

水肥处理对辣椒保护地土壤 pH 值的影响

梁运江¹, 许广波¹, 谢修鸿², 依艳丽³, 李艳茹¹

(1. 延边大学农学院, 吉林 延吉 133002; 2. 长春大学生物科学技术学院, 吉林 长春 130022;
3. 沈阳农业大学土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘要 探讨辣椒保护地的水肥耦合效应, 采用二次回归正交旋转组合设计, 建立了灌水定额、氮肥和磷肥对辣椒保护地土壤 pH 值影响的数学模型。通过模型分析得出: 在辣椒保护地土壤养分含量高和施肥量大的条件下, 灌水定额、施氮和施磷对辣椒保护地土壤 pH 值影响的大小顺序为: 灌水 > 施氮 > 施磷。大量施用氮肥可使土壤酸化, 灌水和高量施磷可减弱酸化效应, 灌水与施氮、施氮与高量施磷对土壤 pH 值表现为拮抗作用。维持保护地土壤 pH 值种植前后稳定的水肥措施: 灌水定额为 $170.71 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{次})$, 施氮量为 $235.98 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 施 P_2O_5 为 $239.38 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。合理的施肥和灌水, 可以控制土壤的酸化。

关键词 辣椒种植地; 土壤 pH 值; 水肥耦合

中图分类号 S153.4

文献标识码 A

文章编号: 1006-7647(2011)02-0050-03

Effects of water-fertilizer treatment on pH value of protective farmland for capsicum cultivation/LIANG Yun-jiang¹, XU Guang-bo¹, XIE Xiu-hong², YI Yan-li³, LI Yan-ru¹(1. Agricultural College of Yanbian University, Yanji 133002, China; 2. College of Biological Sciences and Technology, Changchun University, Changchun 130022, China; 3. College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: In order to study the coupling effects of water and fertilizers, a regression model for the effects of irrigation water, nitrogen fertilizer and phosphate fertilizer on pH value of protective farmland for capsicum cultivation was established by means of the quadratic orthogonal rotatory combination design. The model test results showed that for the protective farmland with high content of soil nutrients and high amount of fertilizers for capsicum cultivation, the effects of the above three factors on the pH value of soil had the descending order of irrigation water, nitrogen fertilizer and phosphate fertilizer. Application of high amount of nitrogen fertilizer urged soil acidification, and their irrigation water and application of high amount of phosphate fertilizer might weaken the effects of soil acidification. The effects of the irrigation water and the application of nitrogen fertilizer, the application of nitrogen fertilizer and the application of high amount of phosphate fertilizer on the pH value of soil were antagonistic. Measures for irrigation water and fertilizers to maintain stable pH value of soil before and after capsicum cultivation were proposed: irrigation water quota of $170.71 \text{ m}^3/\text{hm}^2 \cdot \text{次}$, application of N $235.98 \text{ kg}/\text{hm}^2$ and application of P_2O_5 $239.38 \text{ kg}/\text{hm}^2$. A conclusion is drawn that rational fertilizers and irrigation water may control soil acidification.

Key words: capsicum protective farmland; pH value of soil; water-fertilizer coupling

水肥耦合效应是指在农业生态系统中, 土壤矿物元素与水这 2 个体系融为一体, 通过各种相互作用而彼此影响的现象^[1]。土壤酸碱性反应是土壤的重要性质之一, 它对植物的生长、微生物的活动以及土壤的物理、化学性质都有很大的影响。对耕作土壤来说, 它易受耕作、施肥、灌排等一系列人为措施的影响^[2]。由于过量施用氮肥, 自 20 世纪 80 年代以来我国主要农田土壤已出现显著酸化的现象^[3]。尤其是保护地集约栽培、复种指数高、肥料用量大, 加上缺少雨水淋洗和保护地室内空气温度高、湿度

大、通气状况差和过量灌水等特殊原因, 土壤酸化的趋势更明显^[4-7]。从研究方向看, 施肥对保护地 pH 值影响的研究报道较多, 但灌水对保护地 pH 值影响的研究较少, 尤其施肥和灌水耦合效应对保护地 pH 值影响的研究还未见报道。辣椒对土壤 pH 值的反应敏感, 在微酸性至中性范围内生长良好。因此, 通过合理施肥和灌水, 控制保护地土壤的酸化, 稳定土壤的酸碱环境, 将对辣椒生长有重要的意义。本文在寒温带暗棕壤上以当地大面积栽培的辣椒为试验材料, 研究灌水、施氮量、施磷量对保护地土壤 pH

1 材料与方法

1.1 供试土壤

试验于 2002 年 4—8 月在吉林省龙井市龙丰村塑料大棚内进行。土壤为暗棕壤 ,其物理、化学性质见表 1。

表 1 供试土壤的基本性质指标

土层/ cm	pH 值	田间 持水量/ (g·kg ⁻¹)	密度/ (g·cm ⁻³)	硝态氮/ mg·kg ⁻¹	铵态氮/ mg·kg ⁻¹	碱解氮/ mg·kg ⁻¹
0~20	5.58	344.9	1.23	7.96	6.42	129.38
20~40	6.44	270.7	1.43	15.03	4.09	106.79
40~60	6.61	275.5	1.45	28.06	8.03	90.58
土层/ cm	速效磷/ (mg·kg ⁻¹)	速效钾/ (mg·kg ⁻¹)	有机 C/ (g·kg ⁻¹)	全氮/ (g·kg ⁻¹)	全 P/ (g·kg ⁻¹)	全钾/ (g·kg ⁻¹)
0~20	130.52	143.54	12.44	1.85	1.79	22.57
20~40	110.56	205.14	11.40	1.20	1.70	22.16
40~60	86.69	250.68	6.14	0.76	1.24	22.56

1.2 供试作物

供试作物为辣椒 ,品种为湘研一号。2002 年 1 月 28 日播种 4 月 20 日定植 ,每穴双株。

1.3 试验设计和实施

试验采用 3 因素 5 水平二次回归正交旋转组合设计。在施钾肥充足的条件下 ,选取灌水定额代码值 x_1 、施氮量代码值 x_2 和施磷量代码值 x_3 为试验因素 ,设计水平见表 2。试验灌水方式为沟灌 ,辣椒生育期内共灌水 13 次。试验共设 23 个小区 ,随机排列 ,小区面积为 2.7 m² ,试验设计代码值方案见表 3。辣椒栽植株距为 30 cm ,行距为 50 cm (133 334 株/hm²)。为防止水分互渗 ,在各小区之间埋设 60 cm 深的塑料薄膜相隔。肥底施 K₂O (300 kg/hm²)。氮肥 (尿素) 分 3 次施用 ,定植前作基肥施入 1 次 ,施入量占总施入量的 40% ,采收前期和中后期作追肥各施入 1 次 ,施入量各占总施入量的 30%。磷肥 (磷酸二铵) 和钾肥 (硫酸钾) 作基肥一次性施入。氮、磷、钾的基肥采用穴施方式 ,氮的追肥随灌水施入。试验所用尿素含纯氮量为 46.0% ,磷酸二铵含 P₂O₅ 量为 46% ,含纯氮量为 18% ,硫酸钾含 K₂O 量为 50%。

表 2 试验因素不同水平代码值及对应实际值

代码值	灌水		施氮量/ (kg·hm ⁻²)	施 P ₂ O ₅ / (kg·hm ⁻²)
	灌水定额/ (m ³ ·hm ⁻² ·次 ⁻¹)	灌水量/ (m ³ ·hm ⁻²)		
-1.682	66.67	866.71	117.39	0.00
-1	93.70	1218.04	215.23	48.66
0	133.33	1733.36	358.70	120.00
+1	172.97	2248.67	502.16	191.34
+1.682	200.00	2600.00	600.00	240.00

1.4 样品采集和测定

土壤样品在种植前和辣椒拉秧后分 0~20 cm ,

表 3 试验设计代码值方案和试验结果

小区	x_1	x_2	x_3	pH 值
1	1	1	1	5.25
2	1	1	-1	5.20
3	1	-1	1	5.29
4	1	-1	-1	5.08
5	-1	1	1	4.93
6	-1	1	-1	4.81
7	-1	-1	1	5.04
8	-1	-1	-1	5.53
9	1.682	0	0	5.36
10	-1.682	0	0	4.88
11	0	1.682	0	4.84
12	0	-1.682	0	5.75
13	0	0	1.682	5.54
14	0	0	-1.682	5.74
15	0	0	0	5.23
16	0	0	0	5.31
17	0	0	0	5.07
18	0	0	0	5.05
19	0	0	0	5.12
20	0	0	0	5.17
21	0	0	0	5.36
22	0	0	0	5.12
23	0	0	0	5.17

20~40 cm 40~60 cm 共 3 个层次采集。土壤硝态氮含量分析采用锌还原紫外分光光度法^[8] ,铵态氮采用靛酚蓝比色法^[9] ,其余项目采用常规方法测定^[10-11]。

2 结果与讨论

辣椒种植后采集不同小区 0~20 cm 大棚土壤 ,测定土壤 pH 值列于表 3。

2.1 土壤 pH 值与水肥措施间模型的建立与检验

根据表 3 数据 ,运用二次回归正交旋转组合设计计算程序 ,求出土壤 pH 值 (y) 对 x_1 , x_2 和 x_3 的回归模型 (代码值方程):

$$y = 5.18 + 0.10x_1 - 0.17x_2 - 0.03x_3 + 0.11x_1x_2 + 0.08x_1x_3 + 0.06x_2x_3 - 0.07x_1^2 - 0.005x_2^2 + 0.12x_3^2 \quad (1)$$

通过方差分析求出 0~20 cm 土壤 pH 值拟合的模型 $F_{\text{拟合}} = 3.2 > F_{0.05}(9,13)$ 且 $F_{0.05}(9,13) = 2.72$,达到显著水平 ,说明模型的预测值和实际值吻合较好 ,故以此模型进行预报具有较高的可行性。

2.2 水肥处理对土壤 pH 值影响的因子主效应分析

对于多元二次非线性模型 ,分析因素的重要性必须将一个因素的一次项和二次项综合考虑 ,不能只从线性化方程的某一项孤立评价各因素的相对重要性。在这方面 ,贡献率分析是较为适用的一种方法 ,它可以将各试验因素按贡献率大小排序 ,从而帮助确定限制因素。具体方法如下^[12] :

首先,求出回归模型的各项回归系数方差比 F_j, F_{jj}, F_{ij} ,并按下式计算因素贡献:

$$\delta = \begin{cases} 0 & (F \leq 1) \\ 1 - \frac{1}{F} & (F > 1) \end{cases} \quad (2)$$

然后求第 j 个因素的贡献率:

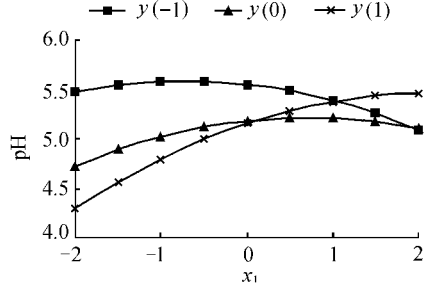
$$\Delta_j = \delta_j + \delta_{jj} + \frac{1}{2} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^p \delta_{ij} \quad (3)$$

计算灌水、施氮和施磷的贡献率分别为: $\Delta_1 = 1.73, \Delta_2 = 1.24, \Delta_3 = 1.00$ 。可以看出,3 个因素对辣椒保护地土壤 pH 值影响的大小顺序为:灌水 > 施氮 > 施磷。结合式(1)的各项系数,可得出灌水和施磷总体都有提高土壤 pH 值的作用,但施氮作用远小于灌水作用。施氮对土壤 pH 值只有降低的作用,但施氮、灌水、施磷三者的交互作用都有利于提高土壤的 pH 值。

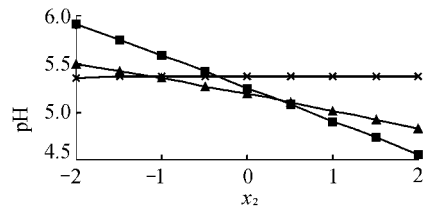
2.3 水肥处理对土壤 pH 值影响的单因子效应分析

为了找出灌水、施氮、施磷对土壤 pH 值影响的趋势,采用降维分析,将式(1)中 3 个因素中的 2 个因素固定在 -1,0,1 等 3 个不同的水平,得到式(1)关于 x_1, x_2, x_3 的 3 组 9 个一元二次方程,按方程做出图形(图 1)。

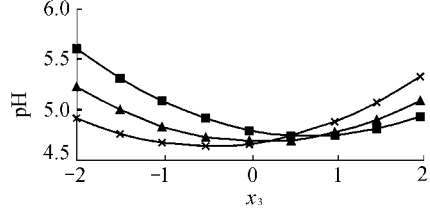
从图 1(a)可看出,施氮量、施磷量代码值都为 1 水平时(施氮量为 502.16 kg/hm^2 ,施 P_2O_5 为 191.34 kg/hm^2),pH 值起点较低,但随着灌水定额增



(a) 不同的施肥水平



(b) 不同的灌水定额和施肥水平



(c) 不同的灌水定额和施氮水平

图 1 水肥在不同水平下对土壤 pH 值的影响

加 pH 值基本上保持持续上升趋势。当施氮量、施磷量代码值都为零水平时(施氮量为 358.70 kg/hm^2 ,施 P_2O_5 为 120.00 kg/hm^2), pH 值变化较平缓。以上说明大量施肥会导致土壤 pH 值的下降,而灌水产生的淋洗效应会使土壤 pH 值上升。灌水的淋洗减少了 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等离子含量,使 Ca^{2+} 、 Na^+ 等盐基离子相对含量提高,从而导致土壤 pH 值提高^[13]。从图 1(b)可看出,当灌水定额、施磷量代码值为 -1 (灌水定额为 $93.70 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{次})$,施 P_2O_5 为 48.66 kg/hm^2) 和 0 水平时(灌水定额为 $133.33 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{次})$,施 P_2O_5 为 120.00 kg/hm^2),随着施氮量增加, pH 值呈直线下降的趋势,这与施用氮肥增加了 NO_3^- 等强酸离子的积累密切相关^[4]。当灌水定额、施磷量代码值为 1 水平时(灌水定额为 $172.97 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{次})$,施 P_2O_5 为 191.34 kg/hm^2),随着施氮量增加, pH 值呈一条平滑的直线。以上说明在低量灌水和低量施磷时,施氮可明显促进土壤的酸化,但当高量灌水和施磷时,施氮对 pH 值影响不大。从图 1(c)可看出,当施磷量代码值小于 0.5 水平时(施 P_2O_5 为 155.7 kg/hm^2)无论灌水定额和施氮量为何水平,随着施磷量增加 pH 值都下降,但当施磷量代码值超过 0.5 水平时, pH 值呈上升趋势。这说明低量施磷加剧对土壤的酸化效应,但高量施磷却可提高土壤的 pH 值。综上所述,大量施用氮肥促使土壤酸化,灌水和高量施磷可减弱酸化效应,但高量施磷对土壤 pH 值的影响远小于灌水效应,灌水与施氮、施氮与高量施磷对土壤 pH 值表现为拮抗作用。

2.4 土壤 pH 值变化稳定点

在式(1)中, y 与种植前 0 ~ 20 cm 土壤 pH 值(5.58)相等时,表示土壤 pH 值在种植前后数值不变,土壤酸碱环境维持稳定。利用规划求解方法,可求得 pH 值稳定点的灌水定额、施氮量和施磷量组合,即 $x_1 = 0.943, x_2 = -0.856, x_3 = 1.673$,也就是灌水定额为 $170.71 \text{ m}^3/(\text{hm}^2 \cdot \text{次})$,施氮量为 235.98 kg/hm^2 ,施 P_2O_5 为 239.38 kg/hm^2 时土壤 pH 值种植前后保持平衡,土壤酸化趋势不发展,有利于辣椒的生长。

3 结 论

- 在辣椒保护地土壤养分含量高和施肥量大的条件下,灌水定额、施氮和施磷对辣椒保护地土壤 pH 值影响的大小顺序为:灌水 > 施氮 > 施磷。
- 大量施用氮肥可使土壤酸化,灌水和高量施磷可减弱酸化效应,灌水与施氮、施氮与高量施磷对土壤 pH 值表现为拮抗作用。

(下转第 62 页)

4 结 语

基于 ABAQUS 软件平台及 UMAT 子程序接口 , 开发了土体材料的邓肯-张本构模型 , 开发的程序可在 1 个模型中同时包含邓肯-张 $E-B$ 和 $E-\nu$ 2 种不同的本构模型 , 既可用于二维问题计算 , 也可用于三维问题计算。运用开发的程序模拟某心墙堆石坝施工加固过程 , 得出以下结论 : ①该坝水平位移以及竖向位移的最大值均发生在坝高的 $1/2 \sim 2/3$ 处 , 坝体的沉降量最大值为 15 cm 左右 , 小于坝高的 1% , 符合土石坝的变形规律 ; ②防渗体造孔部分的施工质量对坝体、现浇防渗体的应力 ~ 变形性状影响较大 , 应尽可能提高防渗体造孔部分的施工质量 , 造孔部分质量较好时 , 可降低坝体以及防渗体的位移响应 , 也使上部现浇部分的应力大幅度降低 , 有利于防渗体的安全稳定 ; ③该心墙堆石坝在左坝头附近防渗墙轴线偏向下游 , 使上游面土体向下游方向挤压墙体的作用力变大 , 该部位的应力也较大 ; ④防渗墙弹性模量采用上限值(现浇防渗墙 18.5 GPa , 造孔防渗墙 21.7 GPa)或采用下限值(现浇防渗墙 12.1 GPa , 造孔防渗墙 13.5 GPa)计算得出的结果与防渗墙实测

值都是比较接近的 , 说明采用上限值及下限值计算出的结果范围可以合理预测防渗墙的真实变形。

参考文献 :

[1] 王柏乐 , 刘瑛珍 , 吴鹤鹤 . 中国土石坝工程建设新进展 [J]. 水力发电 , 2005 3(1) : 63-65 .
[2] 哈秋龄 , 包承纲 , 饶冠生 , 等 . 长江三峡工程关键技术研究 [M]. 广州 : 广东科技出版社 , 2002 .
[3] 孙大伟 , 邓海峰 , 田斌 , 等 . 大河水电站深覆盖层上面板堆石坝变形和应力性状分析 [J]. 岩土工程学报 , 2008 , 30(3) : 434-439 .
[4] 杨泽艳 , 蒋国澄 . 洪家渡 200 m 级高面板堆石坝变形控制技术 [J]. 岩土工程学报 , 2008 30(8) : 1241-1247 .
[5] 郦能惠 , 孙大伟 , 李登华 , 等 . 300m 级超高面板堆石坝变形规律的研究 [J]. 岩土工程学报 , 2009 31(2) : 155-160 .
[6] DUNCAN J M , CHANG C Y . Nonlinear analysis of stress and strain in soils [J]. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division , ASCE , 1970 96(5) : 1629-1653 .
[7] 费康 , 张建伟 . ABAQUS 在岩土工程中的应用 [M]. 北京 : 中国水利水电出版社 , 2010 94-110 .
[8] 王金昌 , 陈页开 . ABAQUS 在土木工程中的应用 [M]. 浙江 : 浙江大学出版社 , 2006 60-67 .

(收稿日期 2010-06-03 编辑 : 高建群)

(上接第 52 页)

c. 维持保护地土壤 pH 值种植前后稳定的水肥措施如下 : 灌水定额为 $170.71 \text{ m}^3 / (\text{hm}^2 \cdot \text{次})$, 施氮量为 $235.98 \text{ kg} / \text{hm}^2$, 施 P_2O_5 为 $239.38 \text{ kg} / \text{hm}^2$ 。

参考文献 :

[1] 穆兴民 . 水肥耦合效应与协同管理 [M]. 北京 : 中国林业出版社 , 1999 18-19 , 38 .
[2] 赵兰坡 . 土壤学 [M]. 北京 : 北京农业大学出版社 , 1993 : 73 .
[3] GUO Jing-hui , LIU Xue-jun , ZHANG Yan , et al . Significant acidification in major Chinese cropland [J]. Science , 2010 , 327 : 1008-1010 .
[4] 范庆锋 , 张玉龙 , 陈重 . 保护地蔬菜栽培对土壤盐分积累及 pH 值的影响 [J]. 水土保持学报 , 2009 23(1) : 103-106 .
[5] 范庆锋 , 张玉龙 , 陈重 , 等 . 保护地土壤盐分积累及其离子组成对土壤 pH 值的影响 [J]. 干旱地区农业研究 , 2009 27(1) : 16-20 .
[6] 李粉茹 , 于群英 , 邹长明 . 设施菜地土壤 pH 值、酶活性和氮磷养分含量的变化 [J]. 农业工程学报 , 2009 , 25(1) : 217-222 .
[7] 邓玉龙 , 张乃明 . 设施土壤 pH 值与有机质演变特征研究 [J]. 生态环境 , 2006 15(2) : 367-370 .
[8] 易小琳 , 李酉开 , 韩琅丰 . 紫外分光光度法测定土壤硝态氮 [J]. 土壤通报 , 1983(6) : 35-40 .

[9] 鲍士旦 . 土壤农化分析 [M]. 北京 : 中国农业出版社 , 2000 54-56 .
[10] 南京农业大学编写组 . 土壤农化分析 [M]. 北京 : 农业出版社 , 1990 29-109 .
[11] 中国科学院南京土壤研究所编写组 . 土壤理化分析 [M]. 上海 : 上海科学技术出版社 , 1980 62-156 .
[12] 王兴仁 . 现代肥料试验设计 [M]. 北京 : 农业出版社 , 1996 164-190 .
[13] 王丽娜 , 张玉龙 , 范庆锋 , 等 . 淋洗状态下保护地土壤 pH 与盐分含量及其组成关系的研究 [J]. 节水灌溉 , 2009 , (6) : 8-11 , 15 .

(收稿日期 2010-03-24 编辑 : 方宇彤)

