径流中氮的质量浓度,但显著影响氮素流失通量,累积氮素流失量为 18°>10°>7°。而邬燕虹等^[13]研究发现产流初期坡面总氮流失浓度随着坡度升高而增大,产流后期则趋于稳定,坡面径流的总氮流失量随着坡度升高而增大。

桂东北果园多开垦于坡度为 10°~50°的山区,常年清耕,地表裸露,加上施肥量大,极易导致该区域养分流失,造成地力退化、水体污染。虽然关于生草栽培和坡度对果园养分流失的影响已有大量研究,但之前的研究者较少考虑两者相对贡献及综合作用,同时大多数研究较少考虑经区域自然界优胜劣汰法则筛

选出的自然草种^[14]的氮磷流失规律及与外源草种的养分固持能力对比。因此,本研究选用外源草种雀稗和自然汰选草种白花藿香蓟,以清耕为对照,基于野外自然降雨条件下不同坡度各处理产生坡面养分流失数据,研究了 2 种生草栽培控制养分流失的效果,剖析生草栽培和坡度对坡面养分流失的作用,以期为桂东北坡地果园养分流失控制和维护土壤质量提供数据支撑和科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区设在广西壮族自治区桂林市阳朔县白沙镇石塘村金龟洞屯张家果园(24°50′3.44″E,110°28′59.33″N)。阳朔县处亚热带季风气候,日照为 1 465 h,年均气温为 19℃,年均降雨量为 1 640 mm。长期果园种植导致原生植物遭到破坏,果园除果树外,其余地表多为裸露状态。果园土壤母质是砂页岩,土壤 pH 为 4.2。不同坡度试验区土壤化学性质见表 1。

从 2018 年 6 月至 11 月,试验区共产生 44 次降雨,降雨量共 827.58 mm。其中有 8 次降雨形成地表径流,占测定时期总降雨次数的 18.18%,8 场降雨量分别为 87.14 mm,44.86 mm,43.87 mm,129.78 mm,54.31 mm,62.63 mm,66.43 mm,68.09 mm。

表 1 各坡度金桔果园土壤基本化学性质

| 养分指标 | 坡度/(°) | | |
|-----------------------------|--------|--------|-------|
| | 12 | 23 | 42 |
| 全氮/(g·kg ⁻¹) | 1.94 | 1.89 | 1.69 |
| 全磷/(g·kg ⁻¹) | 0.89 | 0.47 | 0.39 |
| 全钾/(g·kg ⁻¹) | 19.00 | 14.60 | 12.40 |
| 水解性氮/(mg·kg ⁻¹) | 95.10 | 70.00 | 70.40 |
| 有效磷/(mg·kg ⁻¹) | 50.30 | 9.87 | 7.25 |
| 速效钾/(mg·kg ⁻¹) | 119.00 | 101.00 | 82.60 |
| 有机质/(g·kg ⁻¹) | 21.50 | 21.40 | 18.30 |

1.2 试验设计

供试金桔果树为 2001 年定植实生苗,南北行向,东西距向,株行间距 3.00 m×2.50 m,冠幅 3.00 m 左右,树高 3.50 m 左右。根据 SL419—2007《水土保持

试验规程》建设径流小区的要求及当地果园实况,径流场于 2017 年 6 月 30 日顺坡而建,南向,水平投影面积为 20.00 m(长)×3.00 m(宽),径流场两侧边建于金桔树行间距(3.00 m)的 1.50 m 处,径流场小区采用防水 ASA 合成树脂瓦作为边界,插入土壤深 25±5 cm 固定,地上露出 25±5 cm。将慧云智能种植监控系统安装在径流场附近的空旷处记录降雨过程和降雨量。试验设计为随机区组设计,坡度范围为 0~15°,15°~30°,30°~45°,实际山体坡度分别对应为 12°,23°和 42°。每个坡度设 3 种处理:雀稗、白花藿香蓟、清耕(对照)。同样的坡度(即同一个处理)进行 3 次重复,每个坡度有 9 个径流场小区,同一个坡度的径流场并排分布在一起,共计 27 个径流场小区。清耕即试验过程中采用人工锄草的办法,以保持地面无草。历朔金桔园每年 11 月至翌年 3 月采取盖膜方式保果,雀稗和白花藿香蓟于 2018 年 3 月在径流小区内人工撒播,撒播量为 30.00 kg/hm²。施肥管理方法为在每棵金桔树滴水线开沟(深度为 25±5 cm)施肥,施肥后覆土,共计 3 次,第 1 次为 2018 年 5 月份施入 1.00 kg 复合肥(氮:五氧化二磷:氧化钾配比为 15:15:15)和 20.00 kg 农家肥(果农自购牛粪进行堆沤处理所得);第 2 次为 2018 年 7 月份施入 0.50 kg 复合肥(配比同上);第 3 次为 2018 年 10 月份施入 0.50 kg 复合肥(配比同上)。2018 年 6 月开始观测,试验监测时间为 6 月至 11 月。

1.3 指标测定与数据处理

试验过程中,每日降雨量观测时间段为当日 08:00 am 至次日 08:00 am,24 h 内发生的所有降雨合并为 1 场降雨量。次日上午 08:00 测量不同处理径流小区集流池中水面所在刻度值,根据集流池面积计算径流量,之后用木棍将集流池中的泥水搅拌,使泥和水充分混合均匀后,用 600 ml 塑料瓶取样。每次取样后,将集流池用清水清洗干净。所取得的径流样品在 24 h 内测定总氮、总磷、氨氮、硝态氮含量。径流水样总氮总磷是指水中可溶性及悬浮颗粒中的含氮量和含磷量,总氮含量采用碱性过硫酸钾消解—紫外分光光度法测定;总磷采用钼酸铵分光光度计方法测定;氨氮含量采用纳式试剂法测定;硝态氮含量采用紫外分光光度计方法测定。土壤(0—20 cm 表土)采用 6 点法于 2018 年 11 月 15 日取样,即径流场上部 2 点,中部 2 点,下部 2 点,然后将土壤混合。土壤 pH 采用 pH 计测定(土水比为 1:2.5),土壤化学指标的测定参考刘光崧等的方法^[15]。

结合本研究实际情况,通过对程琴娟等^[16]和曹梓豪等^[17]针对相对作用大小的计算方法的借鉴和改

进,计算不同生草栽培和坡度对总氮流失量和总磷流失量的相对贡献指数。以最小坡度(12°)作为基准,计算任意坡度 X° (23°,42°)下各因素引起的地表径流总氮流失量增量和总磷流失量增量,取绝对值,计算公式为:

$$N=Q(X^\circ)-Q(12^\circ)$$

$$C=G(X^\circ)-Q(X^\circ)$$

$$Z=N+C;n=N/Z;c=C/Z$$

式中: N 为坡度引起的总氮流失量变化量; Q 为清耕总氮流失量; C 为由生草引起的坡面总氮流失量变化量; G 为生草栽培总氮流失量; Z 为所有总氮流失量变化量; n 为坡度对地表径流总氮流失量影响的相对贡献指数; c 为生草对地表径流总氮流失量影响的相对贡献指数。按照此理可计算出生草栽培和坡度对坡面总磷流失量影响的相对贡献指数。

采用 IBM SPSS 21.0 进行数据统计分析,用平均值和标准差表示测定结果,分别对同一坡度不同生草栽培处理进行单因素方差分析,并用 Duncan 法对各测定数据进行多重比较;GraphPad Prism 7.0 作图。

2 结果与分析

2.1 不同坡度生草栽培的氮磷流失状况

由表 2 可知,随着坡度升高,同一处理的总氮、总磷、氨氮和硝态氮平均含量逐渐升高。同一坡度下,不同生草栽培对地表径流中氮磷含量的影响不同,总体而言,间种雀稗后果园径流液中氮磷平均含量最高,其次为白花藿香蓟、清耕。当坡度为 12°时,与清耕相比,雀稗处理的总氮、总磷、氨氮和硝态氮平均含量分别提高了 92.52%,199.33%,36.06%,2.52%,白花藿香蓟处理的分别提高了 26.30%,36.00%,5.52%,17.69%;当坡度为 23°时,与清耕相比,间种雀稗后果园径流液中总氮、总磷、氨氮和硝态氮平均含量分别提高了 31.74%,141.30%,49.21%,36.54%,而白花藿香蓟处理与清耕相比分别提高了 17.85%,90.63%,34.35%,19.55%;当坡度升高到 42°时,雀稗处理与清耕相比,总氮、总磷、氨氮和硝态氮平均含量分别增加了 51.16%,100.10%,28.55%,27.18%;白花藿香蓟处理与清耕相比,分别增加了 35.93%,75.00%,14.48%,14.63%。

同一坡度下,不同生草处理的氮磷流失量存在差异,但总体趋势表现为清耕>白花藿香蓟>雀稗(表 3)。当坡度为 12°时,与清耕相比,雀稗的总氮、总磷、氨氮及硝态氮流失量分别减少了 4.61%,26.49%,48.03%,96.46%,而白花藿香蓟的分别减少了 11.27%,10.09%,33.19%,19.41%;当坡度为 23°时,间种雀稗后地表径流中总氮、总磷、氨氮及硝态氮流失量分别比清耕

的减少了 24.55%,15.30%,9.97%,20.17%,而白花藿香蓟处理与清耕相比减少了 16.17%,10.09%,1.90%,14.52%;当坡度为 42°时,相对于清耕而言,雀稗处理的总氮、总磷、氨氮及硝态氮流失量分别减少了 14.54%,15.48%,16.21%,17.46%,白花藿香蓟处理的分别减少了 9.15%,13.16%,11.82%,11.67%。

表 2 不同坡度生草栽培的地表径流氮磷含量

| 坡度/(°) | 生草类型 | 总氮平均含量/ (mg·L ⁻¹) | 总磷平均含量/ (mg·L ⁻¹) | 氨氮平均含量/ (mg·L ⁻¹) | 硝态氮平均含量/ (mg·L ⁻¹) |
|--------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| 12 | 雀稗 <i>Paspalum thunbergii</i> | 7.14 | 0.75 | 3.14 | 1.08 |
| | 白花藿香蓟 <i>Ageratum conyzoides</i> | 4.69 | 0.60 | 2.44 | 1.24 |
| | 清耕 | 3.71 | 0.47 | 2.31 | 1.05 |
| 23 | 雀稗 | 7.77 | 1.11 | 3.91 | 3.02 |
| | 白花藿香蓟 | 6.95 | 0.97 | 3.52 | 2.64 |
| | 清耕 | 5.90 | 0.78 | 2.62 | 2.21 |
| 42 | 雀稗 | 9.51 | 1.28 | 4.70 | 3.65 |
| | 白花藿香蓟 | 8.55 | 1.12 | 4.19 | 3.29 |
| | 清耕 | 7.29 | 0.99 | 3.66 | 2.87 |

表 3 不同坡度生草栽培的氮磷流失量

| 坡度/(°) | 生草类型 | 径流总量/ (m ³ ·hm ⁻²) | 总氮流失量/ (g·hm ⁻²) | 总磷流失量/ (g·hm ⁻²) | 氨氮流失量/ (g·hm ⁻²) | 硝态氮流失量/ (g·hm ⁻²) |
|--------|-------|--|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 12 | 雀稗 | 40.25 | 287.46 | 30.12 | 126.49 | 43.32 |
| | 白花藿香蓟 | 57.68 | 270.26 | 34.61 | 140.58 | 71.27 |
| | 清耕 | 81.06 | 300.72 | 38.10 | 187.24 | 85.11 |
| 23 | 雀稗 | 80.27 | 623.92 | 89.10 | 313.81 | 242.22 |
| | 白花藿香蓟 | 96.20 | 668.91 | 93.32 | 338.64 | 254.18 |
| | 清耕 | 131.71 | 777.09 | 102.73 | 345.08 | 291.08 |
| 42 | 雀稗 | 106.83 | 1015.74 | 136.81 | 502.60 | 389.92 |
| | 白花藿香蓟 | 124.66 | 1065.84 | 139.62 | 522.33 | 410.13 |
| | 清耕 | 159.59 | 1163.39 | 157.99 | 584.09 | 458.01 |

2.2 坡度与生草栽培对总氮总磷流失量的相对贡献

由表 4 可知,坡度、生草栽培及两者之间的交互作用对地表径流总氮和总磷流失量均有极显著的影响($p<0.001$)。由图 1,图 2 可知,雀稗和白花藿香蓟对地表径流总氮和总磷流失量的相对贡献指数随着坡度升高呈现逐渐下降的趋势,而坡度的相对贡献指数呈逐渐上升趋势。以 23°为界限,当坡度<23°时,雀稗和白花藿香蓟对地表径流总氮和总磷流失量的贡献下降明显,坡度对地表径流总氮和总磷流失量的贡献明显增加;当坡度>23°后,生草和坡度对地表径流总氮总磷流失量的贡献变化幅度减小。当坡度为 23°时,雀稗对地表径流总氮总磷流失量的相对贡献指数分别为 0.24,0.17,而白花藿香蓟对地表径流总氮和总磷流失量的相对贡献指数分别为 0.19,0.13;当坡度为 42°时,雀稗对地表径流总氮和总磷流失量的相对贡献指数分别为 0.14,0.15,而白花藿香蓟对地表径流总氮和总磷流失量的相对贡献指数分别为 0.10,0.13,说明在同样的坡度下,雀稗对地表径

流总氮和总磷流失量的影响大于白花藿香蓟。

表 4 坡度与生草栽培对总氮总磷流失量影响的双因素方差分析

| 因素 | 总氮流失量 | | | 总磷流失量 | | |
|---------|-------|-----------|----------|-------|----------|----------|
| | df | F | Sig. | df | F | Sig. |
| 坡度 | 2 | 133137.06 | 0.000*** | 2 | 25708.20 | 0.000*** |
| 生草栽培 | 2 | 2500.90 | 0.000*** | 2 | 457.09 | 0.000*** |
| 坡度×生草栽培 | 4 | 442.07 | 0.000*** | 4 | 46.94 | 0.000*** |

注:***表示因素对总氮流失量或总磷流失量影响极显著($p<0.001$)。

2.3 不同坡度生草栽培的土壤氮磷含量

不同坡度下各试验小区的土壤氮磷含量见表 5。总体而言,随着坡度升高,同一生草处理的土壤氮磷含量逐渐下降。当坡度为 12°时,雀稗处理的土壤水解性氮显著低于清耕处理,而雀稗处理的全磷和有效磷显著高于清耕和白花藿香蓟;当坡度为 23°及 42°时,雀稗处理的全氮和水解性氮显著低于清耕处理和白花藿香蓟处理,而雀稗处理的全磷、有效磷显著高于清耕处理。

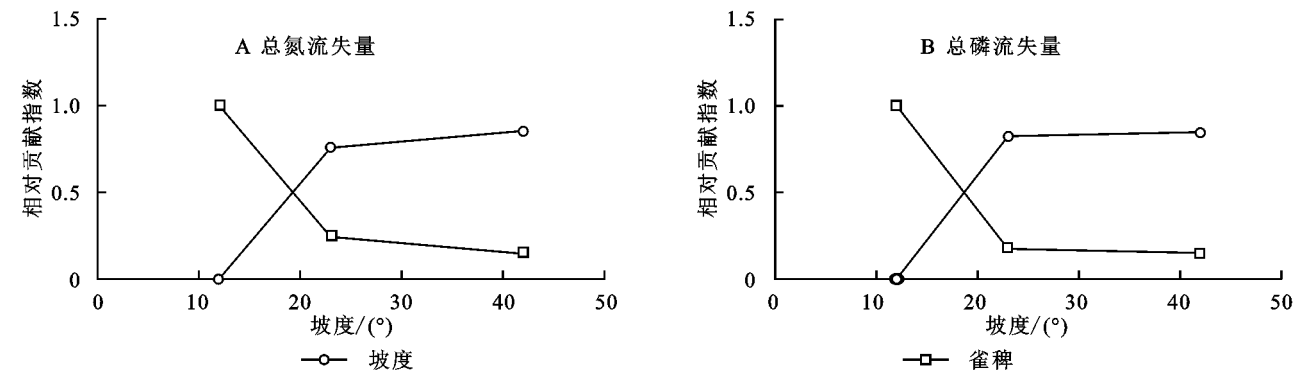


图1 雀稗与坡度对总氮总磷流失量的贡献

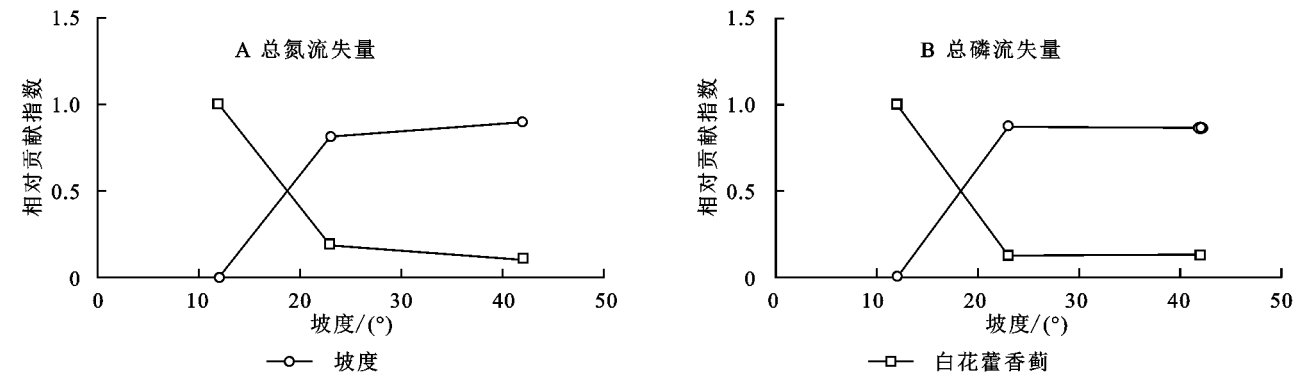


图2 白花藿香蓟与坡度对总氮总磷流失量的贡献

表5 果园生草栽培后土壤氮磷质量分数

| 坡度/(°) | 生草类型 | 全氮含量/ (g·kg ⁻¹) | 全磷含量/ (g·kg ⁻¹) | 水解性氮含量/ (mg·kg ⁻¹) | 有效磷含量/ (mg·kg ⁻¹) |
|--------|-------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| 12 | 雀稗 | 2.40±0.1a | 1.77±0.02a | 145.75±0.15c | 819.57±0.27a |
| | 白花藿香蓟 | 2.6±0.1a | 1.66±0.01b | 192.59±0.89b | 801.06±0.44b |
| | 清耕 | 2.65±0.23a | 0.68±0.02c | 197.84±3.64a | 792.88±0.92c |
| 23 | 雀稗 | 1.90±0.02b | 1.93±0.04a | 98.70±0.5c | 499.37±0.27a |
| | 白花藿香蓟 | 2.25±0.04a | 0.75±0.03b | 154.89±0.59b | 398.87±0.63b |
| | 清耕 | 2.35±0.12a | 0.54±0.03c | 161.65±1.15a | 87.02±0.62c |
| 42 | 雀稗 | 1.59±0.03b | 0.76±0.03a | 96.45±0.05c | 243.0±0.2a |
| | 白花藿香蓟 | 1.86±0.01a | 0.57±0.04b | 102.47±0.57b | 189.71±1.81b |
| | 清耕 | 1.88±0.06a | 0.55±0.03b | 113.45±0.45a | 80.24±0.46c |

注:同坡度同列数据后不同小写字母者表现差异显著($p<0.05$)。

3 讨论

降雨使土壤养分随地表径流、侵蚀泥沙迁移或随下渗水向土壤深层迁移,而雨水的冲蚀是导致地表径流中大多数氮磷流失的直接原因^[18]。本研究结果表明,同一生草栽培,养分流失量随坡度升高而增大,而土壤的肥力则呈下降趋势。原因是坡度改变了土壤表层单位面积实受雨强,影响土壤入渗能力及坡面水流特性^[19],而径流速度的变化导致坡面表土颗粒起动、侵蚀方式和径流携沙能力不同,最终使坡面养分流失产生差异。本研究中,当坡度由12°升高到42°时,清耕处理地表径流总氮总磷平均含量分别增加了96.50%及110.64%,原因可能是因坡度产生的径流流速变大,剧烈冲刷表

土,较易发生面蚀,甚至细沟侵蚀,导致表层土壤剥落,下层土壤溶质被不断浸提进入径流中。

本研究中,同一坡度下,与对照相比,雀稗和白花藿香蓟处理的地表径流总量分别降低33.1%~50.34%和21.9%~30.1%,说明生草栽培后土壤的保水能力增强,与李太魁等^[7]的研究结果一致。原因是生草栽培增加了土壤覆盖度,降低雨滴直接溅蚀地表的动能,使产生的地表水快速下渗到土壤深层,消减了地表径流的流失。而清耕处理地表裸露,降雨击溅地表产生的泥沙迅速堵塞土层的自然孔隙,导致降水难以入渗到土层。本研究中硝态氮流失量小于氨氮流失量,与刘宗岸^[20]研究结果不一致,原因可能是虽然硝态氮是旱地土壤氮素的主要形态,且极易溶于水,但是硝态

氮容易通过淋溶途径流失,而非地表径流。本研究对不同生草栽培的坡面氮磷流失分析表明,整体而言,同一坡度下,地表径流总氮、总磷、氨氮及硝态氮平均含量为雀稗>白花藿香蓟>清耕,与其他研究^[21]表明果园生草后可降低地表径流中的氮磷含量的结果不一致,原因可能是雀稗和白花藿香蓟地表产流量明显小于清耕,当流失量(即容积)变小,养分浓度升高。本研究中生草栽培后的地表径流氮磷含量高于清耕处理,但相对于清耕,雀稗和白花藿香蓟处理的氮磷流失量低于清耕处理,与张亚丽等^[22]认为,草被具有“双重作用”的研究结果一致,生草栽培使径流浓度高于清耕处理浓度,但生草又具有固土缓流、减少水土流失作用,从而减少养分流失。在双重效应共同作用下,随草被覆盖度增大,氮素流失浓度增大,而流失量则呈减小趋势。本研究中雀稗茎秆触地生根,茎叶繁茂,而白花藿香蓟单株生长,且成熟期的白花藿香蓟茎秆挺立,叶片较雀稗稀疏,草被覆盖度的差异导致雀稗处理的氮磷平均含量最高,而流失量最小。坡度、生草栽培及两者的交互作用对地表径流总氮与总磷流失量均有极显著的影响。雀稗、白花藿香蓟对总氮与总磷流失量的相对贡献指数随着坡度升高而减小,而坡度的贡献指数则呈增大趋势,说明随着坡度升高,生草栽培对地表径流氮磷流失量的抑制作用减弱,而坡度对地表径流氮磷流失量的促进作用则增强。当坡度 $<23^\circ$ 时,雀稗和白花藿香蓟对总氮与总磷流失量的作用大于坡度,主要原因可能是当坡度 $<25^\circ$ 时,采取植物措施可减少水土流失^[23],从而减少养分流失量。当坡度 $>23^\circ$ 时,坡度对总氮和总磷流失量的贡献作用大于生草栽培,中央[1998]15号文件和《中国水土保持法》第14条明确指出 25° 以上陡坡地应该退耕还林,表明当坡度 $>25^\circ$ 后,土壤退化严重,本研究结果也表明当坡度 $>23^\circ$ 时,坡度的增加容易加剧养分流失。而雀稗对总氮和总磷流失量的相对贡献指数始终高于白花藿香蓟,说明雀稗控制地表径流氮磷流失的效果优于白花藿香蓟。

本研究中,随着坡度升高,同一生草栽培处理的土壤养分含量下降。生草栽培后的土壤全氮及速效氮低于清耕处理可能是另一个原因——生草抢肥。生草栽培使土壤中的矿质养分含量发生改变主要是因为可实现土壤水温调节、理化性质的改变的生草根系和植株在土壤中的积累和降解^[24]。但是生草年限会影响土壤中矿质元素含量^[25],有研究表明,生草在初期(1~3 a)会与果树发生争夺矿质养分,造成土壤主要矿质养分含量下降的现象^[26]。而在长期(4~7 a)生草后,大部分土壤速效养分会恢复,甚至显著提升。

本研究中的生草栽培属于当年生草,植物生长需要来自表层土壤的养分直接供给,从而使较多表层土壤的养分受到消耗^[27],且生长繁茂的雀稗消耗的土壤养分大于其他处理,尤其是土壤氮素。本试验对于不同坡度金桔园生草栽培的研究,目前还处于生草初期阶段,探讨多年生草对桂东北坡地果园养分流失及土壤的影响,将是下一步的研究重点。

4 结 论

(1) 随着坡度升高,同一生草栽培的地表径流中总氮、总磷、氨氮及硝态氮平均含量增加,土壤养分含量下降。同一坡度时,金桔园地表径流总氮、总磷、氨氮及硝态氮平均含量呈现雀稗处理>白花藿香蓟处理>清耕,而间种雀稗后金桔园地表径流总氮、总磷、氨氮及硝态氮流失量低于白花藿香蓟处理和清耕,雀稗控制养分流失的效果优于白花藿香蓟。

(2) 生草栽培、坡度及两者的交互作用对总氮和总磷流失量均有极显著的影响($p<0.001$),生草栽培对地表径流氮磷流失量的抑制作用随着坡度升高而减弱,而坡度对地表径流氮磷流失量的促进作用则增强。雀稗对总氮和总磷流失量降低的相对贡献指数高于白花藿香蓟。

参考文献:

- [1] 高儒学,戴全厚,甘艺贤,等.不同雨强下喀斯特坡耕地养分流失特征研究[J].土壤学报,2019,56(5):1072-1084.
- [2] 徐明,张健,刘国彬,等.黄土丘陵区不同植被恢复模式对沟谷地土壤碳氮磷元素的影响[J].草地学报,2015,23(1):62-68.
- [3] 赵明松,李德成,张甘霖,等.基于RUSLE模型的安徽省土壤侵蚀及其养分流失评估[J].土壤学报,2016,53(1):28-38.
- [4] 韩晓飞,高明,谢德体,等.减磷配施有机肥对紫色土旱坡地磷素流失的消减效应[J].环境科学,2016,37(7):2770-2778.
- [5] 常松果,胡雪琴,史东梅,等.不同土壤管理措施下坡耕地产流产沙和氮磷流失特征[J].水土保持学报,2016,30(5):34-40.
- [6] 王全九,赵光旭,刘艳丽,等.植被类型对黄土坡地产流产沙及氮磷流失的影响[J].农业工程学报,2016,32(14):195-201.
- [7] 李太魁,张香凝,寇长林,等.丹江口库区坡耕地柑橘园套种绿肥对氮磷径流流失的影响[J].水土保持研究,2018,25(2):94-98.
- [8] 高小叶,张兴兴,朱建国,等.生草栽培对果园面源污染的控制:3种牧草的比较研究[J].草业学报,2015,24(2):49-54.