

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.22769

有机无机肥料配施对生姜养分吸收和产量及品质的影响

窦昂洋¹, 程 艳², 涂书新^{1*}

(1. 华中农业大学资源与环境学院, 湖北 武汉 430070; 2. 武汉沃农肥业有限公司, 湖北 潜江 433133)

摘 要: 我国生姜生产中不合理施肥现象普遍, 研究不同有机无机肥用量及配比对生姜生长、营养品质及其产量的影响可为生姜高效施肥和优质生产提供参考依据, 同时, 也是提高生姜生产效益、保护生态环境的重要措施。在大田条件下, 以山东莱芜大姜 (*Zingiber Officinale* Roscoe) 为供试材料, 以有机肥和无机肥为试验因子, 采用 2 因素 3 水平完全区组设计, 即分别设计有机和无机肥料低、中、高 3 种施肥水平共 9 组处理组合的专用肥, 进行田间小区试验。所有有机肥和无机肥均作为基肥。在生姜成熟时随机采取各小区 3 株生姜样品, 分别测定其生长参数、养分吸收量、品质指标和产量。研究发现, 各种有机无机肥配施的生姜专用肥均促进生姜生长发育, 提高 N、P、K、Fe、Zn 等矿质元素的吸收、改善生姜品质, 并增加生姜产量。综合比较以 T6 (有机肥 45 t · hm⁻² + 复合肥 2.25 t · hm⁻², 即施用有机肥 N+P₂O₅+K₂O=400.5+1390.5+1165.5 kg · hm⁻², 配施复合肥 N+P₂O₅+K₂O=337.5+135+450 kg · hm⁻²) 处理总体效果最好, 是最佳肥料处理组合。与对照相比, 提高了成熟期地上部和姜块 N、P、K 含量, 分别为 30.07% 和 25.57%、31.73% 和 67.68%、43.33% 和 62.37%; 提高姜块可溶性糖、可溶性蛋白、姜辣素和姜黄素含量分别为 32.42%、54.15%、35.10% 和 49.25%; 各处理生姜增产达到 15.76% ~ 66.38%。试验结果表明, 有机无机肥配施可有效促进生姜生长, 提高生姜养分吸收, 改善姜块品质, 增加生姜产量。综合考虑, 以有机肥 45 t · hm⁻² + 复合肥 2.25 t · hm⁻² 为最佳农艺施肥方案, 建议在相关地区推广应用。

关键词: 生姜; 专用肥; 养分吸收; 品质; 产量

生姜是药食兼用的多功能经济作物, 其姜块富含优质的营养成分和功能物质, 是我国重要的特产创汇农产品^[1-2]。我国是生姜种植、生产和出口大国, 年均收获生姜面积占世界总收获面积的 39.05%, 单产量达 34.92 ~ 46.95 t · hm⁻², 单产水平世界第一, 年出口量占世界总出口量的 40%^[3-5]。生姜是一种生长周期长, 养分吸收量大的蔬菜园艺植物^[6], 通过施肥可直接影响生姜质量安全及产量。研究发现, 合理施肥能促进生姜生长发育, 提高姜块养分吸收, 增加生姜产量, 提升姜块品质。如艾希珍等^[7]发现施用 N 600 kg · hm⁻²、P₂O₅ 112.5 kg · hm⁻² 和 K₂O 600 kg · hm⁻² 时, 生姜茎秆分枝多且粗壮、叶面积大、株高增长、产量增加, 同时增施适量氮肥可促进生姜对氮、磷的吸收, 适

量增施磷肥可显著提高生姜氮、磷、钾吸收量; 李录久等^[8]在施用 N 300 kg · hm⁻² 的基础上进一步增施钾肥 450 kg · hm⁻², 生姜株高、茎粗、分枝数、地上部和姜块生物量均显著提高, 增产量达到 36.37%, 且随施用量的增加, 提高效果越显著; 徐坤^[9]和朱宏斌等^[10]研究发现, 合理增施氮肥或钾肥可显著提高生姜株高、分枝数、姜块鲜重, 促进生姜生长, 增加姜块养分分配率, 从而提高生姜产量; Majumdar 等^[11]对生姜适量施用钾肥后, 生姜产量显著提高, 氮、钾吸收量显著增加; 而与有机肥配施, 增产幅度更高, 还能改善姜块品质, 有效提升姜块蛋白质、糖分、姜辣素等含量; Sanwal 等^[12]通过田间试验研究发现, 经过禽粪与适量化肥配施的处理, 生姜块茎产量显著高于其他处理, 增产 24.93 t · hm⁻², 还可提高姜块蛋白质、可溶性糖和姜精油等含量。同样, 在萝卜^[13], 水稻^[14]、辣椒^[15]和甘蔗^[16]上的研究也得到类似结果。

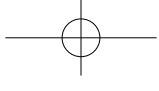
然而, 虽然生姜是一个古老的作物, 但其现代施肥技术的研究并没有得到足够的重视。近年来, 不合理施肥已成为生姜养分管理的首要问题。姜农偏施氮、磷肥, 不施或少施钾肥, 忽视微量元素的投入,

收稿日期: 2022-12-08; 录用日期: 2023-06-22

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFC180030); 湖北省技术创新专项重大项目 (2017ABA154); 广西科技重大专项项目 (桂科 AA17202026)。

作者简介: 窦昂洋 (1996-), 硕士, 主要从事农业环境科学与工程研究, E-mail: 844139966@qq.com。

通讯作者: 涂书新, E-mail: stu@mail.hzau.edu.cn。



氮、磷、钾比例失调现象突出,引起土壤养分缺失和失衡,肥力下降,阻碍生姜生长和养分积累,降低品质,导致产量剧减,严重制约生姜产业的发展^[7]。目前有关生姜施肥效应的研究只是通过改变施肥水平,研究单施某种肥料对生姜生长的综合效应,只反映某种元素的适宜投入量,无法得到最适生姜的肥料组合,研究结果总体上既少又不系统,同时平衡施肥和有机无机肥配施对生姜生长发育、养分吸收、品质提升和产量的影响未见系统报道。因此,开展生姜高产高效施肥技术研究,因地制宜地推广生姜平衡施肥是当前生姜生产中急需解决的关键技术^[17]。

基于前人的研究基础及生姜营养原理,假设有机无机肥料配施及合理用量是提高生姜产量、改善生姜营养品质、促进生姜生产可持续发展的关键措施。因此,本项研究在大田条件下,通过多因素多水平随机区组试验,明确不同有机无机肥配施及用量对生姜生长、营养品质和产量的影响,筛选并探究适合生姜“高产优质”的最佳有机无机配施组合,旨在为生姜高效施肥提供技术支撑,为生姜高效优质生产提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于2021年3—11月在湖北省汉川市沉湖镇赵湾村田水湾生态农业园(113° 47' 07" E, 30° 43' 36" N)进行。该地区为江汉平原腹地,光照充足,气候湿润,年均气温 16 ~ 18℃,年均无霜期 246 d 左右,年降水量 997 ~ 1200 mm,其自然条件适合生姜的生长。大田供试土壤为该区广泛分布的石灰性冲积土,质地为砂壤土。试验开始前,每块试验田采用五点采样法采集原始土壤,经自然风干、磨细、过筛,储存备用。土壤基本理化性质如下:pH 值 8.24,碱解氮 52.49 mg · kg⁻¹,有效磷 72.26 mg · kg⁻¹,速效钾 113.20 mg · kg⁻¹,有机质 19.80 g · kg⁻¹。

供试农作物选用山东莱芜大姜,品种为山农一号,由湖北盈亮农业科技有限公司提供。该品种具有姜块大,地上茎粗壮,叶片色深且抗逆性强、产量高等优点。

供试肥料根据该生姜品种生长发育所需养分^[18-19],配制有机无机复合肥。肥料养分含量设计如下:(1)专用有机肥:养分含量 N 0.89%, P₂O₅ 3.09%, K₂O 2.59%,全碳 52%;(2)专用复合肥:养分含量 N 15%、P₂O₅ 6%、K₂O 20%、SiO₂ 10% (Si);(3)专用

水溶肥: N 35%、P₂O₅ 5%、K₂O 5%。

1.2 试验设计

本试验为大田小区试验,采用 2 因素 3 水平完全区组设计。设计 3 个有机肥施用量水平: 22.5、45.0、67.5 t · hm⁻²; 相当于 N 200.3、400.5、607.5 kg · hm⁻²; P₂O₅ 695.3、1390.5、2085.8 kg · hm⁻²; K₂O 582.8、1165.5、1748.2 kg · hm⁻²。设计 3 个复合肥施用量水平: 0.75、1.5、2.25 t · hm⁻²; 相当于 N 112.5、225.0、337.5 kg · hm⁻²; P₂O₅ 45、90、135 kg · hm⁻²; K₂O 150、300、450 kg · hm⁻²。合计处理 3 × 3 = 9 个, 1 个不施肥对照 (CK), 共计 10 个处理。上述有机肥和复合肥均作为基肥施用,其中有机肥为全田均匀撒施,用旋耕机混匀。之后,用开沟机开沟 30 cm,把复合肥施用在沟中,盖一层土壤。随后播种生姜,覆土、浇透水,最后盖地膜。

在试验期间,除对照外,各处理分 3 次追施生姜专用水溶肥,每次 0.15 t · hm⁻²,设计用量共 0.45 t · hm⁻², 相当于 N 157.5 kg · hm⁻²、P₂O₅ 22.5 kg · hm⁻²、K₂O 22.5 kg · hm⁻²。在 2021 年 6 月 29 日进行第 1 次追施水溶肥,7 月 30 日进行第 2 次追施,9 月 1 日进行第 3 次追施。

设计沟距 0.75 m,沟深 0.30 m。每个小区按 0.75 m × 19.5 m 的矩形设计,面积为 14.6 m²。每组处理设置 3 个重复,总计 30 个小区。根据小区面积和试验设计肥料用量,计算各小区施肥用量,试验各肥料用量见表 1。

表 1 大田试验设计各处理有机无机肥料配比和用量

处理	每公顷用量 (t)			每小区用量 (kg)		
	有机肥	复合肥	水溶肥	有机肥	复合肥	水溶肥
CK	0	0	0	0	0	0
T1	22.5	0.75	0.45	65	0.55	2
T2	22.5	1.5	0.45	65	1.10	2
T3	22.5	2.25	0.45	65	1.65	2
T4	45	0.75	0.45	130	0.55	2
T5	45	1.5	0.45	130	1.10	2
T6	45	2.25	0.45	130	1.65	2
T7	67.5	0.75	0.45	200	0.55	2
T8	67.5	1.5	0.45	200	1.10	2
T9	67.5	2.25	0.45	200	1.65	2

于 2021 年 10 月 20 日生姜成熟期采样,每个处理随机采 3 株生姜样品,分为地上部和姜块两部分,测定各部分株高、根长、茎粗、分枝数和叶绿素含量。每个部分再分为鲜样和干样。鲜样部分迅

速用去离子水洗净,快速分装后放入盛有冰块的保温箱中,然后转存于 -80°C 超低温冰箱保存。干样部分先用自来水将表面杂质清洗干净,再用去离子水润洗数次后擦干,置于样品袋中 105°C 杀青30 min,于 70°C 烘干至恒重,称量各样品干重,用粉碎机粉碎后备用。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 土壤 pH、有机质及养分测定

参照《土壤农化分析》^[20]的方法进行土壤基本理化性质的测定。土壤 pH 值测定采用水浸提-电位法,土水比为 1:2.5;土壤碱解氮测定采用碱解-扩散法;土壤有效磷测定采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法;土壤速效钾测定采用乙酸铵交换-火焰光度法;土壤有机质测定采用重铬酸钾容量法-外加热法。

1.3.2 生姜养分测定

参考《中华人民共和国农业行业标准 植物中氮、磷、钾的测定》(NY/T 2017—2011),准确称取 0.2 g 姜粉,采用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮法消解后定容至 50 mL,采用 AA3 流动注射分析仪(德国 SEAL 公司,德国)测定全氮、磷含量,采用 M410 火焰光度计(英国 Sherwood 公司,英国)测定全钾含量。参考《食品安全国家标准 食品中锌的测定》(GB 5009.14—2017),准确称取 2 g 鲜姜,经 10 mL 混酸($\text{HNO}_3:\text{HClO}_4=9:1$)消化后定容至 25 mL,采用 200 Series AA 火焰原子吸收分光光度计(美国 Agilent 公司,美国)测定全铁、锰、铜、锌含量。

1.3.3 生姜生长参数及产量测定

生姜成熟期每小区随机选取 3 株代表性的生姜植株样品,每株选取第 3 片功能叶片作为测量叶片,使用叶绿素仪(SPAD-502 Plus, Konica Minolta sensing, INC.)测定姜叶 SPAD 值,随后测定生姜株高、茎粗和分枝数,洗净擦干后再分别测定姜块根长、干重、鲜重和含水率,以平均值作为各小区的实测值。生姜收获时,每小区随机采集 3 点植株样品,每点采样面积取 4.87 m^2 ,按小区单独收获计姜块实产(鲜重),并折合成公顷产量^[21]。

1.3.4 生姜品质测定

参考《植物生理生化实验原理和技术》^[22],准确称取 0.2 g 鲜姜,分别采用蒽酮比色法和考马斯亮蓝 G-250 法测定生姜可溶性糖和可溶性蛋白含量;采用紫外分光光度法测定生姜姜辣素和姜黄素含量^[23-24]。

1.4 数据统计分析

本研究所有数据均以 3 次平行试验的平均值作为最终结果,利用 Excel 2019 和 Origin 2018 进行数据处理及制图,应用 SPSS 22.0 对试验数据进行统计分析,5% 水平下采用 Duncan 多重比较检验各处理平均值之间的差异显著性,所有百分数数据作反正弦转换后再进行方差分析。

2 结果与分析

2.1 生姜生长参数

为考察有机无机肥配施对生姜生长的促进效果,于成熟期取样分析测定了生姜各生长参数。结果由表 2 可知,在本试验条件下,与对照相比,各种肥料组合处理均能促进生姜生长。如施用专用肥(T1 ~ T9)处理分别使生姜株高、茎粗、分枝数和姜叶 SPAD 含量较 CK 提高了 13.08% ~ 31.78%、9.29% ~ 51.43%、4.00% ~ 28.00% 和 10.53% ~ 35.34%,同时 T2、T3、T4、T5、T6、T8 处理增加姜块根长 24.81% ~ 79.40%,而姜块含水率未达到显著性增加水平,其中以 T6(有机肥 $45\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$ +复合肥 $2.25\text{ t}\cdot\text{hm}^{-2}$)处理综合效果最好。

2.2 生姜产量

在分叉期和成熟期分别取样的结果表明,与对照相比,不同肥料组合均能提高生姜产量,表明本试验设计的生姜专用肥具有显著的增产效果(图 1)。施用专用肥(T1 ~ T9)处理较 CK 均能显著提高分叉期和成熟期的生姜产量,增产率分别达到 16.25% ~ 98.25% 和 15.76% ~ 66.38%,其中 T6 处理对成熟期生姜增产率达到 66.38%,效果最好。

2.3 生姜矿质养分

2.3.1 氮、磷、钾含量

于成熟期取生姜样品,烘干磨碎制成姜粉测定分析生姜 N、P、K 含量。结果表明,有机无机组合处理显著提升生姜对 N、P、K 的吸收,促进养分积累(表 3)。与 CK 相比,施用肥料(T1 ~ T9)处理分别提高姜块 P 含量、地上部和姜块 K 含量 23.75% ~ 67.68%、17.17% ~ 43.33% 和 25.36% ~ 62.37%;同时 T4 ~ T9 处理提高地上部 N 含量 20.90% ~ 31.07%,以 T6 处理综合效果最好,并且 T6 处理还分别提高姜块 N 含量和地上部 P 含量 25.57% 和 31.73%。

表 2 肥料施用对生姜成熟期生长的影响

处理	株高 (m)	根长 (cm)	叶绿素 SPAD	茎粗 (cm)	分枝数 (个/株)	含水率 (%)
CK	1.07 ± 0.05d	9.03 ± 0.75d	38.57 ± 2.28f	4.67 ± 0.15g	8.33 ± 0.60e	90.94 ± 0.09e
T1	1.26 ± 0.04c	8.33 ± 0.60d	42.63 ± 1.45e	5.10 ± 0.20f	8.67 ± 0.58de	91.05 ± 0.00e
T2	1.26 ± 0.04c	11.93 ± 1.54bc	48.10 ± 0.56bcd	5.37 ± 0.15e	9.00 ± 1.00cde	90.60 ± 0.04f
T3	1.35 ± 0.06ab	12.53 ± 0.70bc	46.90 ± 1.44d	5.67 ± 0.12d	9.67 ± 0.65abcd	91.48 ± 0.09d
T4	1.36 ± 0.04a	16.20 ± 0.75a	50.37 ± 2.05ab	5.73 ± 0.17cd	10.00 ± 0.00abc	90.10 ± 0.07g
T5	1.41 ± 0.03a	13.17 ± 0.65b	49.77 ± 0.04abc	6.50 ± 0.20b	10.33 ± 0.55ab	92.31 ± 0.01c
T6	1.41 ± 0.04a	12.47 ± 0.95bc	52.20 ± 2.17a	7.07 ± 0.21a	10.67 ± 0.62a	94.61 ± 0.07a
T7	1.21 ± 0.02c	6.47 ± 0.65e	47.27 ± 1.16cd	5.50 ± 0.10de	8.67 ± 0.54de	93.21 ± 0.26b
T8	1.28 ± 0.06bc	11.27 ± 0.97c	49.47 ± 1.12bcd	5.93 ± 0.12c	10.00 ± 1.00abc	92.09 ± 0.20c
T9	1.25 ± 0.02c	5.20 ± 0.66e	47.80 ± 0.60bcd	5.60 ± 0.18de	9.33 ± 0.58bcde	93.43 ± 0.21b

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。下同。

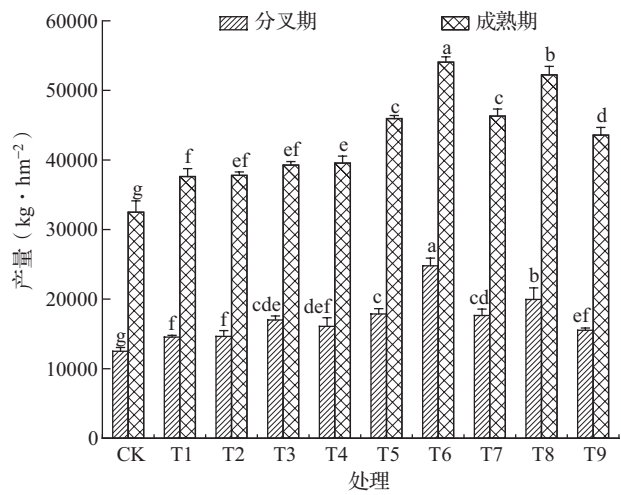


图 1 肥料施用对生姜产量的影响

注：不同小写字母表示同时期不同处理间差异显著 ($P<0.05$)。

2.3.2 铁、锰、铜、锌含量

在本试验条件下，有机无机配合处理还促进成熟期姜块对 Fe、Zn 的吸收，降低对 Mn、Cu 的吸

收 (表 4)。与 CK 相比，施用专用肥 T5、T6 处理对姜块 Fe、Zn 含量分别显著增加 27.44% 和 42.31%、42.40% 和 36.53%，效果最好；而 T1 ~ T9 处理降低姜块 Mn、Cu 含量分别为 8.31% ~ 43.85%、9.16% ~ 40.96%。有关 Mn 和 Cu 的降低效应还需进一步研究。综合来看，各处理提高养分吸收的效果表现为 T6>T5>T4>T8>T3>T7>T2>T9>T1。

2.4 生姜品质

有机无机配施可显著提升生姜品质 (表 5)。结果表明，与 CK 相比，施用肥料 (T2 ~ T9) 处理分别提高生姜可溶性糖、姜辣素和姜黄素含量 13.62% ~ 32.42%、11.23% ~ 35.10% 和 15.93% ~ 49.25%，同时 T3 ~ T9 处理还对生姜可溶蛋白含量显著提高 10.83% ~ 54.15%，综合效果以 T6 处理最佳，其对可溶性糖、可溶性蛋白、姜辣素和姜黄素含量分别提高 32.42%、54.15%、35.10% 和 49.25%，适合该地区生姜高品质优质生产。

表 3 肥料施用对生姜成熟期地上部和姜块氮、磷、钾含量的影响 (mg · g⁻¹)

处理	氮含量		磷含量		钾含量	
	地上部	姜块	地上部	姜块	地上部	姜块
CK	23.52 ± 0.31f	16.17 ± 0.13g	4.18 ± 0.07c	1.92 ± 0.02g	60.53 ± 1.55g	44.51 ± 1.10f
T1	24.01 ± 0.59f	16.55 ± 0.30g	4.67 ± 0.16b	2.37 ± 0.06f	72.03 ± 0.93ef	55.80 ± 1.23e
T2	26.59 ± 0.13e	16.58 ± 0.63g	4.29 ± 0.17c	2.39 ± 0.06f	74.11 ± 3.36def	61.80 ± 0.95d
T3	26.82 ± 0.51e	17.89 ± 0.25f	4.76 ± 0.15b	2.59 ± 0.02e	70.92 ± 2.93f	60.94 ± 1.42d
T4	28.43 ± 0.20d	18.17 ± 0.11ef	5.29 ± 0.23a	2.81 ± 0.07bc	84.37 ± 4.36ab	68.18 ± 2.35bc
T5	30.62 ± 0.57ab	19.73 ± 0.05bc	5.43 ± 0.08a	2.73 ± 0.02cd	81.49 ± 4.17bc	70.95 ± 1.34ab
T6	30.82 ± 0.46a	20.31 ± 0.51ab	5.51 ± 0.33a	3.22 ± 0.02a	86.75 ± 2.36a	72.27 ± 3.22a
T7	29.21 ± 0.55cd	19.16 ± 0.62cd	4.70 ± 0.03b	2.66 ± 0.03de	76.92 ± 0.90cde	67.04 ± 1.42c
T8	29.62 ± 0.51bc	20.88 ± 0.16a	5.34 ± 0.12a	2.67 ± 0.06de	79.63 ± 2.63bc	62.68 ± 1.34d
T9	29.62 ± 0.62bc	18.77 ± 0.72de	4.72 ± 0.12b	2.82 ± 0.05b	77.28 ± 1.68cd	61.50 ± 0.73d

表 4 肥料施用对姜块成熟期铁、锰、铜、锌含量的影响 (mg · kg⁻¹)

处理	铁含量	锰含量	铜含量	锌含量
CK	16.91 ± 0.05c	42.37 ± 3.70a	0.83 ± 0.04a	2.08 ± 0.12d
T1	18.41 ± 1.04c	37.73 ± 2.37bc	0.85 ± 0.03a	2.19 ± 0.12cd
T2	19.45 ± 0.83bc	38.83 ± 0.91ab	0.76 ± 0.03ef	2.22 ± 0.10cd
T3	23.86 ± 1.87a	37.10 ± 1.43bc	0.63 ± 0.00cd	2.39 ± 0.14c
T4	23.13 ± 1.96a	34.38 ± 1.34c	0.56 ± 0.00de	2.63 ± 0.03b
T5	21.55 ± 2.07ab	28.05 ± 1.39d	0.58 ± 0.00b	2.96 ± 0.11a
T6	24.08 ± 0.90a	34.80 ± 3.34bc	0.53 ± 0.01fg	2.84 ± 0.01ab
T7	18.81 ± 0.17c	38.85 ± 1.20ab	0.62 ± 0.00cd	2.25 ± 0.10cd
T8	22.70 ± 0.09a	34.50 ± 0.40c	0.49 ± 0.02g	2.64 ± 0.19b
T9	18.37 ± 0.80c	23.79 ± 2.13e	0.64 ± 0.03c	2.15 ± 0.07cd

表 5 肥料施用对成熟期生姜品质的影响

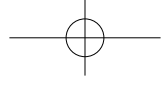
处理	可溶性糖 (%)	可溶性蛋白 (mg · g ⁻¹)	姜辣素 (%)	姜黄素 (mg · g ⁻¹)
CK	5.32 ± 0.11g	4.45 ± 0.56e	2.41 ± 0.06i	0.35 ± 0.01e
T1	5.75 ± 0.12f	4.61 ± 0.28e	2.53 ± 0.05h	0.37 ± 0.01de
T2	6.04 ± 0.08e	4.87 ± 0.29de	2.68 ± 0.05g	0.41 ± 0.02cd
T3	6.23 ± 0.02d	5.57 ± 0.28bc	2.75 ± 0.04fg	0.43 ± 0.03bc
T4	6.28 ± 0.03cd	4.93 ± 0.28de	2.80 ± 0.02ef	0.44 ± 0.02bc
T5	6.58 ± 0.05b	5.90 ± 0.28b	2.93 ± 0.05cd	0.45 ± 0.03bc
T6	7.04 ± 0.10a	6.86 ± 0.20a	3.26 ± 0.08a	0.52 ± 0.02a
T7	6.38 ± 0.07c	4.96 ± 0.05de	2.86 ± 0.03de	0.43 ± 0.03bc
T8	6.71 ± 0.11b	5.56 ± 0.20bc	3.05 ± 0.05b	0.47 ± 0.02b
T9	6.40 ± 0.07c	5.16 ± 0.13cd	2.98 ± 0.04bc	0.45 ± 0.03bc

3 讨论

合理施肥可调控营养代谢，促进作物高优生产，而通过有机无机肥配施则能够满足作物养分平衡供应^[13]，实现作物产量高、养分吸收大、品质好的农业生产效应。研究表明，适量的有机无机肥料配比和用量可以增加土壤养分矿化率，提高肥料利用率，从而有利于作物生长，促进氮、磷、钾的吸收，改善作物营养品质，增加作物产量。如赖多等^[25]通过有机无机肥配施提高土壤 pH 值、有机质和碱解氮含量，增加土壤养分含量，使蕉柑增产 4.4% ~ 12.1%，同时还提升果实中总糖、维生素 C 等品质的含量；丁维婷等^[26]研究发现，有机肥配施化肥可显著提高土壤酶活性 21.04% ~ 95.74%，从而增加土壤养分转化和有效肥力，提升小麦营养品质，增产达 6.93% ~ 111.03%；通过 Meta 分析发现，有机无机配施可以增加土壤有机质含量，进一步提升土壤养分含量，使番茄增产 7% 以上，维生素 C 和可溶性糖含量提高，硝酸盐含量降低^[27-28]。

在本试验大田条件下，有机无机肥配施能促进生姜生长（表 2），提高生姜对矿质养分的吸收（表 3、表 4），提升姜块品质（表 5），进而增加生姜产量（图 1），与上述在不同作物上的研究结果相似。

此外，本研究所用有机无机肥含有丰富的硅、钙、镁、钾等养分元素和腐殖酸等活性物质，这些养分元素和活性物质的施入不仅可以改善土壤理化性质，提高土壤养分含量，而且促进作物根系生长和光合作用，进而提高作物产量和品质^[29]。涂玉婷等^[30]施用硅钙钾镁肥有效缓解土壤 pH 下降，显著提高土壤有效钙、镁等养分含量，增加香蕉果指长，提高维生素 C、可溶性糖和可溶性固形物含量，增产率达 3.82% ~ 5.64%；刘海芝等^[31]施用硅钙钾肥补充了土壤养分含量，促进生姜生长，改善生姜可溶性糖、蛋白质、游离氨基酸等品质成分，增加生姜产量和干物质积累。另外，向土壤中施入硅肥和有机质成分对作物生长、养分吸收具有关键作用。硅对作物生长发育具有良好的作用^[32]，施硅能够缓解植物生物和非生物胁迫，促进植株营



养吸收和转化,增加叶片叶绿素含量和光合能力,提高植株生物积累量和收获产量^[33];而施用黄腐酸、氨基酸等有机质可增强土壤保肥供肥能力,并通过与阳离子交换、螯合、络合和吸附等形式,活化土壤中的硅、氮、磷、钾等营养元素,提高肥料利用率,从而增加植物对微量元素的吸收和转运^[29]。如贺月等^[34]采用硅肥与黄腐酸钾配施改善并活化土壤大量营养元素,使土壤肥力和酶活性提高,增加植株养分含量,促进植株生长;李志鹏等^[35]在基施化肥的基础上增施黄腐酸肥料,有效地改善根系土壤环境,提高烟叶和马铃薯营养品质,其产量也有显著增加。本研究与张国芹^[36]研究结果相似,施用含硅肥料提高了生姜矿质养分含量及吸收量,显著增强生姜抗逆性,促进生姜生长,提高生姜的品质和产量。

基于以上讨论的机制,本研究中,施用的有机无机肥不仅含有硅、钙、钾、氮、镁等矿物质元素,同时还富含黄腐酸等活性有机质功能成分,施入土壤可改变土壤理化性质和有机质含量,增加土壤肥力和养分转化率,使肥料利用率提升,进而促进生姜生长,改善生姜营养品质,增产效果明显。

4 结论

本试验条件下,施用有机无机配比的肥料组合处理均增加了生姜的株高、根长、茎粗、分枝数、叶绿素含量等生长指标,促进了生姜对氮、磷、钾养分吸收,提升了姜块的内在品质,增加了生姜产量。综合各指标结果,T6处理(有机肥 45 t·hm⁻²+复合肥 2.25 t·hm⁻²)是最佳肥料配比和用量,可用于农业生产实际。

参考文献:

[1] 吴晓慧,顾龚平,张卫明,等.姜综合利用及深加工技术研究进展[J].中国野生植物资源,2003,22(3):5-9.

[2] 孙亚青.姜精油的提取、分析及纯化研究[D].北京:中国农业大学,2004.

[3] 吴曼,赵帮宏,宗义湘.世界生姜生产布局与贸易格局分析[J].北方园艺,2019(10):141-150.

[4] 李录久,刘荣乐,陈防,等.生姜的功效及利用研究进展[J].安徽农业科学,2009,37(30):14656-14657,14696.

[5] 郭英华,张振贤,关秋竹.姜的研究进展[J].长江蔬菜,2005(9):38-42.

[6] 吴萍萍,王家嘉,李录久.氮硫配施对生姜生长和氮素吸收的影响[J].植物营养与肥料学报,2015,21(1):251-258.

[7] 艾希珍,赵德婉,曲静然,等.施肥水平对生姜生长及产量的影响[J].中国蔬菜,1997(1):20-23.

[8] 李录久,郭熙盛,丁楠,等.钾氮配施对生姜产量和品质的影响[J].中国土壤与肥料,2003(5):12-16.

[9] 徐坤.生姜对不同氮肥品种的效应[J].中国土壤与肥料,2000(4):17-19.

[10] 朱宏斌,武际,王文军,等.硫酸钾与氯化钾混施对生姜产量和品质的影响[J].安徽农业科学,2003(5):737-738.

[11] Majumdar B, Venkatesh M S, Kumar K, et al. Effect of potassium and farmyard manure on yield, nutrient uptake and quality of ginger (*Zingiber officinale*) in a Typic Hapludalf of Meghalaya [J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2005, 75(12):809-811.

[12] Sanwal S K, Yadav R K, Singh P K. Effect of types of organic manure on growth, yield and quality parameters of ginger (*Zingiber officinale*) [J]. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2007, 77(12):67-72.

[13] 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.

[14] 田艳洪,赵晓锋,怀宝东,等.氮磷钾不同施肥比例对水稻生长及产量的影响[J].黑龙江农业科学,2016(5):50-53.

[15] 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.

[16] 黄振瑞,周文灵,江永,等.优化施肥对甘蔗产量、养分吸收及肥料利用率的影响[J].热带作物学报,2015,36(9):1568-1573.

[17] 李录久,金继运,陈防,等.钾、氮配施对生姜产量和品质及钾素利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2009,15(3):643-648.

[18] 郑艳美.生姜“3414”设计施肥及叶面喷施“天蓝薯宝”营养肥效果研究[J].黑龙江农业科学,2013(5):29-31.

[19] 张立联,李妮,杨岩.氮钾和有机肥在生姜上的肥效研究[J].农业与技术,2019,39(20):5-7,20.

[20] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.

[21] 汪茜,宋娟,李冬萍,等.丛枝菌根真菌及深色有隔内生真菌对大田生姜生长效应分析[J].中国农学通报,2021,37(6):62-67.

[22] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.

[23] 张维勤.姜辣素的测定方法[J].山东农业科学,1991(6):11-14.

[24] 段雪芹.姜黄属药用植物姜黄素的提取、含量测定及抗氧化活性研究[D].雅安:四川农业大学,2013.

[25] 赖多,匡石滋,肖维强,等.有机无机配施减量化肥对蕉柑产量、品质及土壤养分的影响[J].广东农业科学,2021,48(6):23-29.

[26] 丁维婷,武雪萍,张继宗,等.长期有机无机配施对暗棕壤土壤酶活性及春麦产量品质的影响[J].中国土壤与肥料,

2020 (6): 1-8.

[27] 姜玲玲, 刘静, 赵同科, 等. 有机无机配施对番茄产量和品质影响的 Meta 分析 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25 (4): 601-610.

[28] 韩晓玲, 张乃文, 贾敬芬. 生物有机无机复混肥对番茄产量、品质及土壤的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2005 (6): 51-53.

[29] 孙希武, 彭福田, 肖元松, 等. 硅钙钾镁肥配施黄腐酸钾对土壤酶活性及桃幼树生长的影响 [J]. 核农学报, 2020, 34 (4): 870-877.

[30] 涂玉婷, 彭智平, 黄继川, 等. 施用不同品种硅钙钾镁肥对香蕉产量、品质及土壤养分的影响 [J]. 中国农学通报, 2019, 35 (4): 40-45.

[31] 刘海芝, 姜振升, 侯文通, 等. 不同形态硅钙钾肥对生姜生长、产量及品质的影响 [J]. 山东农业科学, 2015, 47 (10): 67-69.

[32] 许佳莹, 朱练峰, 禹盛苗, 等. 硅肥对水稻产量及生理特征影响的研究进展 [J]. 中国稻米, 2012, 18 (6): 18-22.

[33] 王茂辉, 聂金泉, 任勇, 等. 不同硅肥用量对水稻生长的影响研究 [J]. 广东农业科学, 2020, 47 (2): 61-67.

[34] 贺月, 彭福田, 肖元松, 等. 不同施硅处理对桃幼树土壤肥力与生长的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2019 (6): 172-181.

[35] 李志鹏, 刘浩, 于晓娜, 等. 黄腐酸对植烟土壤改良及烟叶品质的影响研究 [J]. 土壤通报, 2016, 47 (4): 914-920.

[36] 张国芹. 硅对生姜生长及生理特性的影响 [D]. 泰安: 山东农业大学, 2008.

Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on nutrient uptake, quality and yield of ginger

DOU Ang-yang¹, CHENG Yan², TU Shu-xin^{1*} (1. College of Resources and Environment, Huazhong Agricultural University, Wuhan Hubei 430070; 2. Wuhan Wonong Fertilizer Industry Ltd., Qianjiang Hubei 433133)

Abstract: The irrational fertilization phenomenon is common in ginger production in our country. Studying the effects of different organic and inorganic fertilizer dosages and ratios on ginger growth, nutritional quality, and yield can provide reference for efficient fertilization and high-quality ginger production. At the same time, it is also an important measure to improve ginger production efficiency and protect the ecological environment. Under field conditions, using Shandong Laiwu ginger (*Zingiber Officinale Roscoe*) as the test material, organic and inorganic fertilizers were used as experimental factors. A two-factor, three-level complete block design was adopted, with a total of 9 treatment combinations, including low, medium, and high levels of organic and inorganic fertilizers. All organic and inorganic fertilizers were applied as base fertilizers. At the mature stage of ginger, three samples of ginger from each plot were randomly collected to measure growth parameters, nutrient absorption, quality indicators, and yield. The study found that the combined application of various organic and inorganic fertilizers promoted ginger growth and development, increased the absorption of mineral elements such as N, P, K, Fe, Zn, improved ginger quality, and increased ginger yield. Comparatively, treatment T6 (organic fertilizer 45 t · hm⁻² + compound fertilizer 2.25 t · hm⁻², i.e., applying organic fertilizer N+P₂O₅+K₂O=400.5+1390.5+1165.5 kg · hm⁻², and applying compound fertilizer N+P₂O₅+K₂O=337.5+135+450 kg · hm⁻²) had the best overall effect and was the best fertilizer treatment combination. Compared with the control, it increased the N, P, and K contents in the aboveground part and ginger rhizomes by 30.07% and 25.57%, 31.73% and 67.68%, 43.33% and 62.37%, respectively; and increased the contents of soluble sugars, soluble proteins, gingerols, and curcumin in ginger rhizomes by 32.42%, 54.15%, 35.10%, and 49.25%, respectively. The yield of ginger in each treatment was increased from 15.76% to 66.38%. The experimental results indicate that the combined application of organic and inorganic fertilizers can effectively promote ginger growth, improve nutrient absorption, enhance ginger rhizome quality, and increase ginger yield. Considering all factors, the best agricultural fertilization scheme is organic fertilizer 45 t · hm⁻² + compound fertilizer 2.25 t · hm⁻², which is worth promoting and applying in related areas.

Key words: ginger; special fertilizer; nutrient absorption; quality; yield