

马驰宇, 毛川显, 宋碧, 等. 不同氮磷钾配方施肥对薏苡生长及产量的影响 [J]. 福建农业学报, 2018, 33 (4): 357—362.  
MA C Y, MAO C X, SONG B, et al. Effect of Formulated Fertilization on Growth and Productivity of Coix in Xingren County [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 33 (4): 357—362.

## 不同氮磷钾配方施肥对薏苡生长及产量的影响

马驰宇<sup>1,2</sup>, 毛川显<sup>1</sup>, 宋碧<sup>1\*</sup>, 张军<sup>1</sup>, 李青青<sup>1</sup>, 蒋季<sup>1</sup>

(1. 贵州大学农学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 云南农业大学植物保护学院, 云南 昆明 650201)

**摘 要:** 以贵州兴仁普遍种植的黑壳薏苡为材料, 通过“3414”回归最优设计试验, 探讨不同配方施肥对薏苡农艺性状、干物质积累、养分积累、产量及产量性状的影响。结果表明: 与对照 (处理 1: 不施肥处理) 相比, 薏苡各配方施肥处理的产量均有所提高, 处理 14 ( $N:P_2O_5:K_2O=20:5:7.5$ ) 的产量最高; 14 个处理中以处理 5 ( $N:P_2O_5:K_2O=20:5:15$ )、处理 9 ( $N:P_2O_5:K_2O=20:10:7.5$ ) 的农艺性状表现较好,  $N:P_2O_5:K_2O=20:5:15$  处理对薏苡干物质和养分积累影响显著; 用二次回归分析得出, 每 667 m<sup>2</sup> 最佳氮、磷、钾施肥量分别为  $N: 16.45$  kg、 $P_2O_5: 9.53$  kg、 $K_2O: 14.49$  kg, 可作为兴仁地区薏苡高产优质的推荐施肥。

**关键词:** 薏苡; 配方施肥; 产量; 回归分析

**中图分类号:** S 356

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1008—0384 (2018) 04—357—06

### Effect of Formulated Fertilization on Growth and Productivity of Coix in Xingren County

MA Chi-yu<sup>1,2</sup>, MAO Chuan-xian<sup>1</sup>, SONG Bi<sup>1\*</sup>, ZHANG Jun<sup>1</sup>, LI Qingqing<sup>1</sup>, JIANG Ji<sup>1</sup>

(1. College of Agronomy, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. College of Plant Protection, Yunnan Agricultural University, Kunming, Yunnan 650201, China)

**Abstract:** Effects of varied fertilizations on agronomic characteristics, dry matter accumulation, nutritional content, productivity and yield traits of coix in Xingren county, Guizhou was studied using a "3414" regression design. The results showed that the yield of coix were improved by the formulated N-P-K fertilizations as compared with CK (Treatment 1). The agronomic properties of the coix under the 20-5-15 and 20-10-7.5 formulations were better than the other 12 treatments. Among all treatments, the 20-5-7.5 formulation rendered the greatest yield, while the 20-5-15 exhibited the most significant effect on the accumulations of dry matters and nutrients. Based on a quadratic regression analysis, the fertilization with 16.45 kg N/667 m<sup>2</sup>, 9.53 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/667 m<sup>2</sup> and 14.49 kg K<sub>2</sub>O/667 m<sup>2</sup> was recommended for coix cultivation in Xingren county.

**Key words:** coix; formulated fertilization; yield; regression analysis

薏苡为禾本科、一年生或多年生、C<sub>4</sub> 草本植物, 营养成分十分丰富, 是一种古老的药食两用作物。贵州属于薏苡的种植主产区之一, 已成为中国最大的薏苡加工销售的最大集散地<sup>[1]</sup>。但当前贵州薏苡产量不高, 肥料施用不合理。探明配方施肥对薏苡生长和产量的影响, 可为薏苡配方施肥提供科学依据。关于施肥对薏苡生长和产量的影响研究, 主要集中在密度与施肥量互作或某种单一肥料效应方面。邹军等<sup>[2]</sup>研究提出密度 13.3 万株·hm<sup>-2</sup>,

氮肥、磷肥、钾肥施用量分别为 375、405、540 kg·hm<sup>-2</sup> 条件下薏苡可获高产。潘虹等<sup>[1]</sup>认为密度 15 万~18 万株·hm<sup>-2</sup>、施肥量 750.0~900.0 kg·hm<sup>-2</sup> 的范围内有利于增产。周棱波等<sup>[3]</sup>研究表明薏苡产量、株高、千粒重等均随施肥量的增加呈先增加后降低的趋势; 陈光能<sup>[4]</sup>等研究表明当施氮量为 225 kg·hm<sup>-2</sup> 时, 有利于薏苡千粒重、群体产量和结实率的增加, 过高或过低均不利于薏苡增产。赵杨景等<sup>[5]</sup>研究表明 N、P、K 营养元素对薏苡茎叶

收稿日期: 2017-10-13 初稿, 2018-01-08 修改稿

作者简介: 马驰宇 (1992-), 男, 在读硕士生, 研究方向: 作物栽培、农药学 (E-mail: 929953023@qq.com)

\* 通讯作者: 宋碧 (1972-), 女, 硕士, 教授, 研究方向: 作物高产、优质、高效栽培理论与技术 (E-mail: sb6264@126.com)

基金项目: 2016 年度贵州省省级财政农技推广补助资金项目 (黔财农 [2016] 172 号); 贵州省作物学省级重点学科建设项目 (黔学位合字 ZDXK [2014] 8 号); 贵州省一流学科建设项目 (GNYL [2017] 009)

干重的影响顺序为  $N > P > K$ , 而对根干重的影响则为  $N > K > P$ ; 缺少 N、P、K 3 种营养元素中的任何一种, 均使植株内相应的元素含量显著降低。增施钾肥可使薏苡有效单茎的实粒数增加, 并且千粒重明显提高, 从而达到增产的作用<sup>[6]</sup>。周佳民等<sup>[7]</sup>在盆栽条件下研究表明氮、磷、钾配合施用或与有机肥配合施用, 在分蘖期能明显提高薏苡叶片叶绿素含量, 有利于叶片全氮、全磷、全钾等养分的积累。但鲜见系统进行薏苡配方施肥效应的研究。本文拟通过采用“3414”配方施肥最优回归设计, 研究薏苡性状与配方施肥之间的关系, 阐明不同配方施肥对薏苡农艺性状、养分及干物质积累和产量的影响, 进而获得较佳的配方施肥比例, 以期为贵州薏苡配方施肥提供依据和指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料及地点

以贵州兴仁县普遍种植的白壳薏苡为材料。于 2016 年 4~11 月在贵州兴仁县屯脚镇进行试验, 试验地为壤土, 土壤 pH 6.38, 有机质  $8.76 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 全氮  $2.04 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效氮  $50.26 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效磷  $7.77 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ , 速效钾  $27.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

### 1.2 试验设计

采用“3414”配方施肥最优回归设计, 设置 N、P、K 3 因素 4 水平 14 个处理。4 水平即: 0 水平为不施肥; 2 水平为当地推荐施肥; 1 水平为 2 水平  $\times 0.5$ ; 3 水平为 2 水平  $\times 1.5$ 。本试验 2 水平采用的施肥量 (纯养分): 每  $667 \text{ m}^2$  N: 20 kg、 $\text{P}_2\text{O}_5$ : 10 kg、 $\text{K}_2\text{O}$ : 15 kg。各处理施肥水平见表 1。每处理重复 2 次, 共 28 个小区, 采用随机区组排列。小区面积  $21 \text{ m}^2$  ( $6.0 \text{ m} \times 3.5 \text{ m}$ ), 行穴距分别为 70、50 cm, 每穴留苗 4 株, 每  $667 \text{ m}^2$  基本苗为 7 623 株。氮肥 (尿素) 30% 作基肥, 30% 作分蘖肥, 40% 作穗肥; 磷肥 (过磷酸钙)、钾肥 (氯化钾) 全部作基肥。于 2016 年 4 月 15 日播种, 10 月 14 日收获。

### 1.3 测定项目及方法

**1.3.1 株高、茎粗** 株高于拔节和孕穗期在各小区选有代表性的 5 株植株, 用卷尺直接测量植株从基部到顶端的高度; 茎粗用游标卡尺测地上第二节中部较宽处直径。

**1.3.2 干物重和养分积累** 于成熟期从各小区选取 3 穴具有代表性植株, 按叶片、茎鞘、籽粒分部位后在  $105^\circ\text{C}$  下杀青 30 min 后继续在  $70\sim 80^\circ\text{C}$  条件下烘至恒重, 称重; 样品粉碎后测定养分含量。

用凯氏定氮法测定植株全氮, 钼钼黄比色法测定植株全磷, 火焰光度计法测定植株全钾。

表 1 各处理的施肥水平

Table 1 Varied NPK formulations for fertilization treatments

处理	各养分水平组合	每 $667 \text{ m}^2$ 纯养分施用量/kg		
		N	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{K}_2\text{O}$
1	$\text{N}_0\text{P}_0\text{K}_0$	0	0	0
2	$\text{N}_0\text{P}_2\text{K}_2$	0	10	15
3	$\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_2$	10	10	15
4	$\text{N}_2\text{P}_0\text{K}_2$	20	0	15
5	$\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_2$	20	5	15
6	$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$	20	10	15
7	$\text{N}_2\text{P}_3\text{K}_2$	20	15	15
8	$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_0$	20	10	0
9	$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_1$	20	10	7.5
10	$\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_3$	20	10	22.5
11	$\text{N}_3\text{P}_2\text{K}_2$	30	10	15
12	$\text{N}_1\text{P}_1\text{K}_2$	10	5	15
13	$\text{N}_1\text{P}_2\text{K}_1$	10	10	7.5
14	$\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_1$	20	5	7.5

注: 处理 1 为不施肥对照处理 (CK)。

**1.3.3 产量及产量性状** 于成熟期对各小区进行测产; 再分别选取 3 穴具有代表性植株, 风干后进行考种, 考查有效穗数、分支数、穗粒数、实粒数及千粒重等。

### 1.4 数据处理

利用 DPS 7.05、测土配方“3414 试验分析器 SG-2.3”进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同配方施肥对薏苡株高和茎粗的影响

从表 2 可以看出, 氮磷钾肥对薏苡株高和茎粗的影响很大。在拔节期, 处理 1 (CK) 最矮, 处理 8 次之, 分别为 93.67 cm 和 105.67 cm, 处理 9 株高最高, 达 141.50 cm, 处理 9、14、4 的株高平均值显著高于 CK。在孕穗期, 处理 5、9 与处理 8 和 CK 间两两差异显著, 处理 5 和处理 9 孕穗期的株高平均值极显著高于 CK 的平均值。

当缺施氮时, 植株株高、茎粗表现较差, 但好于对照 CK。随着施氮量的增加, 株高、茎粗呈先增大后减小的趋势。但当缺施磷时, 对植株株高、茎粗影响不大, 随着磷肥的增加, 株高、茎粗增大, 但变化趋势不大。当缺施钾肥时, 植株株高、

茎粗表现不佳，随着钾肥的施用，株高、茎粗逐渐增大的趋势变化明显。

表 2 不同配方施肥对薏苡株高和茎粗的影响  
Table 2 Effect of formulated fertilizations on height and stem girth of coix plants

处理	拔节期		孕穗期	
	株高/cm	茎粗/mm	株高/cm	茎粗/mm
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	93.67bA	8.66bB	174.37cB	8.50cB
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	122.17abA	9.98abAB	198.22abcAB	12.50abcAB
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	132.17abA	9.86abAB	209.19abAB	10.50bcAB
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	140.50aA	10.26aAB	208.99abAB	14.00abAB
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	135.00abA	10.62aAB	219.68aA	16.00aA
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	129.67abA	9.71abAB	200.30abcAB	9.50bcAB
N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	117.34abA	10.57aAB	200.22abcAB	12.00abcAB
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	105.67abA	9.38abAB	186.60bcAB	11.50abcAB
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	141.50aA	10.24aAB	217.15aA	14.00abAB
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	122.84abA	10.03abAB	207.37abAB	12.00abcAB
N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	114.17abA	10.39aAB	207.48abAB	13.00abcAB
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	132.17abA	9.88abAB	210.83abA	13.50abAB
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	129.50abA	10.74aA	209.85abAB	11.00bcAB
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	140.84aA	10.09aAB	198.88abcAB	11.00bcAB

注：同列数据后不同大、小写字母表示差异达极显著( $P<0.01$ )或显著( $P<0.05$ )水平。表 3~5 同。

2.2 不同配方施肥对薏苡干物重的影响

从表 3 中可以看出，不同配方施肥对薏苡茎干重的影响表现为各处理间两两差异不显著，处理 4、11 的平均值较大，CK 平均值最小，其余各处理变幅不大。不同配方施肥对薏苡植株样品干重的影响表现为处理 4、6 的平均值显著高于 CK。14 个处理中，籽粒干重表现为处理 10、14 与处理 1 (CK)、8、12 之间差异显著。从表中亦可看出，缺施氮、磷、钾肥中任何一种对薏苡植株干重的影响表现差异不显著，同时可以看出，与其他处理相比，处理 14 的籽粒干重占植株干重的比例较大，说明配方施肥对薏苡干重的促进作用。

2.3 不同配方施肥对薏苡氮、磷、钾积累的影响

2.3.1 氮素积累 从表 4 可以看出：籽粒：处理 14 与处理 11、2、5、7、13、8、12、CK 之间差异显著，CK 表现最差，处理 14 表现较好，处理 14、10、4 与 CK 之间差异极显著，同时处理 14 还极显著高于处理 8、12；茎鞘：处理 4 与 CK 之间差异显著，为 206 mg·株<sup>-1</sup>，其余处理间两两差异不显著；叶：处理 6、9、4、10、13 与 CK 间差异显著。

2.3.2 磷素积累 如表 4 所示，各处理不同部位磷素积累如下。籽粒：处理 10、14、4、3、2、9

与 CK 之间差异显著，处理 10 与处理 6、11、5、7、12、13、8、CK 之间差异显著，处理 14、10 的平均值极显著高于处理 12、13、8、CK 的平均值；茎鞘：各处理表现差异不显著，处理 4>处理 13>处理 2>处理 12>处理 3，处理 4、13 平均值较高，分别为 27.22、26.37 mg·株<sup>-1</sup>。叶：处理 4、6 与 CK 之间差异显著，处理 4、6 平均值为 10.82、9.48 mg·株<sup>-1</sup>。

表 3 各处理薏苡的每株籽粒、叶片及茎鞘干重  
Table 3 Dry leaf and stem weights and grain counts of individual coix plants under varied treatments  
[单位/(g·株<sup>-1</sup>)]

处理	茎鞘	叶片	籽粒	总重
N0P0K0	145aA	30bA	120bA	295bA
N0P2K2	210aA	65abA	160abA	435abA
N1P2K2	225aA	50abA	185abA	460abA
N2P0K2	285aA	85aA	180abA	550aA
N2P1K2	225aA	55abA	150abA	430abA
N2P2K2	225aA	80aA	145abA	450abA
N2P3K2	215aA	65abA	145abA	425abA
N2P2K0	185aA	45abA	110bA	340abA
N2P2K1	220aA	80aA	170abA	470abA
N2P2K3	190aA	75abA	200aA	465abA
N3P2K2	235aA	70abA	170abA	475abA
N1P1K2	190aA	60abA	120bA	370abA
N1P2K1	230aA	70abA	140abA	430abA
N2P1K1	250aA	65abA	200aA	515aA

2.3.3 钾素积累 由表 4 可知，籽粒：处理 10、14、4、3 与处理 12、CK、8、13 之间差异显著，处理 10 与处理 7、6、5、11、12、CK、8、13 之间差异显著，处理 14、10 与处理 12、CK、8、13 之间差异极显著。茎鞘：处理 4、CK 与处理 14、10 之间差异显著，同时表现出差异极显著。

2.4 不同配方施肥对薏苡产量及产量性状的影响

从表 5 可以看出，每穴有效穗数在处理 14 与处理 2、CK 之间差异显著，处理 14 表现较好。处理 4、14 与处理 8 之间每穴分支数表现差异显著，处理 14 表现较好。每穴总粒数在各处理中的表现为，处理 3、4、9、10、11、14 与 CK 之间差异显著。每穴实粒数差异性显著表现在处理 3、14 与 CK 之间，显著优于处理 2、8 和 CK，极显著高于处理 8 和 CK。结实率在处理 6、2 与处理 12、11 之间差异显著。14 个处理中，处理 10 在千粒重指标中表现较好，处理 10 与处理 4、8、11 之间差异

显著，处理 14 与处理 4、8 之间差异表现显著和极显著。在 14 个处理中，处理 14 的产量最高，为 3 943.43 kg · hm<sup>-2</sup>，处理 8 的产量最低，CK 次之，分别为 1 917.58 kg · hm<sup>-2</sup>、2 103.77 kg · hm<sup>-2</sup>，从表中可以看出，处理 14 显著高于处理 CK、2，同时极显著高于处理 8、CK。可以得出，较高水平的 N 肥、较低水平的 P 肥和较高水平的 K 肥有助于产量的增加，处理 14 产量较高。

表 4 不同配方施肥对薏苡氮、磷、钾积累的影响

Table 4 Effects of formulated fertilizations on NPK accumulations in coix plants [单位/(mg · 株 <sup>-1</sup> )]												
处理	氮素积累				磷素积累				钾素积累			
	籽粒	茎鞘	叶	全株	籽粒	茎鞘	叶	全株	籽粒	茎鞘	叶	全株
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	139.24dC	80.95bA	35.68bA	255.87dC	17.57cC	22.90aA	4.16bA	44.63bcAB	27.22cBC	53.67aA	10.73aA	91.62bB
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	210.93bcdABC	100.25abA	61.08abA	372.25bcdABC	27.28abABC	25.11aA	7.28abA	59.66abAB	36.55abcABC	77.15abAB	12.51aA	126.21bA
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	247.75abcABC	110.68abA	68.76abA	427.19abcABC	29.46abABC	19.86aA	6.04abA	55.36abcAB	42.21abABC	114.45abAB	17.31aA	173.97abAB
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	275.09abcAB	206.25aA	106.85aA	588.17aA	31.01abABC	27.22aA	10.82aA	69.04aA	42.25abABC	157.39aA	25.23aA	224.87aA
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	204.2cdABC	127.03abA	73.82abA	405.05bcdABC	22.64bcABC	19.35aA	7.07abA	49.06abcAB	31.50bcABC	93.15abAB	16.47aA	141.12abAB
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	239.62abcABC	147.25abA	109.43aA	496.3abcAB	24.64bcABC	18.56aA	9.48aA	52.66abcAB	31.60bcABC	84.25abAB	23.49aA	139.32abAB
N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	200.03cdABC	146.86abA	61.68abA	408.57bcdABC	21.79bcABC	15.57aA	6.80abA	44.15bcAB	31.62bcABC	78.34abAB	16.29aA	126.25bA
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	182.80cdBC	109.51abA	66.03abA	358.33cdBC	18.99bcC	13.26aA	5.69abA	37.93cB	25.35cC	88.53abAB	12.84aA	126.72bA
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	269.52abcABC	96.59abA	107.21aA	473.33abcABC	26.79abABC	12.94aA	8.51abA	48.23abcAB	36.33abcABC	67.27abAB	17.4aA	121.00bA
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	304.03abAB	119.7abA	101.5aA	525.23abAB	40.04aA	15.34aA	8.97abA	64.36abAB	48.36aA	58.49bA	26.21aA	133.05abAB
N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	221.67bcdABC	146.35abA	88.87abA	456.89abcABC	23.58bcABC	19.39aA	8.02abA	50.99abcAB	30.81bcABC	96.52abAB	18.9aA	146.23abAB
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	182.49cdBC	119.87abA	81.22abA	383.58bcdABC	20.43bcBC	21.37aA	8.21abA	50.01abcAB	28.59cBC	94.27abAB	22.57aA	145.43abAB
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	185.62cdABC	160.19abA	95.89aA	441.69abcABC	20.36bcBC	26.37aA	8.37abA	55.10abcAB	25.01cC	71.37abAB	18.86aA	115.24bA
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	319.16aA	112.91abA	89.25abA	521.32abcAB	38.12Aab	15.74aA	7.52abA	61.37abAB	44.83abA	61.50bA	17.91aA	124.23bA

表 5 不同配方施肥对薏苡产量及产量性状的影响

Table 5 Effects of formulated fertilizations on yield and yield traits of coix plants							
处理	每穴有效穗数 /穗	每穴分支数 /支	每穴总粒数 /粒	每穴实粒数 /粒	结实率 /%	千粒重 /g	产量 /(kg · hm <sup>-2</sup> )
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	13bA	81abA	2396bA	2058bA	86abA	41.11abcdAB	2103.77cBC
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	13bA	86abA	3234abA	2805abA	87aA	43.59abAB	3001.75bAB
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	16abA	96abA	4650aA	3844aA	83abcA	43.09abAB	3141.63abA
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	18abA	121aA	4443aA	3641abA	81abcA	36.47cdB	3461.67abA
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	15abA	101abA	3634abA	3123abA	86abA	40.35abcdAB	3223.76 abA
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	15abA	107abA	3290abA	2914abA	89a	41.17abcdAB	3497.63 abA
N <sub>2</sub> P <sub>3</sub> K <sub>2</sub>	13bA	79abA	3512abA	2709abA	78abcA	42.40abcAB	3376.04 abA
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	14bA	73bA	3181abA	2473abA	78abcA	36.21dB	1917.58cC
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	17abA	97abA	4311aA	3717abA	86abA	43.33abAB	3620.86 abA
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	17abA	111abA	4573aA	3657abA	80abcA	45.87aA	3292.43 abA
N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	15abA	107abA	4527aA	3365abA	75bcA	39.69bcdAB	3143.70 abA
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	13bA	85abA	3274abA	2400abA	74cA	40.44abcdAB	3108.91 abA
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	16abA	93abA	3299abA	2676abA	82abcA	41.79abcdAB	3359.73 abA
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	23aA	123aA	4450aA	3790aA	84abcA	44.37abAB	3943.43aA

2.5 肥料效应函数模型

依据农业部推荐测土配方“3414”试验数据分析器 SG-2.3 对数据进行分析，经回归分析和方差分析，分别建立一元二次、三元二次施肥量和产量之间的效应方程<sup>[8-9]</sup>，由方程求解极值，以得出 N、P、K 的最佳施肥量和最高施肥量。

2.5.1 三元二次模型 通过对肥料三因素回归分

析，依系数得出三元二次回归方程：

$$Y=8.4444N-0.1337N^2+0.4224P-0.2286P^2+2.6232K-0.4405K^2-0.5087NP+0.0816NK+0.8663PK+134.7423\ (R^2=0.8974)$$

式中 Y 为薏苡每 667 m<sup>2</sup> 最佳产量 (kg)，N、P、K 分别为氮、磷、钾的施用量。

将施肥量、产量以及商品价（表 6）带入“3414”处理器进行回归分析，得出试验三因素最

大施肥量及最佳施肥量（表 6）。

表 6 三元二次方程最高施肥量及最佳施肥量  
Table 6 Maximum and optimal amounts of fertilizers for coix fertilization determined by quadratic equation

方案	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
肥料与产品价格/(元·kg <sup>-1</sup> )	4.35	5.00	5.33
每 667 m <sup>2</sup> 最大施肥量/kg	16.48	10.28	14.61
每 667 m <sup>2</sup> 最佳施肥量/kg	16.45	9.53	14.49

结果表明，本试验每 667 m<sup>2</sup> 氮、磷、钾肥的最佳施用量分别为 16.45、9.53、14.49 kg。

2.5.2 一元二次模型 通过“3414”处理器，分

别得到氮、磷、钾施肥量与薏苡最佳产量之间的一元二次回归模型。表达式为  $Y=aX^2+bX+c$ ，式中：Y 为每 667 m<sup>2</sup> 最佳产量（kg）；X 分别为每 667 m<sup>2</sup> 纯 N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 的施用量（kg）。见图 1。

氮、磷、钾单因素对薏苡产量的影响如表 7 所示，分别得出氮磷钾肥对薏苡产量的回归方程（图 1），计算出氮、磷、钾肥分别施用的最大施肥量和经济施肥量。

综上二次方程模拟结果，可以看出，薏苡产量随着氮磷钾肥的增加而表现出先增大后下降的趋势，但其中磷肥最佳用量模拟结果差异较大，原因可能是土壤速效磷含量较低，具体原因还待进一步研究。

表 7 单因素分析数据统计  
Table 7 Statistical data from univariate analysis

编号	N 肥料效应			P 肥料效应			K 肥料效应		
	方案	每 667 m <sup>2</sup> 施 N 量/kg	每 667 m <sup>2</sup> 产量/kg	方案	每 667 m <sup>2</sup> 施 P 量/kg	每 667 m <sup>2</sup> 产量/kg	方案	每 667 m <sup>2</sup> 施 K 量/kg	每 667 m <sup>2</sup> 产量/kg
1	N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0	191	N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	0	217	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	0	223
2	N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	7.5	194	N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	3.5	209	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	8.5	122
3	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	15.0	223	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	7.0	223	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	17.0	214
4	N <sub>3</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	22.5	201	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	10.5	213	N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>3</sub>	25.5	207
方程变量		方程系数		方程变量		方程系数		方程变量	
b <sub>0</sub>		187.084		b <sub>0</sub>		214.364		b <sub>0</sub>	
b <sub>1</sub> *N		2.4619		b <sub>1</sub> *P		0.4698		b <sub>1</sub> *K	
b <sub>2</sub> *N <sup>2</sup>		-0.0623		b <sub>2</sub> *P <sup>2</sup>		-0.0294		b <sub>2</sub> *K <sup>2</sup>	
Y=187.084+2.4619N-0.0623N <sup>2</sup>				Y=156.5+21.2857P-1.2653P <sup>2</sup>				Y=125.0625+14.2637K-0.4773K <sup>2</sup>	
R 值		0.726348		R 值		0.146887		R 值	
每 667 m <sup>2</sup> 施 N 量/kg		每 667 m <sup>2</sup> 产量/kg		每 667 m <sup>2</sup> 施 P 量/kg		每 667 m <sup>2</sup> 产量/kg		每 667 m <sup>2</sup> 施 K 量/kg	
最大施肥量		211.39		7.99		216.24		14.09	
经济施肥量		211.03		2.20		215.25		14.56	

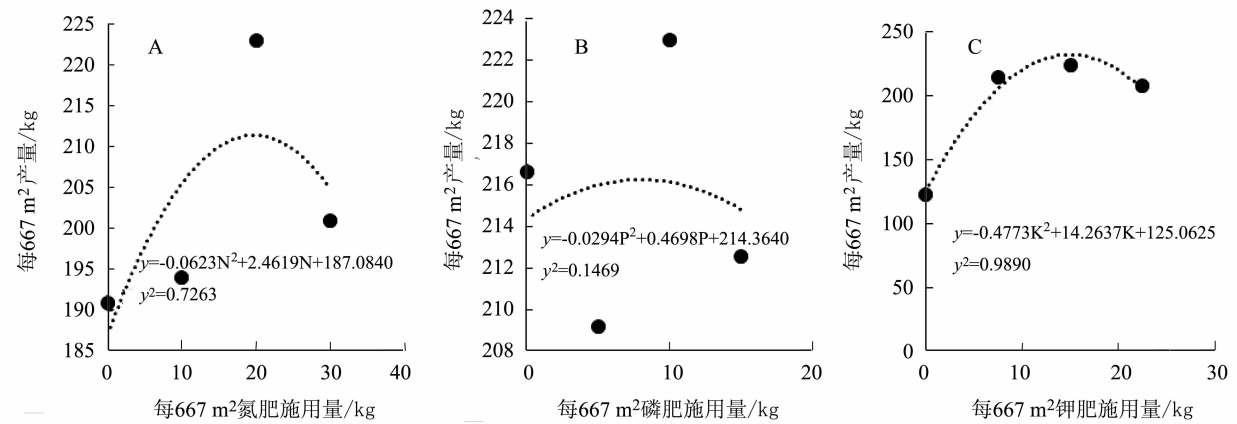


图 1 氮磷钾肥的一元二次回归效果

Fig. 1 Quadratic regression on NPK fertilizations

注：A 为氮肥效应，B 为磷肥效应，C 为钾肥效应。

### 3 讨论与结论

薏苡在中国栽培历史悠久,适应性较强,主要分布在南方省份。贵州作为全国主要生产基地,产量长期以来都在  $1\,500\sim 3\,000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,肥料利用率较低,因此,开展薏苡配方施肥研究,提高肥料利用率对贵州薏苡产业发展具有重要意义。

本研究表明,不同配方施肥水平对薏苡产量及相关性状的影响均达到显著水平,14 个施肥水平中,处理 9、5 在拔节期、孕穗期薏苡株高、茎粗表现较好,显著高于对照和缺施氮磷钾肥的处理,高于或低于这个施肥水平,株高茎粗呈下降趋势。与周棱波等<sup>[3]</sup>研究结果一致。

本研究表明,氮磷钾对薏苡茎鞘干重的影响不明显;当氮、磷一定时,钾肥对薏苡籽粒干物质积累影响显著,处理  $\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_1$  在 14 个处理中干重最高。N、P、K 元素对薏苡籽粒干重的影响顺序为  $\text{N}>\text{K}>\text{P}$ ,这与赵杨景等<sup>[5]</sup>的研究不一致,原因可能与土壤中速效磷较低、速效钾含量较高等环境因素有关。

本研究中,处理 14 ( $\text{N}_2\text{P}_1\text{K}_1$ ) 的产量最高,为  $3\,660.60\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ ,高于或低于这个施肥水平,产量表现为下降趋势。同时,缺少氮磷钾三元素中某一元素,产量降低,说明配方施肥对提高产量的重要意义,这与邹军等<sup>[2]</sup>的研究结果一致。配施氮磷钾肥对薏苡单穴穗粒数、实粒数、单穴分枝数有显著性差异,但对结实率差异不明显。氮、钾肥对产量、千粒重存在显著性、极显著关系,说明施用氮、钾肥对提高产量、千粒重有重要作用,此研究结果与赵杨景<sup>[5-6]</sup>研究结果基本一致。

通过回归分析建立一元二次方程,得出薏苡每  $667\text{ m}^2$  N、P、K 经济施肥量 ( $\text{N}\,17.37\text{ kg}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$

$2.20\text{ kg}$ 、 $\text{K}_2\text{O}\,14.56\text{ kg}$ ),结果与陈光能等<sup>[4]</sup>研究结果基本一致。对化肥和薏苡商品价的二次回归分析得出每  $667\text{ m}^2$  最佳施肥量 ( $\text{N}\,14.45\text{ kg}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\,9.53\text{ kg}$ 、 $\text{K}_2\text{O}\,14.49\text{ kg}$ )。

综上所述,配方施肥对薏苡产量、株高、茎粗、有效穗数、实粒数、结实率、千粒重、干物质积累以及养分吸收均有显著影响;随着施肥量的增加,产量、株高、茎粗、有效穗数、千粒重、实粒数、干物质积累以及养分均表现为先增加后降低。在贵州黔西南兴仁地区,施肥量  $\text{N}\,246.75\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5\,142.95\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 $\text{K}_2\text{O}\,217.35\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 可作为薏苡高产优质的推荐施肥。

#### 参考文献:

- [1] 潘虹,陆秀娟,魏心元,等. 种植密度和施肥量与薏苡产量关系研究 [J]. 中国农学通报, 2017, 33 (32): 49—52.
- [2] 邹军,魏兴元,朱怡. 种植密度与施肥对薏苡产量的影响 [J]. 贵州农业科学, 2014, 42 (9): 98—101.
- [3] 周棱波,汪灿,张国兵,等. 硫酸钾复合肥和种植密度对薏苡光合特性、农艺性状及产量的影响 [J]. 作物杂志, 2016 (1): 93—97.
- [4] 陈光能,魏心元,李祥栋,等. 不同氮肥运筹对薏苡生长及产量形成的影响 [J]. 耕作与栽培, 2015 (5): 38—39, 6.
- [5] 赵杨景,陈震. 氮、磷、钾营养元素对薏苡干物质累积和养分含量的影响 [J]. 中国中药杂志, 1992 (7): 400—403, 445.
- [6] 赵杨景. 薏苡钾肥施用量的研究 [J]. 中国中药杂志, 1994 (10): 588—590, 637.
- [7] 周佳民,彭福元,赵德全,等. 不同配比施肥对药用薏苡生长特性及生物产量的影响 [J]. 农学学报, 2012, 2 (7): 5—7, 12.
- [8] 王圣瑞,陈新平,高祥照,等. “3414” 肥料试验模型拟合的探讨 [J]. 植物营养与肥料学报, 2002 (4): 409—413.
- [9] 王莉,王存言,刘洋. 玉米“3414” 肥效试验 [J]. 现代农业科技, 2008 (15): 201—202.

(责任编辑:黄爱萍)