

DOI: 10.13758/j.cnki.tr.2021.02.010

范新, 李浩亮, 雷孝, 等. 南方设施菜地填闲苋菜筛选及其氮磷淋失阻控效果研究. 土壤, 2021, 53(2): 285–290.

## 南方设施菜地填闲苋菜筛选及其氮磷淋失阻控效果研究<sup>①</sup>

范新<sup>1</sup>, 李浩亮<sup>1</sup>, 雷孝<sup>1</sup>, 萧洪东<sup>1\*</sup>, 孙海军<sup>2</sup>, 喻敏<sup>1</sup>, 施卫明<sup>3</sup>

(1 佛山科学技术学院食品科学与工程学院, 广东佛山 528000; 2 南京林业大学林学院, 南京 210037; 3 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)

**摘要:** 筛选经济效益高、易推广, 且对夏季休闲期氮磷淋失阻控效果好的填闲作物, 对减轻我国珠三角地区设施菜地土壤氮磷流失、保护水体环境具有重要意义。通过淋溶管法研究了夏季休闲期(7月至8月)种植4种苋菜(圆红苋菜、心红苋菜、青苋与南星苋)对设施菜地土壤淋溶液 pH、无机氮磷浓度及收获后土壤速效养分等的影响。结果表明: 苋菜作为填闲作物种植可产生 2.04 ~ 2.83 万元/hm<sup>2</sup> 的经济效益, 同时降低设施菜地土壤淋溶液 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 与总磷浓度, 对三者淋溶损失的阻控效率依次达到 31.2% ~ 49.5%、35.5% ~ 37.5% 和 30.1% ~ 43.6%。与休闲对照处理相比, 苋菜种植收获后土壤碱解氮与有效磷养分并没有表现出耗竭, 其中有效磷含量提升 31.9% ~ 67.8%。综合本研究结果, 4 种苋菜均为可优选的填闲叶菜, 皆具有较高的减控设施蔬菜休闲期土壤氮磷淋溶损失效率与经济效益, 且不影响后茬蔬菜生产的地力基础, 其中, 心红苋菜在环境效益和经济效益(2.83 万元/hm<sup>2</sup>)方面表现较为突出。

**关键词:** 填闲作物; 设施菜地; 氮磷; 淋溶损失; 面源污染

**中图分类号:** S143.1+6; S19 **文献标志码:** A

### Planting Amaranth as Catch Crop to Reduce Nitrogen and Phosphorus Leaching Losses from Greenhouse Vegetable Soils in Southern China

FAN Xin<sup>1</sup>, LI Haoliang<sup>1</sup>, LEI Xiao<sup>1</sup>, XIAO Hongdong<sup>1\*</sup>, SUN Haijun<sup>2</sup>, YU Min<sup>1</sup>, SHI Weiming<sup>3</sup>

(1 College of Food Science and Engineering, Foshan University, Foshan, Guangdong 528000, China; 2 College of Forestry, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 3 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract:** Catch crops with economic value are easy to popularize and have good effects on controlling nitrogen and phosphorus leaching losses during leisure time, thus are of great significance for reducing nitrogen and phosphorus losses from greenhouse vegetable soils in the Pearl River Delta Region in China. In this study, the leaching tube method was used to study the effects of planting four kinds of edible amaranth (round red amaranth, heart red amaranth, green amaranth and Nanxing amaranth) on pH, inorganic nitrogen and phosphorus concentrations of soil leaching solution, and the available nutrient contents in greenhouse vegetable soil after vegetable harvest during summer fallow period (from July to August). The results showed that the economic benefits of planting amaranth ranged from 20 400 to 28 300 yuan/hm<sup>2</sup>. At the same time, planting amaranth reduced the concentrations of NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N and total P in soil leaching solution with the average efficiencies of 31.2%–49.5%, 35.5%–37.5% and 30.1%–43.6%, respectively. Compared with the fallow control treatment, no depletion was observed in the concentrations of available phosphorus and alkaline hydrolysis nitrogen in the soil after amaranth harvest, while the concentration of available phosphorus increased by 31.9%–68.1%. The results indicate that planting amaranth as catch crop is an optimal technology, which can reduce soil nitrogen and phosphorus leaching losses during the vegetable fallow period and produce certain economic benefits without affecting soil fertility for subsequent vegetable production.

**Key words:** Catch crops; Greenhouse vegetable systems; Nitrogen and phosphorus; Leaching losses; Non-point source pollution

位于我国南方的珠江三角洲地区, 具有优越的地理位置和气候条件, 全年适宜生产, 是我国重要的粮食与蔬菜生产区。近年来, 盲目高量或不合理施用化肥, 成为我国南方设施蔬菜生产体系中的普遍现象<sup>[1-2]</sup>。

①基金项目: 国家重点研发计划课题(2017YFD0800404)和佛山科学技术学院研究生自由探索基金项目(2019ZYTS25)资助。

\* 通讯作者(1041909160@qq.com)

作者简介: 范新(1996—), 女, 湖南长沙人, 硕士研究生, 主要从事菜地面源污染控制研究。E-mail: 1292101697@qq.com

据报道,珠江三角洲地区 1999 年施用氮肥折纯量为 217 104 t, 磷肥为 32 317 t, 至 2004 年分别增至 262 599 t 与 37 089 t<sup>[3]</sup>。2017 年, 广东的氮肥施用量为 103.6 万 t, 磷肥施用量为 24.7 万 t; 同期佛山市农用化肥使用量达 2.76 万 t, 平均每公顷使用量约为 498.6 kg/hm<sup>2</sup><sup>[4]</sup>, 远超出发达国家设定的 225 kg/hm<sup>2</sup> 用量<sup>[5]</sup>。超出作物生长需求的化肥氮磷投入, 会导致土壤剖面中氮磷累积过量, 进而通过淋溶的途径损失威胁地下水环境, 特别是在南方多雨季节的揭棚/休闲期<sup>[6-7]</sup>。因此, 筛选适宜于南方地区设施菜地的填闲作物, 并探索其对土壤氮磷淋失的阻控潜力具有重要的理论与实践意义。

目前, 降低或控制设施菜地氮磷淋失的主要技术包括合理施肥、添加化学抑制剂, 以及种植填闲作物等<sup>[8]</sup>。其中, 填闲技术近年来在减少氮磷淋溶损失方面得到了普遍认可<sup>[9]</sup>。填闲技术可以改善土壤养分循环, 提高养分利用率, 进而防止硝酸盐等淋失, 同时提高主栽作物产量, 利于农业生产的可持续性<sup>[10]</sup>。有研究表明, 填闲作物的选择应具备生物量大、根系伸展发达与吸氮磷量高等特点<sup>[8-10]</sup>。目前报道中适合我国夏季休闲期种植的填闲作物包括甜/糯玉米、燕麦、高丹草与高粱等, 其均具有不错的氮磷淋失阻控效果, 但存在经济效益相对较低、不易被农民接受、推广应用颇具困难等问题<sup>[11-12]</sup>。

目前, 在我国南方珠三角地区, 筛选适宜的填闲作物种类, 并验证填闲作物对土壤氮磷淋失阻控效果的报道较少。特别是珠三角地区具有夏季休闲期短暂(仅一到两个月左右), 前期高温干旱、中后期高温多雨的气候特点, 这就要求填闲作物要兼具抗逆性强、耐高温及耐水涝等特点。在经济高度发达的珠三角地区, 叶菜类受市场欢迎度高, 且生长周期短, 满足填闲作物要求, 那么其种植是否具有良好的氮磷淋失阻控效果? 同时从对后茬蔬菜种植地力角度考虑, 其是否会过度消耗土壤速效氮磷等养分? 据此, 本研究拟以苋菜为研究对象, 通过田间小区试验, 筛选一种相对适宜于珠三角地区的、经济效益和氮磷拦截/阻控效率高, 且尽可能低地影响后茬地力的叶菜。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

本试验于 2019 年 7—8 月在广东省梅州市兴宁市中镇(24.16°N, 115.75°E)蔬菜基地进行。该试验地地处宁江平原, 土壤肥沃, 属亚热带季风气候, 夏季高温多雨, 冬季温和少雨, 年平均气温为 12~28.5 °C,

常年 7、8 月气温最高, 刚好为本试验观测期间, 且两月的平均降雨量为 158~187 mm。供试土壤基本理化性质为: pH 6.85, 全氮 2.44 g/kg, 碱解氮 169.8 mg/kg, 全磷 1.91 g/kg, 有效磷 208.4 mg/kg, 有机质 21.9 g/kg。

### 1.2 试验方法

一般选择的填闲作物具有生物量及氮磷吸收量大等特点<sup>[13-14]</sup>。前人研究表明苋菜生物量大, 且其氮素吸收能力不弱于甜玉米<sup>[15]</sup>, 特别是对表层土壤的硝酸盐吸收效果十分好<sup>[16]</sup>。同时根据本研究前期调研, 多个品种的苋菜均是珠三角地区市场受欢迎度高的时令蔬菜。因此, 本研究选用苋菜作为供试填闲作物, 试验设置 5 个处理, 包括 1 个对照处理(休闲)、4 个填闲苋菜处理, 即圆红苋菜(圆叶大红苋菜)、心红苋菜(台湾大红苋菜)、青苋(圆叶白苋菜)与南星苋(南星大叶马屎苋), 每个处理重复 4 次。试验采取完全随机区组排列设计, 单个试验小区面积约为 50 m<sup>2</sup> (1.6 m × 31 m)。前茬作物为丝瓜(施氮量为 N 248 kg/hm<sup>2</sup>, 施磷量为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 165 kg/hm<sup>2</sup>), 后茬作物为芥蓝(施氮量为 N 152 kg/hm<sup>2</sup>, 施磷量为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 124 kg/hm<sup>2</sup>)。揭棚休闲的起止时间为 2019 年 7 月 18 日至 9 月 3 日, 共计 45 d。苋菜于 2019 年 7 月 25 日播种, 8 月 27 日收获, 基本覆盖休闲期。填闲苋菜处理播种量均为 200 g/小区, 播种时苋菜种子与土混匀, 撒播覆土。所有处理生长期间均不施肥, 定期人工除草。

### 1.3 样品的采集与测定

**1.3.1 植物样品** 待苋菜成熟收获后, 各小区分别采收计产(鲜重)。然后根据调研得到的应季市场价格计算经济效益。经济效益(万元/hm<sup>2</sup>)=产量(kg/hm<sup>2</sup>)×蔬菜价格(元/kg)/10 000。同时, 不同处理每小区随机采蔬菜样 1 kg, 洗净, 于 105 °C 杀青 30 min 后, 在 70 °C 条件下烘干至恒重。将干样粉碎, 过 0.5 mm 筛, 用 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 联合消煮法消解植物样品, 分别采用凯氏定氮法与钼锑钒比色法测定植株全氮与全磷含量<sup>[17]</sup>。

**1.3.2 土壤样品** 苋菜收获后, 采集适量表层(0~25 cm)土壤样品, 自然风干, 用四分法留样。分取部分土壤样品分别过 1 mm 和 0.1 mm 筛待测。碱解氮采用碱解扩散法测定; 有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑钒比色法测定<sup>[16]</sup>。

**1.3.3 土壤淋溶液样品** 土壤淋溶液收集装置(淋溶管)于 2019 年 4 月埋入各处理小区(埋深为 45 cm)<sup>[18]</sup>, 经过一茬丝瓜种植驯化淋溶管装置, 使其与土壤很好地结合, 接近自然土壤状况。淋溶液采集时间间隔参

考陆扣萍等<sup>[1]</sup>的试验方法,并根据试验地地下水较少的情况,适当延长为每 15 d 左右取样 1 次。试验过程中总共采样 3 次,时间分别为 2019 年 7 月 25 日、8 月 12 日和 8 月 27 日。每次取样将装置中淋洗液抽净,分取 100 ml 带回实验室过滤,测定 pH,使用连续流动注射分析仪(SKALAR SCAN<sup>++</sup>)测定淋洗液中的 NO<sub>3</sub>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N、总磷含量。填闲苋菜的氮磷淋失阻控率(单次)根据下式计算:

$$\text{阻控率} = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\%$$

式中: C<sub>0</sub> 与 C<sub>t</sub> 分别为休闲对照与填闲苋菜处理的各形态氮磷浓度。本文结果及讨论部分提及的填闲处理的氮磷淋失拦截/阻控效率为 3 次计算值的均值。

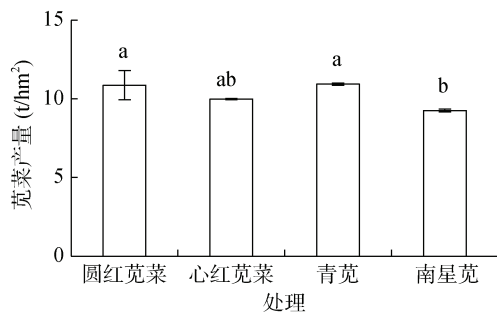
### 1.4 数据处理与统计方法

采用 Excel 2010 进行试验数据处理及图表绘制。各处理之间差异性比较采用 SPSS 16.0 软件进行方差分析和 Duncan 多重比较(P<0.05)。

## 2 结果与分析

### 2.1 填闲苋菜产量与氮磷吸收量

不同填闲苋菜产量(鲜重)如图 1 所示。结果表明,青苋与圆红苋菜产量最高,分别可达 10.95 t/hm<sup>2</sup> 与 10.87 t/hm<sup>2</sup>,其次为心红苋菜,产量达 9.99 t/hm<sup>2</sup>,而南星苋产量最低,仅为 9.26 t/hm<sup>2</sup>(显著低于青苋与圆红苋菜 14.8%~15.4%)。因此,产量由高到低依次为青苋>圆红苋菜>心红苋菜>南星苋。可见,夏季休闲期间种植苋菜,可获得较高产量,但不同品种苋菜的产量存在一定差异。



(图中小写字母表示不同处理间差异在 P<0.05 水平显著,下同)

图 1 填闲苋菜的产量

Fig. 1 Yields of edible amaranth as catch crops

表 1 结果表明,成熟期圆红苋菜、心红苋菜、青苋植株含氮量无显著差异,为 33.2~36.8 g/kg,而南星苋氮含量显著低于前三者,仅为 27.6 g/kg。圆红苋菜与心红苋菜的氮吸收量最佳,分别为 37.2 kg/hm<sup>2</sup> 与 36.8 kg/hm<sup>2</sup>;而青苋与南星苋对氮的吸收能力显

著低于圆红苋菜与心红苋菜,分别为 26.9 kg/hm<sup>2</sup> 与 28.2 kg/hm<sup>2</sup>。此外,4 种填闲苋菜植株磷含量及其磷吸收量均无显著差异(表 1)。

表 1 不同填闲苋菜的氮磷含量及其吸收量

Table 1 Contents and uptake of nitrogen and phosphorus of edible amaranth as catch crops

处理	全氮含量 (g/kg)	吸氮量 (kg/hm <sup>2</sup> )	全磷含量 (g/kg)	吸磷量 (kg/hm <sup>2</sup> )
圆红苋菜	36.4±2.0 a	37.2±4.9 a	3.8±0.5 a	3.97±0.5 a
心红苋菜	36.8±3.0 a	36.8±3.1 a	3.9±0.1 a	3.82±0.5 a
青苋	33.2±5.0 a	26.9±3.5 b	3.7±0.3 a	3.14±0.5 a
南星苋	27.6±4.0 b	28.2±2.1 b	3.5±0.2 a	3.61±0.3 a

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异达到显著水平(P<0.05),下同。

### 2.2 填闲苋菜对淋溶液 pH 与氮磷浓度的影响

2.2.1 淋溶液 pH 土壤淋溶液 pH 能够间接反映土壤的酸碱度变化,并影响土壤溶液中各离子的形态与浓度等,从而影响作物对养分的吸收利用。填闲苋菜种植前后,设施菜地不同处理土壤淋溶液 pH 变化如图 2 所示。与种植前土壤 pH 相比,4 种填闲苋菜处理的淋溶液 pH 分别上升 0.24、0.37、0.22 与 0.50 个单位,而休闲处理则下降 0.19 个单位。与休闲处理相比,4 种填闲苋菜处理土壤淋溶液 pH 均有不同程度的提高。结果说明,休闲季苋菜种植可以相对提高土壤淋溶液 pH,而土壤淋洗液 pH 的相对提高,说明填闲苋菜种植可以缓解土壤酸化过程,促进作物生长,对提高下茬蔬菜肥料利用率有利。

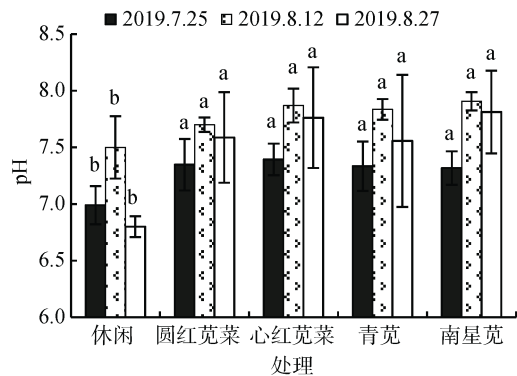


图 2 不同填闲苋菜处理土壤淋溶液 pH 的动态变化

Fig. 2 pH of soil leachates under different treatments

2.2.2 淋溶液 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 与总磷浓度 各处理淋溶液 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 与总磷的浓度变化见图 3。各处理淋溶液不同形态氮磷浓度峰值均出现在第一次采样期 7 月 25 日,即填闲种植最初期,其后随着种植时间变化,不同形态氮磷浓度随之下降,至填闲苋菜收获时降至最低,其中以心红苋菜处理的 NO<sub>3</sub>

-N、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、总磷浓度降幅最大,分别降至 5.28、0.31、0.24 mg/L(图 3)。

图 3 结果同时表明,与休闲处理相比,4 种填闲苋菜种植均具有阻控设施菜地土壤氮磷淋失损失的效果。苋菜生长中期(8 月 12 日),休闲处理的淋溶液  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  与总磷分别为 9.91、5.31 与 0.60 mg/L,填闲苋菜处理使其降至 6.33 ~ 7.66、3.21 ~ 3.51 与

0.35 ~ 0.48 mg/L,对三者降幅最大的分别为心红苋菜(36.1%)、圆红苋菜(39.5%)与南星苋(41.7%)。至收获期(8 月 27 日),与休闲处理相比,苋菜填闲处理淋溶液的  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  与总磷浓度降幅依次为 32.1% ~ 51.6%、33.9% ~ 38.4% 与 25.0% ~ 45.5%。收获期对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  与总磷淋溶损失具有最佳阻控效果的均为心红苋菜处理。

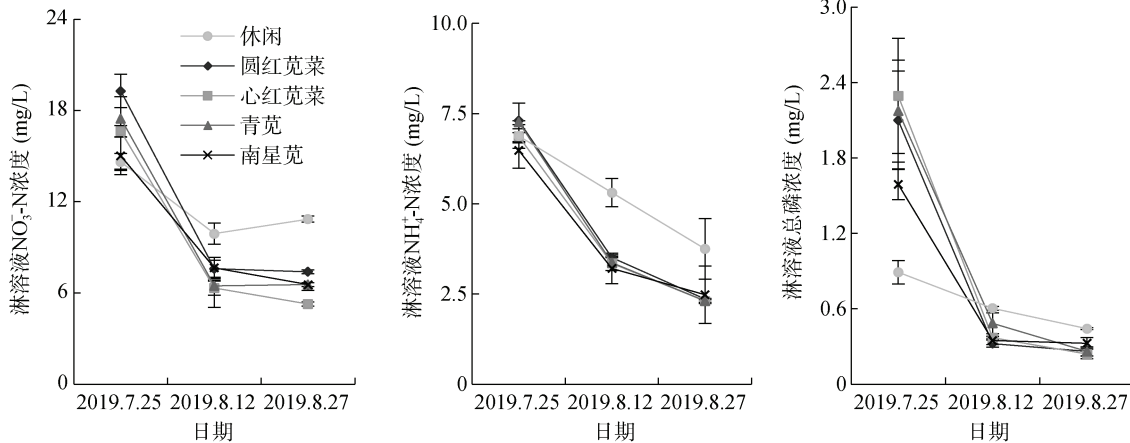


图 3 不同处理淋溶液中  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  与总磷的动态变化

Fig. 3 Concentrations of  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  and total phosphorus of soil leachates under different treatments

### 2.3 填闲苋菜的经济效益与氮磷淋失阻控效果

**2.3.1 填闲苋菜的经济收益** 如前所述,在休闲期种植苋菜,均可获得一定的生物产量。根据市场价格(心红苋菜、圆红苋菜、青苋与南星苋的价格分别为 2.8、2.6、2.2 与 2.2 元/kg)估算,对应 4 种填闲苋菜的经济效益分别为 2.83、2.80、2.41、2.04 万元/ $\text{hm}^2$ (图 4)。就经济效益而言,心红苋菜与圆红苋菜单位面积纯收入最高,两者优势突出,因为心红苋菜市场单价更高,而圆红苋菜具有较高产量(图 1)。

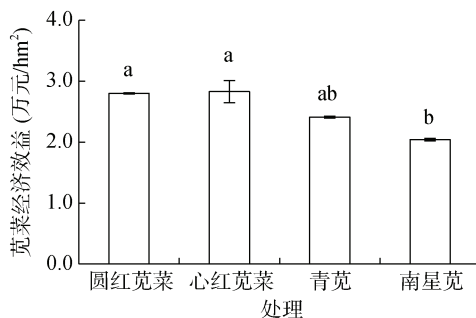


图 4 填闲苋菜的经济效益

Fig. 4 Economic benefit of amaranth as catch crops

**2.3.2 填闲苋菜的氮磷淋失阻控效果** 由表 2 可知,填闲苋菜对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  及总磷浓度均有较好的阻控效果。圆红苋菜、心红苋菜、青苋与南星苋这 4 种填闲叶菜对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  的拦截率分别达到 31.2%、

49.5%、41.6% 与 35.7%,平均为 39.5%,其中,心红苋菜对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  淋溶损失的阻控效果最佳。苋菜种植对  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  淋溶损失的阻控效率为 35.5% ~ 37.7%,且不同处理之间无显著差异,平均为 36.8%。4 种填闲苋菜对总磷淋溶损失拦截率亦无显著差异,其平均拦截率达 37.4%。其中,圆红苋菜对总磷拦截率最高为 43.6%,其次为心红苋菜(41.9%),青苋与南星苋处理相对较低(30.1% ~ 34.1%)。结果表明,心红苋菜对  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$  淋溶损失阻控效果最佳(表 2),对总磷淋溶损失阻控效果较佳。

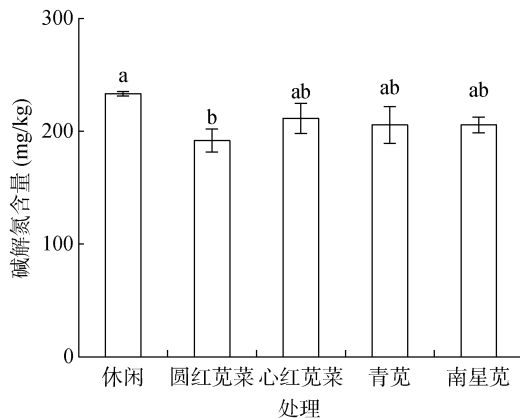
表 2 填闲苋菜种植对土壤氮磷淋溶损失的阻控效果

处理	$\text{NO}_3^-\text{-N}$ 阻控率(%)	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ 阻控率(%)	总磷阻控率(%)
圆红苋菜	31.2 ± 6.45 a	35.5 ± 1.29 a	43.6 ± 2.18 a
心红苋菜	49.5 ± 11.0 a	37.7 ± 0.67 a	41.9 ± 2.91 a
青苋	41.6 ± 5.65a	37.5 ± 0.76 a	30.1 ± 8.81 a
南星苋	35.7 ± 10.5 a	36.7 ± 2.32 a	34.1 ± 6.51 a

### 2.4 苋菜收获后土壤有效磷与碱解氮含量

图 5 结果表明,填闲苋菜种植对土壤碱解氮与有效磷养分含量未表现出明显耗竭,并且对有效磷含量表现出一定的提升功能。与休闲处理相比,心红苋菜(9.4%)、青苋(11.9%)与南星苋(11.9%)种植对土壤碱

解氮含量没有显著影响, 仅有圆红苋菜种植土壤的碱解氮含量显著下降了 17.8% ( $P < 0.05$ )。而填闲苋菜种



植土壤比休闲土壤的有效磷含量显著提高了 31.9%~67.8%。

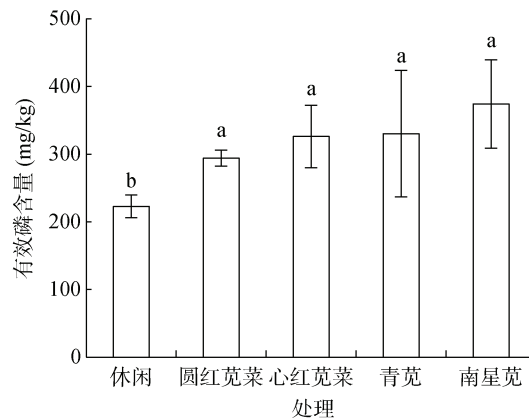


图 5 填闲苋菜收获后土壤碱解氮与有效磷含量

Fig. 5 Contents of soil alkali-hydrolyzed nitrogen and available phosphorus after harvest of amaranth

### 3 讨论

根据前人报道, 适宜于设施蔬菜生产体系的填闲作物一般可以在较短生长期实现地上部及根系的迅速生长, 从而产生较大生物量<sup>[18]</sup>。在选择填闲作物的品种时要因地制宜, 根据当地气候的特点, 选择适合的种类<sup>[19]</sup>。本试验选择的 4 种苋菜, 亦具有根系深长且生物量大的特点, 同时具有耐高温高湿环境的优势, 而且是南方珠三角地区市场受欢迎度极高的时令蔬菜。因此, 本研究选用苋菜作为填闲作物。

在设施蔬菜种植体系下, 填闲作物不仅需要能够拦截阻控土壤氮磷的淋失, 减少地下水污染, 还应具有较好的经济价值, 促进农民增收, 才能得到更加广泛的推广应用。前人关于填闲作物品种的选择倾向于禾本科牧草(高丹草、王草与墨西哥玉米草等)、豆科绿肥(紫云英、刺田菁、决明、望江南、柱花草、大翼豆与猪屎豆等)和饲料粗粮(玉米、小麦、大豆与高粱等)<sup>[20]</sup>。该类填闲作物经济价值相对较低, 于农民增收益处不大, 因此推广时颇具难度。本试验因地制宜, 同时考虑农民增收与环境减排, 选择珠三角地带极具经济价值的叶菜(苋菜)作为填闲作物, 这是以前填闲作物(禾本科牧草、豆科绿肥和饲料粗粮等)所不具备的经济优势, 利于填闲技术的进一步推广。此外, 填闲叶菜还具有生育期短、叶面覆盖指数高的优点, 可以有效地降低菜地土壤的裸露程度, 减少径流<sup>[21]</sup>。4 种填闲叶菜中, 青苋产量最高为 10.95 t/hm<sup>2</sup>, 但是两种红叶苋菜即心红苋菜与圆红苋菜的市场单价更高(分别为 2.8 元/kg 与 2.6 元/kg), 能为农户带来更高收益, 均可超 2.80 万元/hm<sup>2</sup>(图 4)。此外, 本研究

实地调研中发现, 珠三角地区种植广泛且当地人喜食的短生育期叶菜还包括小白菜、叶用莴苣、萝卜苗与辣椒叶等, 因此在对填闲叶菜类别的选择上, 可以进一步因地制宜, 综合选择能带动农民增收并对环境友好的叶菜种类。

设施蔬菜地土壤氮磷过量累积, 淋溶损失量大, 严重威胁到地下水安全与人体健康的案例多见报道, 是我国乃至世界迫切需要解决的问题<sup>[1, 8, 14]</sup>。从降低施肥投入量角度考虑, 在源头上降低淋溶风险, 或者从减少淋溶速率角度出发, 需要增加植物吸收量, 提高肥料利用率<sup>[6]</sup>。而休闲期运用填闲技术是一种减少土壤中盈余氮磷淋溶损失的重要生物途径。王芝义等<sup>[13]</sup>通过模拟土柱试验发现, 与休闲相比, 4 种填闲作物(糯玉米、燕麦、豌豆和苋菜)显著降低了淋溶液中无机氮的浓度。陆扣萍等<sup>[22]</sup>发现, 夏季种植甜玉米可分别减少农民习惯施肥和优化施肥条件下总氮淋失 30.4% 和 34.1%。本研究表明, 4 种填闲苋菜种植可以显著降低土壤淋溶液 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 与总磷淋失量 31.2%~49.5%、35.5%~37.7% 与 30.1%~43.6%(表 2)。说明在珠三角地区设施菜地, 休闲期种植苋菜能有效减少土壤氮磷淋溶损失, 这是与其他技术兼具的环境减排效果。

此外, 填闲作物种植可以减少土壤侵蚀, 提高土壤有机质并具有防治杂草的生态功能, 能显著改善设施菜地土壤的生态环境。在休闲期没有化肥投入的前提下, 前人研究<sup>[21-22]</sup>与本研究中的填闲作物从土壤中吸收了相当量的氮磷养分(表 1), 这是否会影响到茬作物种植前的基础地力? 填闲作物种植的前提是不能影响下茬作物的经济产量<sup>[22]</sup>。有研究表明, 填闲期间糯玉米种植后土壤仍可以维持较高的无机氮含

量,不影响下季主要蔬菜作物的氮素利用<sup>[23]</sup>。休闲期种植一茬填闲作物,还具有缓解土壤次生盐渍化发生等益处<sup>[24]</sup>。在本试验条件下,与休闲处理相比,种植填闲苋菜后,土壤中养分没有出现明显消耗现象,且有效磷含量显著增加(图 5),这可能与填闲作物根系分泌物对磷养分的活化有关<sup>[25]</sup>。此外,因前茬、后茬蔬菜均施用较大数量肥料,特别是氮磷,因此休闲期种植填闲作物对土壤氮磷养分的吸收理不影响下茬蔬菜土壤氮磷的供应。

另外,从经济分析可看出,作物产量高低在收益中起决定性作用,且价格波动存在不确定性,而 4 种苋菜的氮磷流失拦截效率并无明显差别。因此,基于本试验结果推荐的苋菜类型仍待以后进一步验证。据此,本研究也认为在以后的研究中应该:①有条件时,可开展多年/多茬与多点试验,全过程观测氮磷养分的流动特征,综合评价设施菜地填闲叶菜的农学、环境与经济效益;②从土壤学、植物生理学与微生物学等多角度入手,阐明填闲叶菜在环境减排与提质增效方面发挥功能的机制。

## 4 结论

1)本试验选用的 4 种苋菜均可作为珠三角地区设施蔬菜休闲期填闲作物,且具有良好的经济效益,最高可达 2.83 万元/hm<sup>2</sup>。

2)不同苋菜填闲均可有效减少土壤氮磷淋失,对 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N、NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 与总磷淋失的平均阻控效率分别为 39.5%、36.8% 与 37.4%。

3)休闲期种植苋菜没有显著消耗土壤碱解氮与有效磷养分,可推测苋菜填闲不会影响后茬蔬菜产量与品质。因此,在珠三角设施蔬菜生产休闲期种植苋菜,既可增加经济收入,又可减少土壤氮磷淋失,且可保证后茬蔬菜产量。

## 参考文献:

- [1] 陆扣萍, 谢寅峰, 闵炬, 等. 不同施氮量对太湖地区新增设施菜地土壤硝态氮累积的影响[J]. 土壤, 2011, 43(6): 903-909.
- [2] 陈浮, 濮励杰, 曹慧, 等. 近 20 年太湖流域典型区土壤养分时空变化及驱动机理[J]. 土壤学报, 2002, 39(2): 236-245.
- [3] 叶春, 王云鹏. GIS 支持的珠江三角洲农业面源污染时空分析[J]. 农机化研究, 2007, 29(2): 40-43.
- [4] 南宁市统计局. 统计年鉴(2018)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [5] 叶芳, 黄玩群, 涂纯浩. 广东省农业面源污染防治措施、成效和制约因素分析[J]. 广东农业科学, 2016, 43(4): 98-103.
- [6] Min J, Shi W M, Xing G X, et al. Effects of a catch crop and reduced nitrogen fertilization on nitrogen leaching in greenhouse vegetable production systems[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2011, 91(1): 31-39.
- [7] Guo R Y, Qin W, Jiang C G, et al. Sweet corn significantly increases nitrogen retention and reduces nitrogen leaching as summer catch crop in protected vegetable production systems[J]. Soil and Tillage Research, 2018, 180: 148-153.
- [8] 黄东风, 王果, 李卫华, 等. 菜地土壤氮磷面源污染现状、机制及控制技术[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 991-1001.
- [9] Thorup-Kristensen K, Magid J, Jensen L S. Catch crops and green manures as biological tools in nitrogen management in temperate zones[M]//Advances in Agronomy. Amsterdam: Elsevier, 2003: 227-302.
- [10] 于红梅. 不同水氮管理下蔬菜地水分渗漏和硝态氮淋洗特征的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [11] Munkholm L J, Hansen E M. Catch crop biomass production, nitrogen uptake and root development under different tillage systems[J]. Soil Use and Management, 2012, 28(4): 517-529.
- [12] 耿建梅, 蒋红香, 刘艳艳. 海南稻菜轮作休闲期适宜填闲作物初筛[J]. 土壤通报, 2019, 50(1): 76-80.
- [13] 王芝义, 郭瑞英, 李凤民. 不同夏季填闲作物种植对设施菜地土壤无机氮残留和淋洗的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(9): 2516-2523.
- [14] Guo R Y, Li X L, Christie P, et al. Influence of root zone nitrogen management and a summer catch crop on cucumber yield and soil mineral nitrogen dynamics in intensive production systems[J]. Plant and Soil, 2008, 313(1/2): 55-70.
- [15] 任智慧. 京郊露地菜田土壤硝酸盐累积及阻控对策[D]. 北京: 中国农业大学, 2003.
- [16] 张继宗, 刘培财, 左强, 等. 北方设施菜地夏季不同填闲作物的吸氮效果比较研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(12): 2663-2667.
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [18] 闵炬, 施卫明, 王俊儒, 等. 介绍一种采集大棚土壤渗漏水的装置[J]. 土壤, 2007, 39(6): 1009-1011.
- [19] 田永强, 高丽红. 填闲作物阻控设施菜田土壤功能衰退研究进展[J]. 中国蔬菜, 2012(18): 26-35.
- [20] 康凌云, 黄诗坤, 陈硕, 等. 轮作不同高粱品种阻控设施菜田氮素损失潜力研究[J]. 农业资源与环境学报, 2015, 32(3): 215-221.
- [21] Wang R, Min J, Kronzucker H J, et al. N and P runoff losses in China's vegetable production systems: Loss characteristics, impact, and management practices[J]. Science of the Total Environment, 2019, 663: 971-979.
- [22] 陆扣萍, 闵炬, 施卫明, 等. 填闲作物甜玉米对太湖地区设施菜地土壤硝态氮残留及淋失的影响[J]. 土壤学报, 2013, 50(2): 331-339.
- [23] 陆扣萍. 太湖地区设施菜地氮优化管理与淋失阻控对策[D]. 南京: 南京林业大学, 2011.
- [24] 文方芳, 韩宝, 于跃跃, 等. 4 种填闲作物对设施菜田土壤次生盐渍化的改良效果[J]. 中国农技推广, 2015, 31(4): 44-46.
- [25] Wendling M, Büchi L, Amossé C, et al. Influence of root and leaf traits on the uptake of nutrients in cover crops[J]. Plant and Soil, 2016, 409(1/2): 419-434.