

# 设施富营养化土壤平衡施肥技术研究

刘 聪<sup>1</sup>, 韩秉进<sup>2</sup>, 吴凤芝<sup>1</sup>, 潘 凯<sup>1</sup>

(1. 东北农业大学 园艺学院, 黑龙江 哈尔滨 150030; 2. 中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 吉林 长春 130102)

**摘 要:**以连年栽种作物的设施大棚土壤为研究对象,采用目标产量法,研究了富营养条件下设施土壤的平衡施肥方法。结果表明:对于设施富营养化土壤种植黄瓜肥料利用率氮肥为29.3%,磷肥为-9.6%,钾肥为35.4%;种植番茄肥料利用率氮肥为32.6%,磷肥为30.69%,钾肥为56.99%;种植菜豆肥料利用率氮肥为-2.4%,磷肥为-35.8%,钾肥为-7.97%,除番茄外,富营养化地区种植使用磷肥几乎没有增产效果。同时通过试验确定了富营养化设施土壤栽培黄瓜、番茄、菜豆的N、K施肥量上限及施肥比例:黄瓜667 m<sup>2</sup>最大施肥量32.1 kg, N、K比例为1.4:1;番茄667 m<sup>2</sup>最大施肥量27.0 kg, N、K比例为1.4:1;菜豆667 m<sup>2</sup>最大施肥量17.4 kg, N、K比例为1:1。在富营养化设施土壤栽培中推广平衡施肥技术,能够很好地提高产量,节约肥料用量,增加经济效益。

**关键词:**设施蔬菜;富营养化;肥料利用;平衡施肥

**中图分类号:**S 626 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)19-0184-05

随着设施蔬菜生产规模化、产业化及种植的高收益,导致设施蔬菜种植茬次多,种植农户频繁灌溉施肥,造成设施土壤养分大量累积,其引发的问题主要表现在土壤富营养化、土壤次生盐渍化、作物产量及品质降低等方面<sup>[1]</sup>。而以上对蔬菜生产的制约问题,很大一部分受到肥料施用量的影响,施肥量严重影响到土壤质量及其可持续利用<sup>[2]</sup>,而合理的施肥,平衡土壤养分是解决设施蔬菜种植连作障碍的根本途径之一<sup>[3]</sup>。正确合理的土壤施肥方式也有利于土壤的持续、有效的利用,因此应用平衡施肥技术对设施蔬菜产量的提高具有重要的意义。

有研究表明,按照推荐配方进行平衡施肥,大田作物平均每667 m<sup>2</sup>可提高纯收入10~20元<sup>[4]</sup>,对番茄进行配方施肥,与传统施肥技术相比,平均氮磷钾肥料均能节约40%以上<sup>[5]</sup>;在果树的种植中平衡施肥技术的应用不仅有增产的效果,同时也显著提高了果实品质<sup>[6]</sup>;平衡施肥技术在连作条件下的应用可以有效促进植株生长<sup>[7]</sup>;选用合适的肥料配方还能够有效调节土壤pH、改善土壤酸化现象<sup>[8]</sup>;同时平衡施肥的试验田还表现出

显著的水土保持作用<sup>[9]</sup>。

现采用目标产量法,通过土壤测试和肥料效应试验,调整氮磷钾肥施用的比例,针对不同设施蔬菜种类,提出氮磷钾肥料的合理施用量,以期设施蔬菜平衡施肥,探索设施蔬菜节本增产的施肥模式提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试蔬菜为“金鹏1号”番茄、“津研4号”黄瓜、“将军”菜豆。供试肥料:含46%N的尿素、含16% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>的过磷酸钙、含50% K<sub>2</sub>O的硫酸钾和腐熟有机肥(营养成分:氮素1.63%,磷素1.54%,钾素0.85%)。

### 1.2 试验方法

试验于2008年1月至2009年12月在黑龙江省哈尔滨市道里区建国村进行,供试黄瓜大棚2栋,种植年限为11年,前茬种植作物黄瓜;番茄大棚1栋,种植年限为10年,前茬种植作物为番茄;菜豆大棚1栋,种植年限为11年,前茬种植作物为菜豆。每栋大棚面积在620~680 m<sup>2</sup>。

**1.2.1 基础肥力与平衡施肥参数测定试验** 基础肥力测定在每个试验大棚内进行,按照对角线5点取样法,采集0~20 cm土壤样品,将同一大棚的5点土样充分混合后按四分法留取1 kg样品,供土壤养分化验分析,以此确定示范区大棚土壤基础肥力指标。平衡施肥参数测定方法:在每个试验大棚中设置6个小区,小区面积40.2 m<sup>2</sup>。按不同肥力水平设置试验:设置缺乏某一元素

**第一作者简介:**刘聪(1991-),女,硕士研究生,研究方向为设施园艺与蔬菜生理生态。E-mail:728206812@qq.com.

**责任作者:**吴凤芝(1963-),女,教授,博士生导师,研究方向为设施园艺与蔬菜生理生态。E-mail:fzwwu2006@yahoo.com.cn.

**基金项目:**黑龙江省应用技术与开发计划重大资助项目(GA15BI04)。

**收稿日期:**2016-04-18

(N、P、K)的田间试验。根据需要测定的参数试验设计 5 个处理,即 CK、PK、NK、NP、NPK,测定产量并计算增产效果,以此计算土壤养分利用系数和肥料利用率。不同蔬菜施肥量根据当地农户经验确定,见表 1。施肥方法:磷肥一次性施入;氮钾肥分多次施入,氮钾肥每次施用量相同。黄瓜 5 次施肥:其中基肥 1 次,追肥 4 次,第 1 次在开花坐果后,以后在根瓜采收后每隔 7~10 d 追肥 1 次;番茄 4 次施肥:其中基肥 1 次,追肥 3 次。第 1 次追肥在第 1 穗果坐果后,以后在第 1 穗果采收后每隔 7~10 d 追肥 1 次;菜豆 3 次施肥:其中基肥 1 次,追肥 2 次。第 1 次追肥在坐荚后,第 2 次追肥在第 1 次追肥后的 20~30 d。每次追肥需结合灌水进行,灌水方式为常规漫灌。

表 1 不同品种蔬菜 667 m<sup>2</sup> 施肥量

Table 1 Different varieties of vegetables fertilization kg

作物	N(尿素)	P(过磷酸钙)	K(硫酸钾)
黄瓜	20	10	13
番茄	20	10	13
菜豆	10	5	7

1.2.2 肥料效应试验及施肥参数确定 2009 年 1—12 月,在 1.2.1 平衡施肥参数试验基础上,调整施肥用量,设计各主要蔬菜品种的最佳施肥用量。设置施肥 0(不施肥)、常量(NK1)、倍量(NK2)3 个试验处理,通过产量与施肥用量的回归计算。

### 1.3 项目测定

有机质含量采用元素分析仪测定;碱解 N 含量采用碱解扩散吸收法测定;有效 P 含量采用碳酸氢钠法浸提法测定;速效钾含量测定采用醋酸铵浸提,原子吸收法测定<sup>[10]</sup>;pH 采用便携式电导率仪测定;蔬菜分期采收、累计计算产量。

以“目标产量法”为主,计算平衡施肥参数。平衡施肥参数指标确定步骤如下:

667 m<sup>2</sup> 目标产量(kg):以试验棚前 3 年平均产量为基础,再加增产量为蔬菜目标产量确定。目标产量=(1+10%)×前 3 年平均单产;据调查统计得出,试验棚前 3 年,667 m<sup>2</sup> 平均单产:黄瓜 7 745.5 kg、番茄 7 795.6、菜豆 1 346.0 kg。

1 000 kg 单位产量的养分吸收量(kg):蔬菜形成每一单位经济产量,从土壤中吸收的养分量数据<sup>[11]</sup>(表 2)。土壤养分利用系数:校正系数=无肥区作物养分吸收

表 2 不同品种蔬菜单位经济产量吸收养分

Table 2 Economic output absorb nutrients of different varieties vegetables g·kg<sup>-1</sup>

作物	氮素(N)	磷素(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	钾素(K <sub>2</sub> O)
黄瓜	4.1	2.3	5.5
番茄	3.18	0.47	4.38
菜豆	3.4	2.3	5.9

量/土壤测定量=无肥区作物产量×作物单位产量养分吸收量/土壤养分测定值(mg·kg<sup>-1</sup>)×0.15。

肥料利用率(%)=(NPK 农作物吸收养分量-缺素区农作物吸收养分量)/(肥料用量×肥料养分含量)×100。

## 2 结果与分析

### 2.1 示范区土壤肥力水平现状调查

确定设施土壤肥力状况是设施平衡施肥的基础,根据我国土壤养分含量分级指标<sup>[12]</sup>,碱解氮含量>150 mg·kg<sup>-1</sup>;速效磷含量>40 mg·kg<sup>-1</sup>;速效钾含量>200 mg·kg<sup>-1</sup>为土壤养分含量丰富。由表 3 可知,试验棚土壤中碱解氮均在 200.18~299.35 mg·kg<sup>-1</sup>;速效磷含量均在 119.13~316.94 mg·kg<sup>-1</sup>;速效钾含量均在 360~530 mg·kg<sup>-1</sup>。表明所有试验大棚中,所有碱解氮含量都极丰富,同时旧棚土壤中速效磷与速效钾含量均极丰富。各试验棚土壤的 pH 均在 7.5 以下(表 3)。

表 3 试验地土壤速效养分含量状况

Table 3 Available nutrient content of tests soil

编号	作物	碱解氮 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	有效磷 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	速效钾 /(mg·kg <sup>-1</sup> )	pH
1	黄瓜	200.18	316.94	400	7.10
2	黄瓜	299.35	263.21	530	6.86
3	番茄	297.79	283.91	430	7.36
4	菜豆	289.46	119.13	360	7.49

### 2.2 平衡施肥参数的确定

2.2.1 产量及土壤养分依存率试验结果 由表 4 可以看出,与对照相比较,黄瓜施氮肥增产 9.0%~10.9%;施钾肥增产 0.5%~10.4%;磷肥没有增产效果。番茄施氮肥增产 3.8%~10.2%;施钾肥增产 9.0%~18.6%;磷肥只有 4 号试验棚增产 11.4%,3 号试验棚不增产。菜豆施肥均没有表现出增产效果(表 5)。由表 4 还可以得出,黄瓜产量对土壤的依存率为 74.6%~

表 4 各作物不同施肥处理 667 m<sup>2</sup> 平均产量

Table 4 Average yields of crops fertilization kg

编号	作物	CK	PK	NK	NP	NPK
1	黄瓜	6 405.1	7 825.8	8 583.8	7 726.6	8 532.2
2	黄瓜	5 794.2	5 700.9	6 405.8	6 291.8	6 322.9
3	番茄	8 806.4	9 303.9	9 204.4	9 403.5	10 249.3
4	菜豆	1 507.5	1 420.5	1 512.5	1 435.4	1 388.1

表 5 各作物施肥增产效果比较

Table 5 Effect of different varieties vegetables on increasing production %

编号	作物	N	P	K
1	黄瓜	9.0	-0.6	10.4
2	黄瓜	10.9	-1.3	0.5
3	番茄	10.2	11.4	9.0
4	菜豆	-2.3	-8.2	-3.3

90.5%, 番茄产量对土壤的依存率为 73.5%~85.9%。也就是说大棚黄瓜、番茄产量的 75% 以上都是依靠吸收土壤中的养分获得的, 施肥增产仅占总产量的 25%。

**2.2.2 土壤养分利用系数及肥料利用率** 土壤养分利用系数可以表明植物对土壤中氮、磷、钾的吸收利用情况, 而肥料利用率则能够表明植物从所施肥料中吸收的养分量, 可以由此计算出平衡施肥中各肥料施用量。由表 6、7 可以看出, 试验地设施蔬菜生产中养分吸收与利用主要来自土壤, 施用化肥中的养分利用率很低。大棚黄瓜生产对土壤中碱解氮、速效磷利用率较高, 对土壤中速效钾利用率较低, 而对钾肥的利用率高于其它 2 种速效养分, 黄瓜大棚生产由于土壤肥力较高, 表现出对施用化肥的利用率很低。大棚番茄生产中需钾最多, 不仅对土壤中速效钾养分利用系数达到 0.598, 对施用的化肥利用率也达到 57.0%, 但大棚番茄生产对土壤中碱解氮, 有效磷的利用也较低。菜豆施肥没有效果, 尤其磷肥地肥料利用率极低。

表 6 试验地土壤养分利用系数

Table 6 Utilization coefficient of soil nutrients

作物	碱解氮	有效磷	速效钾
黄瓜	0.668	0.322	0.481
番茄	0.626	0.097	0.598
菜豆	0.111	0.195	0.157

表 7 试验地肥料利用率

Table 7 Efficiency of fertilizer use %

作物	N(尿素)	P(过磷酸钙)	K(硫酸钾)
黄瓜	29.6	-9.6	35.4
番茄	32.7	30.7	57.0
菜豆	-2.4	-35.8	-7.97

### 2.3 肥料效应试验及施肥参数确定

通过总结之前的试验结果, 设置的 0、常量、倍量的 3 个试验处理(表 8), 并得到相应产量结果(表 9), 从产量结果可以明显看出, 常量施肥最有利于黄瓜与番茄的增产, 倍量施肥能够很有效的促进菜豆的增产, 倍量施肥条件下, 黄瓜产量下降, 番茄产量没有增减变化, 可能由于氮肥施用过多导致, 黄瓜产量不升反降。

表 8 各施肥处理 667 m<sup>2</sup> 肥料效应试验

Table 8 Treatments of fertilizer effect kg · (667m<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>

作物	0	常量肥料(施用量)	倍量肥料(施用量)	N : K
黄瓜	不施肥	N(14) K(10)	N(28) K(20)	1.4 : 1
番茄	不施肥	N(10) K(8)	N(20) K(16)	1.25 : 1
菜豆	不施肥	N(6) K(6)	N(12) K(12)	1 : 1

表 9 各施肥处理 667 m<sup>2</sup> 平均产量

Table 9 Average yield per 667 m<sup>2</sup> of each fertilizer treatments kg

作物	0	常量	倍量
黄瓜	5 915.5	9 896.6	9 133.7
番茄	6 603.3	8 254.1	8 254.1
菜豆	1 891.9	2 172.3	2 205.3

由图 1~3 蔬菜产量与肥料施用量回归分析可知, 黄瓜 667 m<sup>2</sup> 最大施肥量  $X_{\max}=b/(-2c)=32.1$  kg, 番茄 667 m<sup>2</sup> 最大施肥量  $X_{\max}=b/(-2c)=27.0$  kg, 菜豆 667 m<sup>2</sup> 最大施肥量  $X_{\max}=b/(-2c)=17.4$  kg。

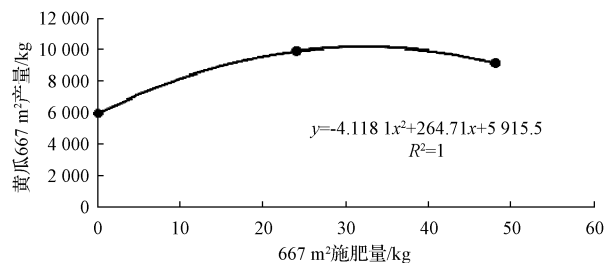


图 1 黄瓜产量与施肥量回归分析

Fig. 1 Regression analysis of cucumber yield and fertilizer

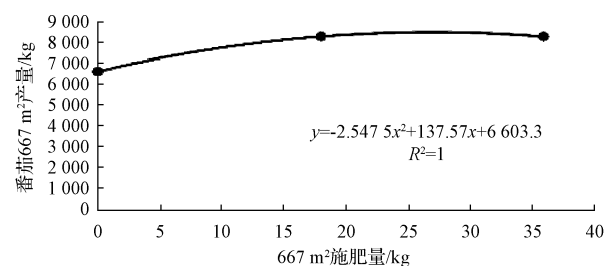


图 2 番茄产量与施肥量回归分析

Fig. 2 Regression analysis of tomato yield and fertilizer

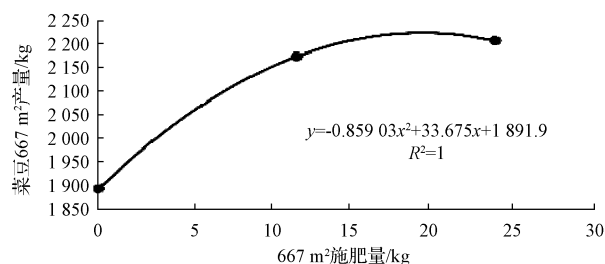


图 3 菜豆产量与施肥量回归分析

Fig. 3 Regression analysis of bean yield and fertilizer

### 3 结论与讨论

在前期对土壤基础肥力数据的采集中, 得知该试验选择示范区棚室土壤养分含量水平极高, 并且新棚土壤养分含量明显低于旧棚, 施肥造成速效养分的大量积累, 土壤速效养分随设施使用年限增长, 导致设施土壤养分过剩和土壤盐渍化<sup>[13]</sup>。

在确定平衡施肥参数的试验中施用各速效养分增产效果不明显。其中菜豆还出现减产现象, 其原因可能是试验地大棚内土壤养分含量过高, 菜豆产量对土壤的依存率达到 100%, 仅依靠土壤中积累的养分即可供应菜豆的生长发育需求, 黄瓜施用氮钾肥增产效果最高达到 10% 左右, 番茄增产效果最多达到 18%。在黄瓜种植

中磷肥的施用出现减产效果,这与高兵等<sup>[14]</sup>研究结果相一致。并且黄瓜产量对土壤依存率可达到 74.6%~90.5%,番茄产量对土壤的依存率可达到 73.5%~85.9%,试验数据表明,施肥增产最多仅占总产量的 25%。

试验表明,黄瓜对土壤中碱解氮、有效磷利用系数较高,黄瓜生长中更多的吸收土壤中氮素和磷素,因此氮磷的用量也应对提高黄瓜产量具有一定作用<sup>[15]</sup>,但从肥料利用率中可以得知黄瓜生产没有利用磷肥,也说明大棚内土壤磷素累积量极高,作物仅依靠土壤中磷素的吸收就能满足生长发育需求。番茄对土壤中有效磷利用系数很低,但对速效钾利用系数达到 0.905,并且对钾肥的利用也能够达到 29.6%,这与番茄需肥特点有关,番茄生长中后期吸收钾肥可以极大的促进氮的吸收,但是磷肥过量将影响钾肥的吸收,番茄氮磷钾肥施用过程中应适当降低磷肥的用量<sup>[16]</sup>,而试验地土壤养分中速效磷的含量极丰富,因此,可以不施磷肥,适当施用氮钾肥。

由于所有大棚每年都施用大量的粪肥做底肥,土壤中有大量的营养元素积累,其中磷素营养积累较多,除番茄外,各棚室施用磷肥几乎没有增产效果;因此在富营养化设施土壤内施磷肥对黄瓜、番茄和菜豆没有增产效果,可以不施用磷肥,同时还应该减少 N、K 的施肥量,但在选用新棚种植番茄时可适当施用磷肥,以 667 m<sup>2</sup> 施 10 kg 为宜。该试验确定了应用富营养化设施土壤栽培黄瓜、番茄、菜豆的 N、K 施肥量上限及施肥比例,即黄瓜 667 m<sup>2</sup> 最大施肥量 32.1 kg, N、K 比例为 1.4 : 1; 番茄 667 m<sup>2</sup> 最大施肥量 27.0 kg, N、K 比例为 1.4 : 1; 菜豆 667 m<sup>2</sup> 最大施肥量 17.4 kg, N、K 比例为 1 : 1。

连年栽种作物设施内土壤肥力较高,蔬菜产量对土壤有较高的依存率(75%以上)。在此基础上施用化肥增产效果较小,并且利用率较低。因此明确平衡施肥方案能够在增加作物产量与经济效益的同时,减少肥料用量,提高肥料利用率。深入研究施肥与土壤养分含量、蔬菜养分需求之间相互作用关系,对提高富营养化土壤种植作物的增产效果具有重要的意义。要有效地提高肥料利用率,还必须重视作物生长期不同营养阶段供肥强度的变化与作物需求的平衡,即纵向的动态平衡<sup>[17]</sup>。

该试验明确的参考施肥量,可推荐作为设施土壤养分含量丰富地区的参考施肥量。但是由于各地土壤养分状况不同,不同种类蔬菜作物养分吸收量的差异,应用该试验推荐施肥方案时,应按照具体情况进行调整。并且要确定精准施肥量和大量辐射推广,还需要大量、深入、细致的试验研究。

### 参考文献

- [1] 史静,张乃明,包力.我国设施农业土壤质量退化特征与调控研究进展[J].中国生态农业学报,2013(7):787-794.
- [2] CHANDER K,GOYAL S,NANDAL D P,et al. Soil organic matter, microbial biomass and enzyme activities in a tropical agroforestry system[J]. Biology and Fertility of Soils,1998(27):168-172.
- [3] 王丽英,张彦才,翟彩霞,等.平衡施肥对连作日光温室黄瓜产量、品质及土壤理化性状的影响[J].中国生态农业学报,2008(6):1375-1383.
- [4] 侯彦林.“生态平衡施肥”的理论基础和技术体系[J].生态学报,2000(4):653-658.
- [5] 高杰云,王丽英,严正娟,等.设施土壤栽培番茄配方施肥策略与指标研究[J].中国蔬菜,2014(1):7-12.
- [6] 刘汝亮,同延安,高义民,等.渭北旱塬苹果园土壤养分状况分析与平衡施肥研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2008(3):135-140.
- [7] 欧小宏,金航,郭兰萍,等.平衡施肥及土壤改良剂对连作条件下三七生长与产量的影响[J].中国中药杂志,2012(13):1905-1911.
- [8] 王金良,黄文峰,温世君,等.集约化农业退化土壤快速生物修复技术[J].浙江农业科学,2014(12):1913-1917.
- [9] 徐泰平,朱波,况福虹,等.平衡施肥对紫色土坡耕地磷素径流流失的影响[J].农业环境科学学报,2006(4):1055-1059.
- [10] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:14-114.
- [11] 张振贤,程智慧.高级蔬菜生理学[M].北京:中国农业大学出版社,2008:79-84.
- [12] 孟旭光.国土资源与环境承载力评价[R].北京:中国大地出版社,2010.
- [13] 余海英.设施土壤养分状况及盐分的累积、迁移特征[R].成都:四川农业大学,2006.
- [14] 高兵,陈永智,李俊良,等.保护地番茄氮磷钾肥效应研究[J].青岛农业大学学报(自然科学版),2008(2):135-139.
- [15] 李冬梅,魏珉,张海森,等.氮磷钾不同用量及配比对日光温室黄瓜产量和品质的影响[J].中国农学通报,2005(7):262-265.
- [16] 张乐森.滨州保护地番茄氮磷钾肥效应研究[J].蔬菜,2008(10):27-31.
- [17] 樊小林,廖宗文.控释肥料与平衡施肥和提高肥料利用率[J].植物营养与肥料学报,1998(3):219-223.

## Study on Balance Fertilization in Nutrition Richness Greenhouse Soil

LIU Cong<sup>1</sup>, HAN Bingjin<sup>2</sup>, WU Fengzhi<sup>1</sup>, PAN Kai<sup>1</sup>

(1. College of Horticulture, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030; 2. Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun, Jilin 130102)

**Abstract:** With greenhouse soil that continuous cropped with different plant as test object, by target yield method, the method of balanced fertilization of nitrogen, phosphorus and potassium on nutrition richness soil in greenhouse were



DOI:10.11937/bfyy.201619048

# 遵义市凤凰山土壤砾石与水分含量对苔藓植物多样性的影响

李德辉<sup>1,2</sup>, 刘忠英<sup>1</sup>, 马欣<sup>1</sup>, 王传雪<sup>1</sup>, 程琳<sup>1</sup>, 何艳娜<sup>1</sup>

(1. 遵义师范学院 生命科学学院, 贵州 遵义 563002; 2. 贵州省赤水河流域植物资源保护与应用研究特色重点实验室, 贵州 遵义 563002)

**摘要:** 为了解遵义凤凰山土壤不同砾石及水分含量对苔藓植物多样性的影响, 在遵义市凤凰山国家森林公园取不同土壤环境的 5 个样点, 每个样点设 3 个重复, 共 15 个小样方, 每个小样方面积 1 m×1 m, 对其植物分布状况进行调查, 采集土样和苔藓植物标本。结果表明: 凤凰山土壤砾石含量低, 苔藓植物 Shannon 指数较高; 土壤水分含量高, 苔藓植物 Shannon 指数较高, 种类数量多。苔藓植物与土壤环境之间关系密切。

**关键词:** 苔藓植物; 物种多样性; 土壤环境; 凤凰山国家森林公园

**中图分类号:** X 173; Q 949.36 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2016)19-0188-04

随着人类生活水平的提高, 人类对生活质量的追求越来越高, 对生活环境的要求也越来越高。但由于生态破坏, 大量废气废水废渣的排放使人类生活的环境不是随着人类社会的发展而改善, 而是生活的环境质量越来越差。植物是改善人类生活环境的基础, 在固碳释氧、改善环境及形成不同季相景观的生命材料中具有唯一性<sup>[1]</sup>。植物与土壤关系极为密切, 不少学者探索了植物格局与环境的关系<sup>[2-4]</sup>, 认为土壤含水量等因子对植物群落多样性有所影响。张林静等<sup>[5]</sup>经过研究发现, 植物多受土壤水分和盐分影响。对苔藓植物与土壤环境的关系研究, 主要是探索苔藓植物分布与环境的关系, 宋红涛等<sup>[6]</sup>探索了江苏宝华山苔藓植物多样性及其分布与环境关系, 有些苔藓植物可以指示土壤的酸碱度, 比

如白发藓(*Leucobryum glaucum*)、大金发藓(*Polytrichum commune*)是酸性土壤的指示植物; 墙藓(*Tortula muralis*)是碱性土壤的指示植物<sup>[7]</sup>。BHARALI 等<sup>[8]</sup>对苔藓植物与土壤亚硫酸盐金属粒子之间的关系进行探索, CHRISTINA 等<sup>[9]</sup>对沙漠中苔藓成土情况进行探索。何林等<sup>[10]</sup>曾对遵义市区苔藓植物种类和区系组成进行探索, 提出有必要对遵义市区不同环境苔藓植物物种情况进行进一步研究。凤凰山地处遵义市区中央, 是少有的位于城市内部的国家级森林公园, 其特殊的地理位置使其在遵义市空气质量的调节中起关键作用, 探索其不同土壤环境的苔藓植物分布, 可以进一步了解凤凰山的土壤状况, 以为凤凰山环境保护提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

凤凰山国家森林公园位于贵州省遵义市区, 地理坐标为东经 106°45′~107°01′, 北纬 27°36′~27°49′。地处“黔中隆起”的主体及其南北相邻凹陷的地质构造部位, 是贵州地势由西向东倾斜的第二台阶, 为大娄山余脉。气候为中亚热带湿润季风气候, 极端最高气温 38.7℃, 极端最低气温 -7℃, 年均气温 15.2℃, 年均相对湿度

**第一作者简介:** 李德辉(1964-), 男, 贵州遵义人, 本科, 讲师, 现主要从事植物资源等研究工作。E-mail: 1559508990@qq.com.

**基金项目:** 贵州省科技厅资助项目(黔科合 LH 字[2015]7032 号); 贵州省自然科学基金资助项目(黔科合 J 字(2011)2187 号); 贵州省教育厅创新人才团队资助项目(黔教合人才团队字[2013]20 号)。

**收稿日期:** 2016-04-25

studied. The results showed that under nutrition richness soil in greenhouse, nitrogen, phosphorus and potassium of the cucumber yield were 29.3%, -9.6%, 35.4%; nitrogen, phosphorus and potassium of the tomato yield were 32.6%, 30.69%, 56.99%; nitrogen, phosphorus and potassium recovery rate of the bean yield were -2.4%, -35.8%, -7.97%. In this experiment, the maximum nitrogen and potassium application rate of cucumber, tomato and bean per 667 m<sup>2</sup> were 32.1, 27.0, 17.4 kg, the fixed N/K ratio of cucumber, tomato and bean were 1.4 : 1, 1.4 : 1, 1 : 1. Expanding balanced fertilization technique of nutrition richness soil could improve the yield, saving fertilizer and increase economic benefits.

**Keywords:** greenhouse vegetables; nutrition richness; fertilization use; balanced fertilization