

不同氮磷钾肥配施对桂北地区萝卜产量和品质的影响

谭海文¹, 李玉洪¹, 管欢², 李刚¹, 覃柳兰¹, 黎炎³

(1. 广西壮族自治区农业科学院桂林分院·桂林市农业科学研究中心 广西桂林 541006;

2. 桂林市经济作物技术推广站 广西桂林 541100; 3. 广西壮族自治区农业科学院蔬菜研究所 南宁 530007)

摘要:为实现萝卜生产中肥料的高效利用,以桂白1号萝卜为试材,采用“3414”大田试验,以N、P₂O₅、K₂O均为225 kg·hm⁻²为常规施肥水平,研究不同氮磷钾肥配施对桂白1号萝卜的产量、生长性状及品质的影响,并通过拟合肥料效应函数方程确定萝卜栽培的最适施肥配方。结果表明,与对照(N 0 kg·hm⁻²、P₂O₅ 0 kg·hm⁻²、K₂O 0 kg·hm⁻²)相比,氮磷钾肥配施对萝卜增产效果显著,其中N₂P₁K₂处理(N 225 kg·hm⁻²、P₂O₅ 112.5 kg·hm⁻²、K₂O 225 kg·hm⁻²)的产量最高,为88 263.53 kg·hm⁻²,较对照显著增产55.46%,较常规施肥显著增产13.97%。适量的氮磷钾肥配施不仅能促进单株萝卜生长发育,也可提高萝卜水分和可溶性固形物含量,但对粗纤维含量的影响并不显著。基于肥效模型和频率分析法,明确桂北地区萝卜最适的施肥方案为N、P₂O₅均为18.75~206.25 kg·hm⁻²,K₂O为112.5~225 kg·hm⁻²。

关键词:萝卜; 配方施肥; 产量; 品质

中图分类号: S631.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2025)07-166-06

Effects of different N, P and K application on radish yield and quality in Guibei area

TAN Haiwen¹, LI Yuhong¹, GUAN Huan², LI Gang¹, QIN Liulan¹, LI Yan³

(1. Guilin Branch of Guangxi Academy of Agricultural Sciences/Guilin Agricultural Science Research Center, Guilin 541006, Guangxi, China; 2. Guilin Economic Crop Technology Extension Station, Guilin 541100, Guangxi, China; 3. Vegetable Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, Guangxi, China)

Abstract: In order to realize the efficient use of fertilizer in the production of radish, the radish variety Guibai No.1 was used as the test material, a ‘3414’ field experiment was performed, the conventional fertilization (N 225 kg·hm⁻², P₂O₅ 225 kg·hm⁻², K₂O 225 kg·hm⁻²) was used. The yield, growth characteristics and quality were measured. The optimal fertilization formula of radish planting was determined by fitting the fertilizer benefit function equation. The results showed that the application of nitrogen, phosphorus, and potassium fertilizers had a significant effect on increasing the yield of radish. The yield of N₂P₁K₂ treatment (N 225 kg·hm⁻², P₂O₅ 112.5 kg·hm⁻², K₂O 225 kg·hm⁻²) was the highest (88 263.53 kg·hm⁻²), which significantly increased by 55.46% compared with N₀P₀K₀ treatment (N 0 kg·hm⁻², P₂O₅ 0 kg·hm⁻², K₂O 0 kg·hm⁻²), and the yield of N₂P₁K₂ treatment significantly increased by 13.97% compared with conventional fertilization. Combined application of nitrogen, phosphorus and potassium could not only promote the growth and development of single radish plant, but also increase the moisture content and soluble solids content of the radish, but the effect on crude fiber content was not significant. The most suitable fertilization regimen for radish in Guibei area was 18.75-206.25 kg·hm⁻² for N and P₂O₅, 112.5-225 kg·hm⁻² for K₂O, according to the fertilizer efficiency model and frequency analysis method.

Key words: Radish; Formula fertilizer; Yield; Quality

萝卜(*Raphanus sativus* L.)是我国重要的根菜类蔬菜,也是广西第三大蔬菜作物,在蔬菜周年生产和均衡供应中发挥了重要作用^[1-3]。萝卜是生育

期短且复种指数高的作物,为了获得高产,普遍存在过量施肥现象,不仅增加了种植成本,还容易造成环境污染^[4]。近年来,国家日益重视肥料对环境

收稿日期: 2024-11-14; 修回日期: 2025-03-05

基金项目: 广西科技重大专项(桂科 AA22068089); 广西重点研发计划项目(桂科 AB22080068); 国家现代农业产业技术体系广西大宗蔬菜创新团队项目(nycytxgxcxtd-2023-10)

作者简介: 谭海文,女,高级农艺师,主要从事蔬菜作物栽培研究。E-mail: 332414341@qq.com

通信作者: 黎炎,女,研究员,主要从事蔬菜育种及栽培研究。E-mail: 723176021@qq.com

的影响,化肥减量已成为蔬菜生产中面临的关键问题^[5]。

氮、磷、钾影响作物的产量和品质,是作物生长发育不可缺少的三大营养元素^[6]。研究表明,氮、磷、钾肥配施可显著提高甘蓝^[6]、胡萝卜^[7]、辣椒^[8]等蔬菜的产量与品质。关于萝卜施肥的研究已有一些报道,如葛长军等^[9]研究表明减施 50%三元复合肥配施有机肥,黄州萝卜的产量和效益分别提高了 10.1%和 10.27%。张佳佳等^[10]研究表明,与常规施肥相比,氮、磷、钾肥的用量分别为 150、100、180 kg·hm⁻²时,萝卜产量提高了 3.9%。张俊花等^[11]通过优化肥料种类和施肥方式,萝卜产量、经济效益、可溶性糖含量均提高 15%以上。袁伟玲等^[12]、魏全全等^[13]、武秀侠等^[14]研究表明,在一定施氮范围内,氮肥利用率、萝卜产量与施氮量呈正相关。目前,已有的萝卜施肥技术研究主要侧重于复合肥配施有机肥^[15-17]、氮肥^[18-19]对萝卜产量、品质的影响,而不同氮磷钾肥配施对萝卜产量、品质、效益的研究鲜有报道。因此,笔者针对广西桂北地区的萝卜种植模式、土壤地力水平和施肥习惯,采用“3414”试验设计,探讨氮、磷、钾肥配施对萝卜生长特性、产量、品质以及经济效益的影响,并构建施肥效益模型,总结氮、磷、钾肥最佳施肥配比和施用量,旨在为桂北地区萝卜的科学施肥提供理论指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2023 年 10 月至 2024 年 1 月在广西壮族自治区桂林市雁山区雁山镇进行,试验地平均海拔为 152 m,年平均气温为 20.5 ℃,平均降水量为 1750 mm。试验地土壤质地为中壤,前茬为西瓜,0~20 cm 土壤耕层 pH 为 4.48,有机质含量(w,后同)为 36.6 g·kg⁻¹,水解性氮含量为 174.6 mg·kg⁻¹,有效磷含量为 158.0 mg·kg⁻¹,速效钾含量为 109.0 mg·kg⁻¹。

1.2 供试材料

供试萝卜品种为桂白 1 号,生长期为 55~90 d,肉质根为长圆柱形,白色,成熟时单根质量为 600~1200 g,由广西万川种业有限公司提供;供试肥料氮肥为尿素(含 N 46%)、磷肥为过磷酸钙(含 P₂O₅ 16%),均由云南云天化股份有限公司提供;钾肥为硫酸钾(含 K₂O 52%),由国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司提供。

1.3 试验设计

采用“3414”肥料试验设计,设 N、P、K 3 个因素,每个因素 4 个水平(0、1、2、3),共 14 个处理。4 个水平的含义:0 水平指不施肥,2 水平指当地推荐施肥量,1 水平=2 水平×0.5,3 水平=2 水平×1.5。2 水平下 N、P₂O₅、K₂O 施用量均为 225 kg·hm⁻²。小区面积为 2.8 m×7 m,3 次重复,随机区组排列。每个小区氮、磷、钾肥按相应质量混合后作为基肥撒施,具体施肥量见表 1。采取膜下滴灌方式种植,1 畦 4 行,畦面宽 1.2 m,沟宽 20 cm,按株距 25 cm、行距 35 cm 穴播。萝卜于 2023 年 10 月 16 日播种,2024 年 1 月 4 日收获。所有小区除肥料不同

表 1 萝卜“3414”肥料试验设计、施肥量和成本
Table 1 ‘3414’ experimental design, fertilization amount and costs of radish

处理 Treatment	水平值 The level value/(kg·hm ⁻²)			施肥量 The amount of fertilizer/(kg·hm ⁻²)			肥料成本 The cost of fertilizer/ (Yuan·hm ⁻²)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	尿素 Urea	过磷酸钙 Calcium superphosphate	硫酸钾 Potassium sulphate	
N ₀ P ₀ K ₀ (CK)	0	0	0	0	0	0	0
N ₀ P ₂ K ₂	0	225.0	225.0	0	1 406.25	432.69	8 861.54
N ₁ P ₁ K ₂	112.5	225.0	225.0	244.57	1 406.25	432.69	9 957.19
N ₂ P ₀ K ₂	225.0	0	225.0	489.13	0	432.69	4 865.34
N ₂ P ₁ K ₂	225.0	112.5	225.0	489.13	703.13	432.69	7 959.09
N ₂ P ₂ K ₂	225.0	225.0	225.0	489.13	1 406.25	432.69	11 052.84
N ₂ P ₃ K ₂	225.0	337.5	225.0	489.13	2 109.38	432.69	14 146.59
N ₂ P ₂ K ₀	225.0	225.0	0	489.13	1 406.25	0	8 378.80
N ₂ P ₂ K ₁	225.0	225.0	112.5	489.13	1 406.25	216.35	9 715.82
N ₂ P ₂ K ₃	225.0	225.0	337.5	489.13	1 406.25	649.04	12 389.86
N ₃ P ₂ K ₂	337.5	225.0	225.0	733.70	1 406.25	432.69	12 148.49
N ₁ P ₁ K ₂	112.5	112.5	225.0	244.57	703.13	432.69	6 863.44
N ₁ P ₂ K ₁	112.5	225.0	112.5	244.57	1 406.25	216.35	8 620.17
N ₂ P ₁ K ₁	225.0	112.5	112.5	489.13	703.13	216.35	6 622.07

外,其他田间生产管理均按照当地常规田间管理措施统一进行。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 萝卜生长性状指标的测定 萝卜收获期,从每个小区随机选择 10 株萝卜,测定株高、株幅、叶片数等地上部性状指标;拔出萝卜后,测定根粗、根长、单根质量等地下部性状指标。各指标测定标准参考《萝卜种质资源描述规范和数据标准》^[20]。

1.4.2 萝卜产量的测定 萝卜收获期,每个小区单独收获萝卜,记录各小区萝卜产量,并根据小区面积换算最终产量。

1.4.3 品质指标的测定 收获时,每个小区随机选取 10 株,取萝卜肉质根中段部分进行品质指标测定。参照 GB 5009.3—2016 测定水分含量^[21];参照 NY/T 2637—2014 测定可溶性固形物含量^[22];参照 GB/T 5009.10—2003 测定粗纤维含量^[23]。

1.4.4 各指标计算 经济效益=产值-肥料成本;

增产量=产量-对照产量;

增收=经济效益-对照经济效益;

肥料贡献率/%=增产量/产量×100;

产值计算按 2023 年萝卜市价 1.00 元·kg⁻¹ 计,经济效益计算按 2023 年尿素 4.48 元·kg⁻¹、过磷酸钙 4.40 元·kg⁻¹、硫酸钾 6.18 元·kg⁻¹ 计。

1.5 数据分析

采用 Microsoft Excel 2019 和 SPSS 19.0 软件对数据进行统计分析,采用 Duncan's 法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 氮磷钾肥配施对萝卜地上部生长的影响

由表 2 可知,对照的株高、株幅均显著低于各施肥处理;对照的叶片数与 N₁P₂K₁、N₂P₃K₂ 处理差异显著,但与其他施肥处理无显著差异。株高方面,在 P₂K₂ 水平,N₁、N₂、N₃ 处理分别比 N₀ 提高了 0.66%、15.84%、2.52%;在 N₂K₂ 水平,P₁、P₂、P₃ 处理比 P₀ 显著提高了 22.80%、23.98%、42.45%;在 N₂P₂ 水平,K₀、K₁、K₂、K₃ 处理之间差异不显著。株幅、叶片数方面,各氮、磷、钾施肥水平之间均无显著差异。表明氮、磷、钾肥配施对萝卜株高具有促进作用,但对株幅、叶片数影响不大。

2.2 氮磷钾肥配施对萝卜肉质根的影响

由表 3 可知,对照的根粗、根长、单根质量均最小。根粗方面,在 P₂K₂ 水平,N₀、N₁、N₂、N₃ 处理之间无显著差异;在 N₂K₂ 水平,P₀ 处理显著高于 P₂、P₃;钾肥的效应态势与氮肥相同。根长方面,在 N₂P₂ 水

表 2 氮磷钾配施对萝卜地上部生长的影响
Table 2 Effects of different proportion of N, P and K combined application on aboveground part of radish

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	株幅 Plant width/cm	叶片数 Leaf number
N ₀ P ₀ K ₀ (CK)	28.36±2.08 g	46.53±2.48 c	16.89±1.02 c
N ₀ P ₂ K ₂	38.07±2.00 ef	56.29±1.72 ab	18.00±0.33 bc
N ₁ P ₂ K ₂	38.32±3.21 def	56.23±3.55 ab	18.11±0.19 bc
N ₂ P ₀ K ₂	35.57±1.53 f	52.55±1.70 b	18.78±0.39 bc
N ₂ P ₁ K ₂	43.68±4.16 bcd	53.77±2.06 ab	18.00±0.67 bc
N ₂ P ₂ K ₂	44.10±2.65 bc	53.13±2.53 ab	17.56±1.64 bc
N ₂ P ₃ K ₂	50.67±4.04 a	55.37±2.70 ab	19.44±1.17 ab
N ₂ P ₂ K ₀	46.32±3.51 ab	56.94±3.21 ab	18.55±0.69 bc
N ₂ P ₂ K ₁	41.02±2.00 bcdef	53.68±4.12 ab	17.78±0.51 bc
N ₂ P ₂ K ₃	45.20±2.65 b	52.37±2.04 b	19.22±0.19 bc
N ₃ P ₂ K ₂	39.03±1.00 cdef	57.70±2.25 a	18.89±1.58 bc
N ₁ P ₁ K ₂	38.15±2.65 ef	56.94±0.41 ab	19.00±2.90 bc
N ₁ P ₂ K ₁	39.36±4.51 cdef	57.43±2.64 ab	21.44±0.96 a
N ₂ P ₁ K ₁	42.27±1.53 bcde	56.18±3.56 ab	19.11±1.50 bc

注:同列不同字母表示差异显著($p<0.05$)。下同。

Note: Different letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level. The same below.

表 3 氮磷钾肥配施对萝卜地下部生长的影响
Table 3 Effects of N, P and K combined application on underground part of radish

处理 Treatment	根粗 Root diameter/mm	根长 Root length/cm	单根质量 Root mass per plant/g
N ₀ P ₀ K ₀ (CK)	56.70±3.61 e	25.02±1.66 d	505.67±12.55 f
N ₀ P ₂ K ₂	59.40±1.20 cde	29.47±1.49 abc	640.58±13.60 e
N ₁ P ₂ K ₂	60.65±3.20 bcd	28.60±1.23 bc	629.11±15.66 e
N ₂ P ₀ K ₂	65.13±1.04 a	29.44±0.96 abc	694.89±22.4 cd
N ₂ P ₁ K ₂	63.06±3.09 abc	32.16±2.59 a	778.94±19.47 a
N ₂ P ₂ K ₂	59.60±1.22 bcde	29.62±0.69 abc	696.22±9.83 cd
N ₂ P ₃ K ₂	60.73±1.19 bcd	30.69±1.08 abc	660.56±21.23 de
N ₂ P ₂ K ₀	59.99±0.98 bcde	27.40±2.92 cd	643.89±18.28 e
N ₂ P ₂ K ₁	59.32±1.88 cde	29.77±1.22 abc	661.64±13.29 de
N ₂ P ₂ K ₃	62.22±0.40 abcd	31.53±0.80 ab	752.78±18.58 ab
N ₃ P ₂ K ₂	62.54±1.66 abcd	30.90±0.84 ab	718.91±8.43 bc
N ₁ P ₁ K ₂	63.37±0.91 ab	31.70±1.26 ab	771.22±45.29 a
N ₁ P ₂ K ₁	58.68±1.71 de	29.13±2.66 abc	654.48±29.52 e
N ₂ P ₁ K ₁	59.75±2.74 bcde	30.45±2.17 abc	713.14±14.62 c

平,K₃ 处理的效果最好,显著高于 K₀;增施氮肥、磷肥对萝卜根长的影响不明显。单根质量方面,在 P₂K₂ 水平,N₃ 处理显著高于 N₀、N₁;在 N₂K₂ 水平,P₁ 处理显著高于其他 P 处理;钾肥的效应态势与氮肥相同。表明增施氮肥、钾肥对萝卜肉质根的生长有显著促进作用,过量施用磷肥反而不利于单根质量增长,其中以 N₂P₁K₂ 处理表现最优。

2.3 氮磷钾肥配施对萝卜品质的影响

由表4可知,对照萝卜的水分、可溶性固形物含量均最低。水分含量方面,在 P_2K_2 水平, N_0 、 N_1 、

表4 氮磷钾肥配施对萝卜品质的影响 Table 4 Effects of N, P and K combined application on quality of radish			
处理 Treatment	w(水分) Moisture content	w(可溶性固形物) Soluble solids content	w(粗纤维) Crude fiber content
$N_0P_0K_0$ (CK)	93.98±0.27 d	3.23±0.25 e	0.79±0.04 a
$N_0P_2K_2$	94.88±0.22 abc	3.50±0.12 bc	0.77±0.04 ab
$N_1P_2K_2$	95.00±0.40 abc	3.27±0.15 de	0.73±0.05 abc
$N_2P_0K_2$	94.69±0.53 bcd	3.80±0.10 a	0.77±0.05 ab
$N_2P_1K_2$	95.15±0.33 ab	3.63±0.06 ab	0.73±0.05 abc
$N_2P_2K_2$	95.33±0.39 ab	3.77±0.12 a	0.72±0.05 abc
$N_2P_3K_2$	95.18±0.49 ab	3.63±0.15 ab	0.74±0.06 abc
$N_2P_2K_0$	94.69±0.47 bcd	3.37±0.12 cde	0.68±0.03 c
$N_2P_2K_1$	94.73±0.50 bcd	3.63±0.06 ab	0.75±0.05 abc
$N_2P_2K_3$	95.73±0.50 a	3.47±0.06 bcd	0.76±0.02 abc
$N_2P_3K_2$	95.13±0.48 ab	3.50±0.10 bc	0.72±0.04 abc
$N_1P_1K_2$	95.20±0.43 ab	3.70±0.10 ab	0.69±0.04 bc
$N_1P_2K_1$	94.24±0.38 cd	3.70±0.20 ab	0.75±0.04 abc
$N_2P_1K_1$	94.52±0.84 bcd	3.63±0.15 ab	0.73±0.04 abc

N_2 、 N_3 处理之间无显著差异;在 N_2P_2 水平, K_3 处理显著高于 K_0 、 K_1 处理;磷肥效应态势与氮肥相同。可溶性固形物含量方面,在 P_2K_2 水平, N_2 处理显著高于其他处理;在 N_2K_2 水平,4个磷肥处理间差异不显著;钾肥的效应态势与氮肥相同。粗纤维含量方面,在 N_2K_2 水平,4个磷肥处理间差异不显著;钾肥、氮肥的效应态势与磷肥相同。从产量水平看(表5),产量最高的处理 $N_2P_1K_2$,其水分含量、可溶性固形物含量均处于较高水平,较对照分别提高了1.24%、12.38%,较常规施肥分别降低了0.19%、3.71%,粗纤维含量处于中间水平,较对照降低了7.59%,较常规施肥提高了1.39%。

2.4 氮磷钾肥配施对萝卜产量和经济效益的影响

由表5可知,对照产量最低,为 $56\,775.04\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,显著低于各施肥处理; $N_2P_1K_2$ 处理产量最高,为 $88\,263.53\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,显著高于其他处理,较对照显著增产55.46%,较常规施肥显著增产13.97%。在 P_2K_2 水平, N_1 、 N_2 、 N_3 处理产量分别较 N_0 提高了1.07%、9.41%、13.81%,钾肥也呈同样的趋势,而磷肥则呈先升高后降低的趋势。 $N_0P_2K_2$ 、 $N_2P_0K_2$ 、 $N_2P_2K_0$ 缺素处理的产量较 $N_2P_2K_2$ 处理产量分别降低了

表5 氮磷钾肥配施对萝卜产量和经济效益的影响 Table 5 Effects of N, P and K combined application on yield and benefit of radish					
处理 Treatment	产量 Yield/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	增产量 Increased yield/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	经济效益 Economic benefit/ ($\text{Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$)	增收 Increase income/ ($\text{Yuan}\cdot\text{hm}^{-2}$)	肥料贡献率 Fertilizer contribution rate/%
$N_0P_0K_0$ (CK)	56 775.04±2 501.26 g	0	56 775.04	0	0
$N_0P_2K_2$	70 778.09±1 788.77 f	14 003.05	61 916.55	5 141.51	19.78
$N_1P_2K_2$	71 533.02±1 309.64 f	14 757.98	61 575.83	4 800.79	20.63
$N_2P_0K_2$	75 184.27±1 875.42 de	18 409.23	70 318.93	13 543.89	24.49
$N_2P_1K_2$	88 263.53±1 608.76 a	31 488.49	80 304.44	23 529.40	35.68
$N_2P_2K_2$	77 441.17±1 424.17 d	20 666.13	66 388.33	9 613.29	26.69
$N_2P_3K_2$	74 019.21±2 379.51 ef	17 244.17	59 872.62	3 097.58	23.30
$N_2P_2K_0$	72 151.61±381.92 ef	15 376.57	63 772.81	6 997.77	21.31
$N_2P_2K_1$	72 643.72±836.44 ef	15 868.68	62 927.90	6 152.86	21.84
$N_2P_2K_3$	84 353.27±2 082.47 b	27 578.23	71 963.41	15 188.37	32.69
$N_2P_3K_2$	80 555.81±2 065.65 c	23 780.77	68 407.32	11 632.28	29.52
$N_1P_1K_2$	84 834.43±2 185.81 b	28 059.39	77 970.99	21 195.95	33.08
$N_1P_2K_1$	72 920.08±1 490.44 ef	16 145.04	64 299.91	7 524.87	22.14
$N_2P_1K_1$	80 670.45±1 533.34 c	23 895.41	74 048.38	17 273.34	29.62

$6\,663.08$ 、 $2\,256.90$ 、 $5\,289.56\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。与对照相比,各施肥处理经济效益提高5.46%~41.44%,收入增加 $3\,097.58$ ~ $23\,529.40\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$,其中经济效益最高的是 $N_2P_1K_2$ 处理,为 $80\,304.44\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$,其增收和肥料贡献率也最高,三者较常规施肥分别提高了

20.96%、144.76%、33.68%。说明合理配施氮磷钾肥可以提高肥料利用率,达到节肥增效的目的。

2.5 萝卜肥料效应模型的建立

以氮、磷、钾肥的用量为自变量,产量(Y_1)和经济效益(Y_2)为因变量,分别建立萝卜产量、经济效

表 6 施肥效益的肥料模型
Table 6 The fertilizer response models on fertilizer benefit

肥料效应方程 Fertilizer response model	决定系数 Determination coefficient	p 值(F 检验) p value(F test)
$Y_1=57\ 350.8+70.585N+40.746P+102.996K-0.144N^2-0.305P^2-0.032K^2+0.238NP-0.191NK-0.055PK$	0.729 3	1.62×10^{-8}
$Y_2=57\ 350.8+60.846N+13.246P+91.112K-0.144N^2-0.305P^2-0.032K^2+0.238NP-0.191NK-0.055PK$	0.662 6	4.37×10^{-7}

益的肥料效应函数模型(表 6)。经 F 检验,2 个方程的 p 值均小于 0.01,相关性达到了极显著水平。2 个方程均存在最大值,即 N 和 P_2O_5 均为 $0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 K_2O 为 $1\ 589.48\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,萝卜产量最高,为 $139\ 203.69\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$;当 N 和 P_2O_5 均为 $0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 K_2O 为 $1\ 406.04\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,萝卜经济效益最高,为 $121\ 403.56\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。结果显示,当单独施用较大的钾肥时可以显著提升萝卜的产量和经济效益,然而氮肥和磷肥在此模型中对产量和效益的提升并不显著。

2.6 萝卜合理施肥区间的确定

在三元二次方程模型的基础上,采用频率分析法优化萝卜施肥方案。以产量 $\geq 100\ 000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 且经济效益 $\geq 80\ 000\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 为条件,未能筛选到符合条件的组合,这表明在现有的数据范围内,要同时实现较高的产量和经济效益较为困难。以产量 $\geq 80\ 000\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 且经济效益 $\geq 70\ 000\text{ 元}\cdot\text{hm}^{-2}$ 为条件,可筛选出 4 组符合条件的施肥方案,其推荐的施肥量是 N 、 P_2O_5 均为 $18.75\sim 206.25\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, K_2O 为 $112.5\sim 225.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (表 7)。

表 7 氮磷钾肥配施方案频率分析
Table 7 The combined application frequencies on N, P and K fertilizer levels

因素水平 Factor level	N			P			K		
	施用量 Using amount/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	频次 Frequency	频率 Rate/%	施用量 Using amount/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	频次 Frequency	频率 Rate/%	施用量 Using amount/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	频次 Frequency	频率 Rate/%
0	0	2	50	0	2	50	112.5	1	25
1	112.5	1	25	112.5	1	25	225.0	3	75
2	225.0	1	25	225.0	1	25			
合计 Total		4	100		4	100		4	100
均值 Mean/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	112.5			112.5			168.75		
标准误差 Standard error	93.75			93.75			56.25		
推荐施肥量区间 Recommended fertilizer amount range/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	18.75~206.25			18.75~206.25			112.50~225.00		

3 讨论与结论

施肥是萝卜高产栽培的重要环节,由于萝卜生长周期相对较短,合理施肥尤为关键。笔者通过“3414”肥料试验表明,适量的氮、磷肥可有效促进萝卜地上部分生长,增施氮肥萝卜株高先增加后降低;增施磷肥,株高逐渐增大;钾肥对萝卜地上部增长效果不明显,氮、钾肥的肥效与陈发波等^[24]的研究结果一致,而磷肥的肥效不一致,可能与试验地块、试验方法不同有关。根是萝卜的重要食用部分,根茎的大小直接影响到萝卜产量。本试验结果表明,

增施氮肥、钾肥对萝卜肉质根的生长有促进作用,过量施用磷肥会抑制肉质根生长。

水分、可溶性固形物和粗纤维含量是影响萝卜口感的主要品质因素。本试验结果表明,不同配比氮磷钾肥对萝卜品质影响较大。增施钾肥可有效促进肉质根水分的积累;增施氮肥、钾肥,肉质根可溶性固形物含量呈先增后减的趋势,说明氮肥、钾肥过量反而会抑制可溶性固形物积累。该研究表明合理施肥可以提高萝卜品质,为更精准地优化施肥策略,还应进一步研究氮、磷、钾肥配施比例对萝卜品质关键成分合成途径所涉及的相关酶和基因

表达的调控机制,从生理代谢层次和分子机制角度揭示肥料组合施用在改善萝卜品质中的重要性。

从产量结果来看,与常规施肥相比,缺少氮、钾肥任何一种肥料均会显著降低萝卜产量,缺少磷肥对产量影响不大,氮肥影响最大,钾肥次之,磷肥最小,丁文成等^[25]、张新星等^[26]研究发现,对萝卜产量的影响程度是氮>磷>钾,本试验结果与其不完全一致,可能与供试土壤肥力不同有关。与对照相比,合理的氮磷钾肥配施能够显著提高萝卜的产量,其中 $N_2P_2K_2$ 处理 ($N\ 225.0\ kg\cdot hm^{-2}$ 、 $P_2O_5\ 112.5\ kg\cdot hm^{-2}$ 、 $K_2O\ 225.0\ kg\cdot hm^{-2}$) 的增产量最高,达 $31\ 488.49\ kg\cdot hm^{-2}$,增收 $23\ 529.40\ 元\cdot hm^{-2}$,肥料贡献率为 35.68%,根长和单根质量均高于其他处理,水分和可溶性固形物含量均处于较高水平,粗纤维含量处于中间水平,适合在桂北地区推广应用。

施肥是影响萝卜产量和经济效益的重要因素,而实际生产中存在不同产地的土壤氮、磷、钾元素含量不同及其吸收效果不同等情况,导致各地在萝卜生产中的肥料用量及配比差异较大。本试验环境和种植条件下,萝卜高产高效的施肥方案为: N 、 P_2O_5 均为 $18.75\sim 206.25\ kg\cdot hm^{-2}$, K_2O 为 $112.50\sim 225.00\ kg\cdot hm^{-2}$,萝卜产量和经济效益能分别稳定达到 $80\ 000\ kg\cdot hm^{-2}$ 和 $70\ 000\ 元\cdot hm^{-2}$ 以上,但本试验施肥标准仅适用于桂北地区相似肥力的土壤,后续将探讨土壤肥力与施肥量与萝卜需肥量、品质的关系,进一步优化萝卜提升产量与品质的施肥技术,以达到萝卜标准化种植的目的。

参考文献

- [1] 胡海娇,汪精磊,胡天华,等.“十三五”我国萝卜遗传育种研究进展[J].中国蔬菜,2022(10):20-26.
- [2] 崔志超,杨雅婷,刘先才,等.我国萝卜机械化生产现状及发展建议[J].中国蔬菜,2020(8):1-8.
- [3] 包崇来,汪精磊,胡天华,等.我国萝卜产业发展现状与育种方向探讨[J].浙江农业科学,2019,60(5):707-710.
- [4] 山楠,申丽敏,刘继培,等.养分专家系统推荐施肥在萝卜上的应用效果[J].应用生态学报,2020,31(11):3719-3728.
- [5] 聂大杭,陈蕾蕾,刘淑艳.不同氮肥、有机肥用量对比对番茄产量及养分分布的影响[J].中国农学通报,2022,38(21):32-35.
- [6] 魏全全,苟久兰,张萌,等.氮磷钾配施对贵州高山甘蓝产量、养分吸收及利用的影响[J].中国瓜菜,2022,35(12):40-46.
- [7] 张倩,孔小平,齐晓雨.不同施肥水平对胡萝卜生长发育的影响[J].中国土壤与肥料,2024(11):98-106.
- [8] 聂金,谭芷,王军伟,等.氮磷钾配施对辣椒产量、品质的影响[J].中国瓜菜,2021,34(10):80-87.
- [9] 葛长军,闫良,代俊芬,等.黄州萝卜优化施肥及保鲜技术研究[J].蔬菜,2023(6):33-36.
- [10] 张佳佳,丁文成,艾超,等.优化施肥对萝卜产量和肥料利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2019,25(2):187-199.
- [11] 张俊花,刘萌,孙国庆,等.不同施肥处理对青萝卜产量和品质的影响[J].北方园艺,2021(11):10-17.
- [12] 袁伟玲,王晴芳,袁尚勇,等.萝卜适宜施氮量和氮肥基追比例研究[J].植物营养与肥料学报,2014,20(3):696-701.
- [13] 魏全全,张萌,顾小凤,等.氮肥用量对高寒地区白萝卜产量与养分吸收利用的影响[J].贵州农业科学,2023,51(6):40-47.
- [14] 武秀侠,王凤新,褚利云,等.不同灌水方式及施氮量对萝卜产量和氮肥利用效率的影响[J].灌溉排水学报,2015,34(增刊1):29-34.
- [15] 张秋萍,荣利,周鹤,等.有机肥与无机肥配施对萝卜产量和品质的影响[J].上海蔬菜,2020(6):56-59.
- [16] 刘春华,覃周民,董汉成,等.不同配方肥对萝卜生长及品质的影响[J].长江蔬菜,2017(24):66-68.
- [17] 罗金强,樊建军,冯兴,等.生物有机肥替代部分化肥对萝卜产量及经济效益的影响[J].南方农业,2020,14(13):23-25.
- [18] 张贵龙,任天志,李志宏,等.施氮量对白萝卜硝酸盐含量和土壤硝态氮淋溶的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(4):877-883.
- [19] 樊新华,孙振伟,王秋涛,等.氮肥形态和施肥水平对樱桃萝卜产量及品质的影响[J].北方园艺,2011(22):38-40.
- [20] 李锡香,沈镒.萝卜种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2008.
- [21] 国家卫生和计划生育委员会.食品安全国家标准食品中水分的测定:GB 5009.3—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [22] 中华人民共和国农业部.水果和蔬菜可溶性固形物含量测定折射仪法:NY/T 2637—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [23] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.植物类食品中粗纤维的测定:GB/T 5009.10—2003[S].北京:中国标准出版社,2003.
- [24] 陈发波,李春明,姚启伦,等.不同施肥处理对胭脂萝卜主要性状的影响[J].安徽农业大学学报,2016,43(3):441-446.
- [25] 丁文成,何萍,张佳佳,等.萝卜养分需求特征及养分专家推荐施肥方法验证[J].植物营养与肥料学报,2023,29(7):1202-1212.
- [26] 张新星,王玉,孙志梅,等.不同养分管理措施下萝卜的产量效应和养分利用效应比较[J].河北农业大学学报,2017,40(4):25-30.