

# 氮磷钾肥对脱毒生姜产量及农艺性状的影响

李德文<sup>1,2</sup>, 王少铭<sup>1,2</sup>, 罗莉斯<sup>1,2</sup>, 冷家归<sup>1,2</sup>, 侯颖辉<sup>1,2</sup>, 李晋华<sup>1,2</sup>

(1. 贵州省农业科学院香料研究所 贵阳 550006; 2. 贵州省农业科学院油料研究所 贵阳 550006)

**摘要:** 探明脱毒生姜在贵州黔中生态区最佳氮、磷、钾肥施用量及其配比, 为脱毒生姜高产栽培提供施肥参考。以脱毒生姜新品系黔姜 181 为材料, 采用“3414”试验设计, 研究氮、磷、钾肥不同施用量及其配比对脱毒生姜产量和农艺性状的影响。结果表明, 影响脱毒生姜根状茎产量的营养元素顺序为氮>钾>磷, N<sub>1</sub> 处理的产投比、偏生产力和农学利用率均最高, 分别达 33.05、157.90、76.13 kg·kg<sup>-1</sup>, 氮肥施用过量, 其根状茎产量反而下降; 在适宜施氮量基础上, 增施磷、钾肥有利于提高脱毒生姜黔姜 181 的茎叶质量和根状茎质量, 以 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>3</sub> 处理的根状茎产量和纯收入最高, 总产值达 14 062.05 元·667 m<sup>-2</sup>, 产投比值为 2.40。脱毒生姜新品系黔姜 181 在黔中生态区的最佳施肥方案是纯 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 分别为 32.75、16.49、41.19 kg·667 m<sup>-2</sup>, 即 N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O 质量比为 2.0:1.0:2.5 时, 根状茎产量在 2 858.00 kg·667 m<sup>-2</sup> 以上, 纯收入达 8 000 元·667 m<sup>-2</sup>。

**关键词:** 脱毒生姜; “3414”试验; 氮磷钾肥; 产量; 农艺性状

中图分类号: S632.5 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2022)04-063-07

## Effects of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizer on yield and agronomic characters of virus-free ginger

LI Dewen<sup>1,2</sup>, WANG Shaoming<sup>1,2</sup>, LUO Lisi<sup>1,2</sup>, LENG Jiagui<sup>1,2</sup>, HOU Yinghui<sup>1,2</sup>, LI Jinhua<sup>1,2</sup>

(1. Spice Crops Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, Guizhou, China; 2. Oil Crops Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, Guizhou, China)

**Abstract:** A “3414” experiment was conducted to discover the best application rate and ratio of nitrogen, phosphorus and potassium for ginger production using a virus-free cultivar Qianjiang 181 in central Guizhou area. The results showed that with proper nitrogen application rate, increasing phosphorus and potassium rate was beneficial to increase the stem and leaf weight and ginger rhizome weight. The order of nutrient elements affecting the yield is nitrogen > potassium > phosphorus, and the yield and net income of N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>3</sub> treatment were the highest, the gross income was 14 062.05 yuan per 667 m<sup>2</sup> and the ratio of return was 2.40. The yield of ginger rhizomes decreased under excessive application of nitrogen fertilizer. The N<sub>1</sub> treatment had the highest return ratio, partial productivity and agronomy utilization ratio, 33.05, 157.90 kg·kg<sup>-1</sup> and 76.13 kg·kg<sup>-1</sup>, respectively. The best fertilization rate per 667 m<sup>2</sup> in central Guizhou was pure N 32.75 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 16.49 kg and K<sub>2</sub>O 41.19 kg, at mass ratio N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 2:1:2.5. The ginger yield per 667 m<sup>2</sup> from virus-free stock of Qianjiang 181 was over 2 858.00 kg, and the net income per 667 m<sup>2</sup> was 8 000.00 Yuan.

**Key words:** Virus-free ginger; “3414” experiment; Nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers; Yield; Agronomic characters

生姜(*Zingiber officinale* Rosc.)为姜科姜属多年生草本植物, 食用器官为地下肉质根状茎, 是一种调味蔬菜, 也是医药、化工及食品工业的重要原料。生姜具有芳香的辛辣风味, 可加工制成姜干、姜粉、姜汁、姜油、糖姜片等, 有除腥、去臊、去臭作用和解毒、散寒、温胃、发汗、止呕等药效<sup>[1-3]</sup>。中国是世界上生姜栽培面积最大且生产总量最多的国

家, 2018 年全国种植面积 29.9 万 hm<sup>2</sup>, 生姜产量约 846 万 t, 平均产量 1886 kg·667 m<sup>-2</sup>; 国内销售比例占 71%, 用于调味鲜食, 北方市场以销售大姜为主, 南方市场倾向小黄姜<sup>[4]</sup>。贵州省生姜种植面积约 2.67 万 hm<sup>2</sup>, 被列为贵州省蔬菜产业八大单品之一, 主要分布在安顺、六盘水、黔南和黔西南等地区, 主栽品种类型为密苗型小黄姜<sup>[5]</sup>。由于生姜以根状茎

收稿日期: 2021-05-11; 修回日期: 2022-03-12

基金项目: 贵州省科技支撑项目(黔科合支撑[2019]2391 号); 贵州省科技支撑项目(黔科合支撑[2021]一般 260); 贵州省科技平台及人才团队计划(黔科合平台人才[2017]5713)

作者简介: 李德文, 男, 副研究员, 主要从事辛香料资源鉴定与栽培技术研究。E-mail: lidewen08@163.com

为繁殖材料,长期无性繁殖会造成种性退化,种姜多带病毒,导致生姜的产量和品质逐渐下降,制约了生姜产业的发展。培育脱毒种可有效减少种姜的病毒,达到提高生姜产量和品质的双重目的<sup>[6]</sup>。贵州省农业科学院香料研究所从地方品种贞丰小黄姜中选择优良单株根状茎,采用茎尖脱毒法培育出脱毒生姜新品系黔姜 181,适宜在贵州喀斯特地区推广种植。氮、磷、钾是植物生长发育所必需的大量元素,在其生长发育过程中发挥着不可替代的作用,氮、磷、钾用量及其比例对生姜生长及产量有显著的影响<sup>[7-8]</sup>。李录久<sup>[9]</sup>认为施用适量氮、磷、钾能有效促进不同品种生姜的生长发育,显著提高生姜根状茎产量,氮肥和钾肥均远高于磷肥的增产效应,并且不同品种生姜根状茎产量需肥量和比例存在较大差异。邵海南等<sup>[10]</sup>认为施肥能显著提升生姜的株高、分枝数与产量,当每 667 m<sup>2</sup> 施入氮、磷、钾肥的量分别为 44.68、38.91、52.34 kg 时,生姜产量最高。张薇<sup>[11]</sup>认为不同施肥处理对生姜植株生长量存在显著差异,每 667 m<sup>2</sup> 施腐殖酸 200 kg,生姜产量达 6 303.48 kg·667 m<sup>2</sup>,比不施腐殖酸的产量增加了 24.21%;每 667 m<sup>2</sup> 施控释肥 200 kg 的生姜产量达 5 994.21 kg·667 m<sup>2</sup>,较普通复合肥增产 5.23%。

“3414”肥效试验是农业部测土配方施肥技术规范推荐使用的研究方案,利用该试验方案既可进行作物产量与氮、磷、钾用量的三元二次肥料效应回归方程拟合,也可分别进行氮、磷、钾中任意二元或一元肥料效应回归方程的拟合,具有回归最优设计处理少、效率高的优点<sup>[12]</sup>,广泛用于西瓜<sup>[13]</sup>、白菜<sup>[14]</sup>、水稻<sup>[15]</sup>、油菜<sup>[16]</sup>、桔梗<sup>[17]</sup>等作物的施肥推荐研究。在生姜生产上存在盲目施肥现象,施肥过量与比例不合理现象突出,偏施氮肥而不施或少施磷钾肥,致使土壤中氮、磷、钾的有效含量失衡,多数土壤中呈现水碱氮含量偏高而有效磷、有效钾含量偏低的情况。既造成了大量氮营养流失,又增加了肥料投入成本,严重影响了生姜产量和经济效益<sup>[18]</sup>。不同生姜品种对养分的需求并不一致,且受土壤、施肥方式和气候条件等因素影响。贵州属于典型的喀斯特地区,山地立体气候明显,需要对密苗型小黄姜开展氮磷钾施肥试验。为了充分发挥氮、磷、钾肥对脱毒生姜的增产效应,有必要制定最佳施肥方案。笔者以脱毒生姜新品系黔姜 181 为试验材料,于 2019 年在贵州省安顺市普定县开展了脱毒生姜氮磷钾“3414”肥料试验,探讨不同氮、磷、钾施用量及对比对脱毒生姜产量及主要农艺性状

的影响,以期能为脱毒生姜在贵州黔中生态区高产栽培提供施肥参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验设在贵州省安顺市普定县太平农场旱地中,海拔 1260 m,属于亚热带季风湿润气候,年平均气温 15.1 ℃,年平均日照时数 1 164.9 h,无霜期 301 d,年平均降水 1 378.2 mm。试验地前作为薏仁米,黄壤土,土壤肥力中等。据贵州省农业科学院农业资源与环境检测中心分析,土壤 pH 值 5.91,有机质含量(*w*,后同)28.5 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮含量 141.67 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷含量 39.10 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾含量 146.81 mg·kg<sup>-1</sup>,土壤弱酸性,有机质和速效钾含量中等,碱解氮和有效磷含量丰富<sup>[19]</sup>。

### 1.2 材料

供试材料为脱毒生姜新品系黔姜 181,属于密苗型小黄姜类型,由贵州省农业科学院香料研究所提供,选择不干裂、不腐烂、未受冻、质地硬、无病虫害和无机损伤的根茎用于试验。试验肥料为尿素(含 N 46.4%,贵州赤天化股份有限公司生产),过磷酸钙(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 16%,贵州开磷有限责任公司生产),农用硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O 51%,国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司生产)。

### 1.3 试验设计

采用“3414”肥料效应试验方案,“3414”是指 N、P、K 3 个因素,每个因素设 4 个水平(即设 0 水平为不施肥,2 水平为当地最佳施肥量的近似值,1 水平=2 水平×0.5,3 水平=2 水平×1.5),共 14 个处理(表 1),2 次重复,随机区组排列,小区面积 20 m<sup>2</sup> (4.80 m×4.17 m),开沟直播,行距 60 cm,株距 20 cm,每 667 m<sup>2</sup> 种植密度 5500 株,四周种植保护行。

设 667 m<sup>2</sup> 纯 N 施用水平分别为 0、15、30、45 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 施用水平分别为 0、7.5、15、22.5 kg, K<sub>2</sub>O 施用水平分别为 0、15、30、45 kg。

### 1.4 方法

2019 年 3 月 28 日按试验设计播种,每 667 m<sup>2</sup> 施腐熟农家肥 1000 kg。先开好第一条沟,沟深 15 cm,将准备好的姜块放入沟内,每行放 20 块种姜,然后将腐熟农家肥、全部磷肥和 30%钾肥放在姜块之间,再按行距开第 2 条沟,用沟土覆盖第 1 条沟,覆土厚度 5 cm。脱毒生姜于 5 月 16 日出苗,6 月 10 日追施 30%氮肥作提苗肥;7 月 15 日追施 40%氮肥和 40%钾肥,结合中耕除草,起垄培土 1 次;8 月 20

表1 “3414”肥效试验各处理施肥水平和施肥量

| 序号 | 处理   | 养分施用量/<br>(kg·667 m <sup>-2</sup> ) |                               |                  | 小区施用量/<br>(kg·20 m <sup>-2</sup> ) |      |      |
|----|--|-------------------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------------------|------|------|
|    |  | N                                   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | 尿素                                 | 过磷酸钙 | 硫酸钾  |
| 1  | N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> | 0.00                                | 0.00                          | 0.00             | 0.00                               | 0.00 | 0.00 |
| 2  | N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 0.00                                | 15.00                         | 30.00            | 0.00                               | 2.81 | 1.76 |
| 3  | N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 15.00                               | 15.00                         | 30.00            | 0.97                               | 2.81 | 1.76 |
| 4  | N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub> | 30.00                               | 0.00                          | 30.00            | 1.94                               | 0.00 | 1.76 |
| 5  | N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub> | 30.00                               | 7.50                          | 30.00            | 1.94                               | 1.41 | 1.76 |
| 6  | N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 30.00                               | 15.00                         | 30.00            | 1.94                               | 2.81 | 1.76 |
| 7  | N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub> | 30.00                               | 22.50                         | 30.00            | 1.94                               | 4.22 | 1.76 |
| 8  | N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub> | 30.00                               | 15.00                         | 0.00             | 1.94                               | 2.81 | 0.00 |
| 9  | N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub> | 30.00                               | 15.00                         | 15.00            | 1.94                               | 2.81 | 0.88 |
| 10 | N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub> | 30.00                               | 15.00                         | 45.00            | 1.94                               | 2.81 | 2.64 |
| 11 | N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 45.00                               | 15.00                         | 30.00            | 2.91                               | 2.81 | 1.76 |
| 12 | N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub> | 15.00                               | 7.50                          | 30.00            | 0.97                               | 1.41 | 1.76 |
| 13 | N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub> | 15.00                               | 15.00                         | 15.00            | 0.97                               | 2.81 | 0.88 |
| 14 | N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> | 30.00                               | 7.50                          | 15.00            | 1.94                               | 1.41 | 0.88 |

日根状茎膨大初期追施 30%氮肥和 30%钾肥,起垄培土 1 次。病虫害防治与常规生姜栽培相同。11 月 20 日在小区中间行连续取样 10 株,参照《姜种质资源描述规范和数据标准》<sup>[20]</sup>调查主要农艺性状,并对小区内根状茎称重测产。

1.5 数据处理

数据统计分析采用 Excel 2010 软件、测土配方施肥“3414”试验分析器 SG2.2 和 DPS v18.10 数据处理系统。有关参数的计算方法:氮肥偏生产力=施氮区产量/施氮量,氮肥农学利用率=(施氮区产量-缺氮区产量)/施氮量,磷、钾肥的参数计算方法与氮肥一致<sup>[21]</sup>,偏生产力和农学利用率的单位均为 kg·kg<sup>-1</sup>。

2 结果与分析

2.1 各处理对脱毒生姜主要农艺性状的影响

从表 2 可知,脱毒生姜黔姜 181 的主要农艺性状均以不施肥处理为最低,差异显著性分析表明,与不施肥处理(N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>)相比,增施氮磷钾肥对脱毒生姜黔姜 181 的分枝数、主茎茎粗、主茎叶片数、茎叶质量和根状茎质量均有显著影响。当磷、钾肥均处于最佳水平(P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>)时,脱毒生姜黔姜 181 的株高、分枝数、主茎叶片数、叶长、叶宽和茎叶质量均随氮肥用量的增加而增加;而主茎茎粗、根状茎长、根状茎宽和根状茎质量均是先增加后减少,且均在处理 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 时达到最大。当氮、钾肥均处于最佳水平(N<sub>2</sub>K<sub>2</sub>)时,其茎叶质量和根状茎质量随磷肥用量的增加而增加,其余农艺性状呈不规律变化。当氮、磷肥均处于最佳水平(N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>)时,其叶长和根状茎质量随钾肥用量的增加而增加,叶宽和根状茎宽是先增加后减少,其余农艺性状呈不规律变化。表明在适宜施氮量基础上,增施磷、钾肥有利于提高脱毒生姜黔姜 181 的茎叶质量和根状茎质量。

2.2 各处理对脱毒生姜产量和经济效益的影响

由表 3 可知,不同氮磷钾处理间根状茎产量差异达显著水平。其中,N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>3</sub> 处理脱毒生姜黔姜 181 根状茎产量最高,达 2 812.41 kg·667 m<sup>-2</sup>;第 2 位是 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理,根状茎产量为 2 778.39 kg·667 m<sup>-2</sup>;第 3 位是 N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub> 处理,根状茎产量为 2 711.02 kg·667 m<sup>-2</sup>。

不施肥处理(N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>)脱毒生姜黔姜 181 的根状茎产量只有 1 053.86 kg·667 m<sup>-2</sup>,缺氮处理(N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>)的产量为 1 226.95 kg·667 m<sup>-2</sup>,缺磷处理(N<sub>2</sub>P<sub>0</sub>K<sub>2</sub>)的产

表2 脱毒生姜主要农艺性状

| 处理   | 株高/cm      | 分枝数      | 主茎茎粗/cm   | 主茎叶片数      | 叶长/cm      | 叶宽/cm     | 根状茎长/cm    | 根状茎宽/cm  | 茎叶质量/g   | 根状茎质量/g     |
|--|------------|----------|-----------|------------|------------|-----------|------------|----------|----------|-------------|
| N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> | 72.05 g    | 7.10 f   | 0.96 f    | 22.00 f    | 22.83 g    | 2.87 d    | 17.60 g    | 8.40 e   | 187.20 b | 273.50 e    |
| N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 76.00 fg   | 8.30 ef  | 1.04 e    | 24.40 e    | 22.96 g    | 2.92 cd   | 18.20 fg   | 8.80 de  | 210.30 b | 303.70 e    |
| N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 77.40 efg  | 9.20 de  | 1.06 de   | 26.70 bc   | 23.56 efg  | 2.95 cd   | 20.60 abc  | 10.40 ab | 333.50 a | 475.50 d    |
| N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub> | 82.70 cde  | 9.40 de  | 1.15 abc  | 26.40 bcd  | 23.19 fg   | 3.10 abc  | 19.40 cdef | 9.80 bc  | 369.60 a | 543.50 bed  |
| N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub> | 85.70 abc  | 9.90 cde | 1.21 a    | 26.80 bc   | 25.21 ab   | 3.26 a    | 20.00 cd   | 9.60 bcd | 384.50 a | 612.30 abc  |
| N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 84.60 bcd  | 11.30 bc | 1.17 abc  | 27.80 b    | 25.07 abc  | 3.22 a    | 21.40 ab   | 10.80 a  | 391.70 a | 641.50 ab   |
| N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub> | 91.30 a    | 10.40 cd | 1.22 a    | 27.00 bc   | 25.46 a    | 3.19 ab   | 19.80 cde  | 9.60 bcd | 396.10 a | 641.80 ab   |
| N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub> | 83.30 bcde | 10.60 cd | 1.20 ab   | 26.20 bcde | 24.32 bcde | 3.20 ab   | 20.00 cd   | 9.60 bcd | 368.50 a | 552.10 abcd |
| N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub> | 79.10 def  | 12.60 ab | 1.11 cde  | 25.20 cde  | 24.95 abc  | 3.21 a    | 19.90 cd   | 9.70 bc  | 396.20 a | 606.50 abc  |
| N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub> | 83.80 bcde | 14.20 a  | 1.12 bcde | 28.00 ab   | 25.30 ab   | 3.18 ab   | 21.80 a    | 10.40 ab | 402.90 a | 671.20 a    |
| N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 87.30 abc  | 12.70 ab | 1.14 abcd | 29.80 a    | 25.61 a    | 3.24 a    | 18.60 efg  | 9.00 cde | 406.50 a | 528.50 bcd  |
| N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub> | 78.10 defg | 10.40 cd | 1.09 cde  | 25.20 cde  | 24.14 cdef | 3.07 abcd | 19.00 def  | 9.60 bcd | 353.50 a | 508.50 cd   |
| N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub> | 89.80 ab   | 9.60 cde | 1.16 abc  | 24.60 de   | 23.85 defg | 2.99 bcd  | 20.20 bcd  | 9.80 bc  | 360.80 a | 509.80 cd   |
| N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> | 79.00 def  | 10.80 cd | 1.11 cde  | 25.80 cde  | 24.73 abcd | 3.12 abc  | 20.60 abc  | 10.80 a  | 380.40 a | 585.60 abcd |

注:表中同列数据后不同小写字母表示处理间达 0.05 差异显著水平。下同。

表3 各处理小区根状茎产量

| 处理   | 小区平均产量/kg | 667 m <sup>2</sup> 产量/kg | 排位 |
|--|-----------|--------------------------|----|
| N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> | 31.60     | 1 053.86 f               | 14 |
| N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 36.79     | 1 226.95 e               | 13 |
| N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 71.03     | 2 368.85 bc              | 8  |
| N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 69.35     | 2 312.82 c               | 10 |
| N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub> | 80.38     | 2 680.67 a               | 4  |
| N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub> | 83.31     | 2 778.39 a               | 2  |
| N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub> | 81.29     | 2 711.02 a               | 3  |
| N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>0</sub> | 61.62     | 2 055.03 d               | 12 |
| N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>1</sub> | 71.95     | 2 399.53 bc              | 7  |
| N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub> | 84.33     | 2 812.41 a               | 1  |
| N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 73.60     | 2 454.56 bc              | 6  |
| N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub> | 70.56     | 2 353.18 bc              | 9  |
| N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub> | 69.29     | 2 310.82 c               | 11 |
| N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> | 74.68     | 2 490.58 b               | 5  |

量为 2 312.82 kg·667 m<sup>2</sup>,缺钾处理(N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>0</sub>)的产量为 2 055.03 kg·667 m<sup>2</sup>,分别比 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理的根状茎产量减产 1 724.53、1 551.44、465.57、723.36 kg·667 m<sup>2</sup>,减产率依次为 62.07%、55.84%、16.76%、26.04%。这表明缺氮对脱毒生姜黔姜 181 的根状茎产量影响最大,其次是缺钾,而缺磷的影响相对较小。与不施肥相比,氮磷钾肥配合施用能够显著提高脱毒生姜黔姜 181 的根状茎产量水平。

从表 4 可以看出,在田间管理一致时,以 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>3</sub> 处理条件下脱毒生姜黔姜 181 的总产值和纯收入均最高,每 667 m<sup>2</sup> 分别为 14 062.05 元和 8 199.35 元,产投比值为 2.4;其次是 N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub> 处

理,总产值为 13 891.95 元·667 m<sup>2</sup>,纯收入为 8 170.40 元·667 m<sup>2</sup>,产投比值最高,为 2.43;第三是 N<sub>2</sub>P<sub>3</sub>K<sub>2</sub> 处理,总产值为 13 555.10 元·667 m<sup>2</sup>,纯收入为 7 786.67 元·667 m<sup>2</sup>,产投比值为 2.35;第四是 N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub> 处理,总产值为 13 403.35 元·667 m<sup>2</sup>,纯收入为 7 728.67 元·667 m<sup>2</sup>,产投比值为 2.36;而 N<sub>3</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理每 667 m<sup>2</sup> 的总产值为 12 272.80 元,纯收入为 6 478.50 元,比 N<sub>2</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理的纯收入减少 1 691.90 元·667 m<sup>2</sup>。这表明当磷钾肥施用量处于最佳水平时,增施氮肥能够提高脱毒生姜黔姜 181 的总产值和纯收入,但是氮肥施用过量,单位面积内的总产值和纯收入反而降低。

### 2.3 脱毒生姜产量-施肥数学模型

将产量结果进行回归分析,得出脱毒生姜黔姜 181 根状茎产量与 N、P、K 肥施用量的回归数学模型:  $y=1\ 062.92+74.10N+32.04P+12.10K+0.44NP+0.69NK+0.47PK-1.66N^2-1.94P^2-0.49K^2$ 。对回归方程进行检验,相关系数  $R^2=0.99$ ,  $F=76.45>F_{0.05}$ ,达显著水平,表明回归模型与实际吻合较好,可对其进行优化分析。在产量回归数学模型中,氮磷钾 3 因素中任意固定其中 2 个在“2”水平,变化另 1 个因素得到单因子模型如下:

氮肥的子模型为  $y=1\ 240.52+101.40N-1.66N^2$ ;

磷肥的子模型为  $y=2\ 334.92+59.34P-1.94P^2$ ;

钾肥的子模型为  $y=2\ 034.02+39.85K-0.49K^2$ 。

通过对子模型中常数项系数的比较,不施氮肥时脱毒生姜黔姜 181 的根状茎产量最低,产量为

表4 脱毒生姜肥效试验各处理的经济效益比较

(元·667 m<sup>2</sup>)

| 处理   | 产值        | 姜种       | 肥料     | 租地/犁地  | 人工费      | 总投入      | 纯收入      | 产投比  |
|--|-----------|----------|--------|--------|----------|----------|----------|------|
| N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> | 5 269.30  | 1 250.00 | 0.00   | 850.00 | 2 300.00 | 5 000.00 | 269.30   | 1.05 |
| N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 6 134.75  | 1 250.00 | 376.05 | 850.00 | 2 400.00 | 5 476.05 | 658.70   | 1.12 |
| N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 11 844.25 | 1 250.00 | 448.80 | 850.00 | 2 500.00 | 5 648.80 | 6 195.45 | 2.10 |
| N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 11 564.10 | 1 250.00 | 427.80 | 850.00 | 2 400.00 | 5 527.80 | 6 036.30 | 2.09 |
| N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub> | 13 403.35 | 1 250.00 | 474.68 | 850.00 | 2 500.00 | 5 674.68 | 7 728.67 | 2.36 |
| N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub> | 13 891.95 | 1 250.00 | 521.55 | 850.00 | 2 500.00 | 5 721.55 | 8 170.40 | 2.43 |
| N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub> | 13 555.10 | 1 250.00 | 568.43 | 850.00 | 2 500.00 | 5 768.43 | 7 786.67 | 2.35 |
| N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub> | 10 275.15 | 1 250.00 | 239.25 | 850.00 | 2 400.00 | 5 339.25 | 4 935.90 | 1.92 |
| N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub> | 11 997.65 | 1 250.00 | 380.40 | 850.00 | 2 500.00 | 5 580.40 | 6 417.25 | 2.15 |
| N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub> | 14 062.05 | 1 250.00 | 662.70 | 850.00 | 2 500.00 | 5 862.70 | 8 199.35 | 2.40 |
| N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub> | 12 272.80 | 1 250.00 | 594.30 | 850.00 | 2 500.00 | 5 794.30 | 6 478.50 | 2.12 |
| N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub> | 11 765.90 | 1 250.00 | 401.93 | 850.00 | 2 500.00 | 5 601.93 | 6 163.97 | 2.10 |
| N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub> | 11 554.10 | 1 250.00 | 307.65 | 850.00 | 2 500.00 | 5 507.65 | 6 046.45 | 2.10 |
| N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> | 12 452.90 | 1 250.00 | 333.53 | 850.00 | 2 500.00 | 5 533.53 | 6 919.37 | 2.25 |

注:2019年生姜 5 元·kg<sup>-1</sup>、纯 N 4.85 元·kg<sup>-1</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 6.25 元·kg<sup>-1</sup>、K<sub>2</sub>O 9.41 元·kg<sup>-1</sup>、农家肥 500 元·吨<sup>-1</sup>、人工费 100 元·d<sup>-1</sup>、姜种 250 kg·667 m<sup>2</sup>、农药 100 元·667 m<sup>2</sup>、租地费 700 元·667 m<sup>2</sup>、犁地 150 元·667 m<sup>2</sup>。

1 240.52 kg·667 m<sup>2</sup>;其次是不施钾肥,根状茎产量为 2 034.02 kg·667 m<sup>2</sup>;不施磷肥的根状茎产量相对较高,产量达 2 334.92 kg·667 m<sup>2</sup>。一次项系数为正数,反映了增施氮磷钾肥均能提高脱毒生姜黔姜 181 的根状茎产量,以施氮肥的增产效应最大。二次项系数为负数,反映了施肥并不是越多越好,当氮磷钾肥超过一定施用量时,其根状茎产量反而下降。

从图 1 肥效曲线和表 5 参数值可知,当 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、

K<sub>2</sub>O 固定在“2”水平,施用氮肥有利于提高脱毒生姜黔姜 181 的根状茎产量,增加单位面积收入。以 N<sub>2</sub> 处理的增加产值和纯收益均最高,每 667 m<sup>2</sup> 分别为 7 757.20 元和 7 511.70 元,其产投比为 31.60;N<sub>1</sub> 处理的产投比、偏生产力和农学利用率均最高,分别达 33.05、157.90 kg·kg<sup>-1</sup>、76.13 kg·kg<sup>-1</sup>;而 N<sub>3</sub> 处理的产投比、偏生产力和农学利用率均最低,分别为 19.29、54.50 kg·kg<sup>-1</sup>、27.28 kg·kg<sup>-1</sup>。每 667 m<sup>2</sup> 纯 N 施用量为 23.25~37.50 kg,脱毒生姜黔姜 181 的根

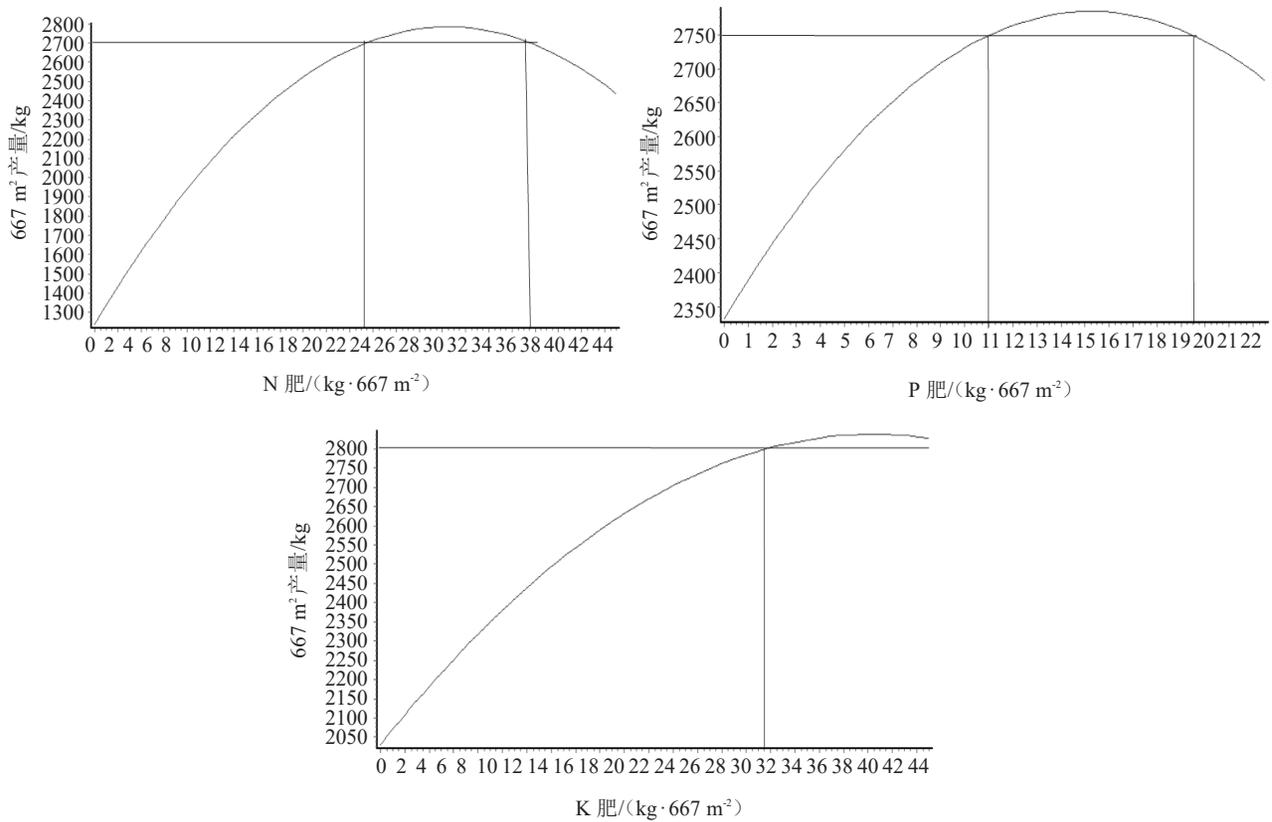


图 1 氮磷钾肥料效应曲线

表 5 氮磷钾肥不同施用量处理的参数值

| 处理             | 产量/<br>(kg·667 m <sup>2</sup> ) | 增加产量/<br>(kg·667 m <sup>2</sup> ) | 增加产值/<br>(元·667 m <sup>2</sup> ) | 增加投入/<br>(元·667 m <sup>2</sup> ) | 增加纯收益/<br>(元·667 m <sup>2</sup> ) | 产投比   | 偏生产力/<br>(kg·kg <sup>-1</sup> ) | 农学利用率/<br>(kg·kg <sup>-1</sup> ) |
|----------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-------|---------------------------------|----------------------------------|
| N <sub>0</sub> | 1 226.95                        |                                   |                                  |                                  |                                   |       |                                 |                                  |
| N <sub>1</sub> | 2 368.85                        | 1 141.90                          | 5 709.50                         | 172.75                           | 5 536.75                          | 33.05 | 157.90                          | 76.13                            |
| N <sub>2</sub> | 2 778.39                        | 1 551.44                          | 7 757.20                         | 245.50                           | 7 511.70                          | 31.60 | 92.60                           | 51.71                            |
| N <sub>3</sub> | 2 454.56                        | 1 227.61                          | 6 138.05                         | 318.25                           | 5 819.80                          | 19.29 | 54.50                           | 27.28                            |
| P <sub>0</sub> | 2 312.82                        |                                   |                                  |                                  |                                   |       |                                 |                                  |
| P <sub>1</sub> | 2 680.67                        | 367.85                            | 1 839.25                         | 146.88                           | 1 692.37                          | 12.52 | 357.42                          | 49.05                            |
| P <sub>2</sub> | 2 778.39                        | 465.57                            | 2 327.85                         | 193.75                           | 2 134.10                          | 12.01 | 185.23                          | 31.04                            |
| P <sub>3</sub> | 2 711.02                        | 398.20                            | 1 991.00                         | 240.63                           | 1 750.37                          | 8.27  | 120.49                          | 17.70                            |
| K <sub>0</sub> | 2 055.03                        |                                   |                                  |                                  |                                   |       |                                 |                                  |
| K <sub>1</sub> | 2 399.53                        | 344.50                            | 1 722.50                         | 241.15                           | 1 481.35                          | 7.14  | 159.97                          | 22.97                            |
| K <sub>2</sub> | 2 778.39                        | 723.36                            | 3 616.80                         | 382.30                           | 3 234.50                          | 9.46  | 92.61                           | 24.11                            |
| K <sub>3</sub> | 2 812.41                        | 757.38                            | 3 786.90                         | 523.45                           | 3 263.45                          | 7.23  | 62.50                           | 16.83                            |

注:增加投入=增加肥料成本+增加施肥人工成本,产投比=增加产值/增加投入。

状茎产量达  $2\ 700.00\ \text{kg}\cdot 667\ \text{m}^2$ , 但纯 N 施用量超过  $32.00\ \text{kg}\cdot 667\ \text{m}^2$  时, 根状茎产量开始下降。当 N、 $\text{K}_2\text{O}$  固定在“2”水平, 适当增施磷肥有利于提高脱毒生姜黔姜 181 的根状茎产量, 以  $\text{P}_2$  处理的增加产值和纯收益均最高, 每  $667\ \text{m}^2$  分别为  $2\ 327.85$  元和  $2\ 134.10$  元, 其产投比为 12.01;  $\text{P}_1$  处理的产投比、偏生产力和农学利用率均最高, 分别达 12.52、 $357.42\ \text{kg}\cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $49.05\ \text{kg}\cdot \text{kg}^{-1}$ ; 而  $\text{P}_3$  处理的产投比、偏生产力和农学利用率均最低, 分别为 8.27、 $120.49\ \text{kg}\cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $17.70\ \text{kg}\cdot \text{kg}^{-1}$ 。每  $667\ \text{m}^2\ \text{P}_2\text{O}_5$  施用量为  $11.00\sim 19.50\ \text{kg}$ , 脱毒生姜黔姜 181 的根状茎产量达  $2\ 750.00\ \text{kg}\cdot 667\ \text{m}^2$ , 但  $\text{P}_2\text{O}_5$  施用量超过  $16.00\ \text{kg}\cdot 667\ \text{m}^2$  时, 根状茎产量开始下降。当 N、 $\text{P}_2\text{O}_5$  固定在“2”水平, 增施钾肥能够提高脱毒生姜黔姜 181 的根状茎产量, 以  $\text{K}_3$  处理的增加产值和纯收益均最高, 每  $667\ \text{m}^2$  分别为  $3\ 786.90$  元和  $3\ 263.45$  元, 其产投比为 7.23; 当  $667\ \text{m}^2\ \text{K}_2\text{O}$  施用量为  $31.50\ \text{kg}$  时, 脱毒生姜黔姜 181 的根状茎产量达  $2\ 800.00\ \text{kg}\cdot 667\ \text{m}^2$ , 继续增加  $\text{K}_2\text{O}$  施用量, 根状茎产量增幅不明显。

综合比较氮、磷、钾肥交互效应的影响, 每  $667\ \text{m}^2$  纯 N、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  各单因子最大施用量分别为 33.81、17.41、44.28 kg, 脱毒生姜黔姜 181 的根状茎产量达  $2\ 862.19\ \text{kg}\cdot 667\ \text{m}^2$ 。在考虑肥料和生姜价格的情况下, 通过对回归数学模型求导, 得出脱毒生姜黔姜 181 在黔中生态区高产栽培的最佳施肥方案为纯 N、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  分别为 32.75、16.49、41.19  $\text{kg}\cdot 667\ \text{m}^2$ , 即 N、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  质量比为 2.0:1.0:2.5 时, 脱毒生姜黔姜 181 根状茎产量达  $2\ 858.00\ \text{kg}\cdot 667\ \text{m}^2$  以上。

### 3 讨论与结论

氮对生姜产量影响较大。氮素供应不足, 则植株矮小, 叶色发黄, 生长势弱, 分枝少, 地下根状茎小, 产量低。氮素用量过多, 主要促进了地上茎叶的生长, 而地下根状茎质量显著下降, 产量降低<sup>[22]</sup>。氮肥供应适量时, 生姜植株生长健壮, 叶片肥厚、叶色深绿, 地下根状茎膨大快, 产量高。磷在促进生姜同化产物的转运方面有重要作用。磷供应充足时, 前期促进生姜根系的生长, 后期促进根状茎的生长, 促使茎秆和叶片中的光合产物向根状茎中转运分配, 提高产量。缺磷时, 生姜叶色暗绿, 植株矮小, 根状茎发育不良, 产量低。钾能促进地下根状茎的膨大<sup>[23]</sup>。钾供应充足时, 生姜叶片肥厚, 茎秆粗

壮, 分枝增多, 抗逆性增强, 产量高。缺钾时叶片易干枯脱落, 根状茎膨大不良, 产量低。

本研究结果表明, 在黔中生态区适当施氮能够促进脱毒生姜黔姜 181 植株的生长, 增加分枝数、主茎叶片数和茎叶质量; 氮肥施用过多使地上茎叶徒长, 导致地下根状茎生长不充实而影响产量。在适宜的施氮量基础上, 增施磷钾肥对脱毒生姜黔姜 181 的分枝数、主茎茎粗、主茎叶片数、茎叶鲜质量和根状茎鲜质量均有显著影响。当生姜进入旺盛生长期, 生长速度加快, 分枝数和叶片数大量增加, 根状茎迅速膨大, 追施氮肥和钾肥对生姜产量提升具有重要作用。本试验得出影响脱毒生姜黔姜 181 产量的营养元素顺序为氮>钾>磷, 同李录久<sup>[9]</sup>的研究结论一致, 但与徐坤等<sup>[24]</sup>、张西平等<sup>[25]</sup>的研究结论不一致, 这可能是贵州省的生态气候条件和土壤肥力水平与北方不一样, 同时密苗型小黄姜与疏苗型大姜在氮磷钾的吸收利用上不一样, 具体原因需进一步研究。

当田间管理一致时, 脱毒生姜黔姜 181 产值和纯收入均以  $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_3$  处理为最高, 每  $667\ \text{m}^2$  分别为  $14\ 062.05$  元和  $8\ 199.35$  元; 其次是  $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$  处理, 每  $667\ \text{m}^2$  总产值  $13\ 891.95$  元, 纯收入  $8\ 170.40$  元; 而  $\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2$  处理、 $\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_2$  处理的纯收入分别比  $\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$  处理减少  $1\ 691.9\ \text{元}\cdot 667\ \text{m}^2$  和  $383.73\ \text{元}\cdot 667\ \text{m}^2$ 。在有效钾含量偏低的土壤中施用钾肥能够显著增加单位面积内脱毒生姜黔姜 181 的产值和纯收入, 但氮肥和磷肥施用过均会减少脱毒生姜黔姜 181 的产值和纯收入。氮磷钾肥配施能够大幅度提高脱毒生姜黔姜 181 的根状茎产量, 但施肥并非越多越好, 当超过一定量时脱毒生姜黔姜 181 的根状茎产量及经济效益反而下降。在实际生产应用上, 要根据当地的气候条件和土壤营养元素的有效含量适当调整氮磷钾肥施用量及比例。同时, 微量元素对生姜生长和产量也有较大影响, 在缺硼、缺锌土壤上增施硼肥和锌肥, 能促进生姜的生长发育, 株高增加, 分枝数增多, 姜球大而圆。

生姜根状茎中含有挥发性的精油和非挥发性的姜辣素物质, 精油呈现出生姜的芳香气味, 姜辣素呈现出生姜的辛辣风味。前人<sup>[9-11]</sup>研究表明, 氮对生姜挥发性精油及姜辣素含量影响较大, 钾次之, 磷影响程度较小。适量氮、磷、钾能明显提高收获期生姜根状茎挥发性精油及主要生育期姜辣素含量, 还能提高根状茎的蛋白质、维生素 C 和总糖含量, 提升生姜的综合品质; 施氮过量, 根状茎挥发性

精油含量明显下降。笔者未对生姜根状茎的品质指标进行分析,下一步应开展氮磷钾肥不同配比及施用时期对生姜品质性状的影响研究。

综上所述,在考虑肥料和生姜价格的情况下,脱毒生姜新品系黔姜 181 在贵州黔中生态区的最佳施肥方案为纯 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 分别为 32.75、16.49、41.19 kg·667 m<sup>2</sup>,即 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 质量比为 2.0:1.0:2.5 时,脱毒生姜新品系黔姜 181 根状茎产量达 2 858.00 kg·667 m<sup>2</sup>以上,667 m<sup>2</sup>纯收入 8 000.00 元。

#### 参考文献

- [1] 彭长江,李坤清.图说南方生姜高效栽培[M].北京:金盾出版社,2012.
- [2] 周陆红,李萌,韩太利,等.生姜加工产品应用研究现状与前景展望[J].蔬菜,2021(1):51-57.
- [3] 刘燃,李洪雷,袁继荣,等.调味料生姜新品种渝姜 4 号的选育[J].中国瓜菜,2021,34(9):107-110.
- [4] 刘帅,陈明均,贺坦,等.2018 年我国生姜市场回顾与 2019 年行情展望[J].中国蔬菜,2019(2):1-4.
- [5] 李德文,王少铭,罗莉斯,等.小黄姜高产高效示范与栽培技术[J].耕作与栽培,2018(2):58-60.
- [6] 罗天宽,张小玲.生姜脱毒与高产高效栽培[M].北京:中国农业出版社,2009.
- [7] 李录久,胡永年,徐志斌,等.生姜氮磷钾平衡施肥技术研究[J].安徽农业科学,2002,30(6):863-864.
- [8] 郭衍银,徐坤,王秀峰,等.生姜对氮磷钾缺乏的反应[J].土壤肥料,2004(1):7-9.
- [9] 李录久.施用氮磷钾对生姜产量和品质的影响[D].北京:中国农业科学院,2009.
- [10] 邵海南,刘雲祥,咸文荣.施肥水平对生姜产量和品质的影响[J].青海大学学报,2021,39(5):51-56.
- [11] 张薇.腐植酸与控释肥配施对生姜产量品质的影响[D].山东泰安:山东农业大学,2021.
- [12] 张福锁.测土配方施肥技术[M].北京:中国农业出版社,2011.
- [13] 邓云,孙德玺,朱迎春,等.“3414”肥效试验对西瓜产量的影响及推荐施肥量分析[J].中国瓜菜,2013,26(3):16-19.
- [14] 杜公福,吕延超,韩旭,等.夏秋季黑叶小白菜优化配方施肥初探[J].中国瓜菜,2019,32(9):45-49.
- [15] 吴寿华,范晓晖,吴国灿,等.福建省福安市水稻“3414”肥料效应试验[J].湖南农业科学,2019(8):42-45.
- [16] 陈国徽,谌湘泽,许天福,等.油菜浥油 10 号“3414”肥料效应试验[J].浙江农业科学,2020,61(1):34-36.
- [17] 金冬雪,孙迪,樊桓均,等.基于“3414”施肥方案的二年生桔梗主要性状的综合评价[J].中国土壤与肥料,2021(2):156-161.
- [18] 王馨笙.生姜对氮磷钾吸收分配规律及高效施肥技术研究[D].山东泰安:山东农业大学,2010.
- [19] 霍跃文,杨雁,石亚娜,等.化肥减量施用对三七生长及药用成分的影响[J].西南农业学报,2020,33(11):2558-2564.
- [20] 李锡香,朱德蔚.姜种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2006.
- [21] 冯静,李京蓉,关绍华,等.钟祥市潞育型土壤水稻“3414”肥料效应完全试验分析[J].湖北农业科学,2020,59(24):48-50.
- [22] 徐坤,郑国生,王秀峰.施氮量对生姜群体光合特性及产量和品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2001,7(2):189-193.
- [23] 李录久,王家嘉,姚殿立,等.不同钾肥用量对生姜生长和营养品质的影响[J].土壤,2014,46(2):245-249.
- [24] 徐坤,康立美,赵德婉.生姜对氮磷钾吸收分配规律的研究[J].山东农业科学,1992(3):14-16.
- [25] 张西平,闫学梅,王胜亭,等.生姜高产氮磷钾配施选择与分析[J].磷肥与复肥,2015,30(10):51-52.