

# 化肥减量配施生物有机肥对生姜产量和品质的影响

付丽军<sup>1</sup>, 王永存<sup>1</sup>, 闫红波<sup>1</sup>, 张璐<sup>1</sup>, 周禹<sup>2</sup>

(1. 唐山市农业科学研究院 河北唐山 063001; 2. 唐山市食品药品综合检验检测中心 河北唐山 063000)

**摘要:**为探索生姜化肥减量施肥技术,在田间试验条件下,设置不施肥(CK)、100%化肥(T1)、90%化肥+4500 kg·hm<sup>-2</sup>生物有机肥(T2)、80%化肥+5400 kg·hm<sup>-2</sup>生物有机肥(T3)、70%化肥+6300 kg·hm<sup>-2</sup>生物有机肥(T4)处理,研究不同施肥方式对生姜产量和品质的影响。结果表明,化肥减量10%~30%配施一定量的生物有机肥能够显著提高生姜产量。其中,T3生姜产量最高,较T1显著增产37.55%。与单施化肥相比(T1),化肥减量配施生物有机肥处理提高了生姜可溶性糖、维生素C和挥发油含量,显著降低了生姜粗纤维和硝酸盐含量。其中,T3处理的可溶性糖和维生素C含量最高;T4处理的挥发油含量最高,粗纤维和硝酸盐含量最低。各处理生姜蛋白质含量高低依次为T1>T2>T3>T4>CK。经隶属函数法综合评价,化肥减量20%配施5400 kg·hm<sup>-2</sup>生物有机肥(T3)处理效果最好,是实现生姜优质高产栽培的良好施肥模式。

**关键词:**生姜;化肥减量;生物有机肥;产量;品质

中图分类号:S632.5 文献标识码:A 文章编号:1673-2871(2022)03-086-06

## Effects of chemical fertilizer reduction combined with microbe-organic fertilizer application on yield and quality of ginger

FU Lijun<sup>1</sup>, WANG Yongcun<sup>1</sup>, YAN Hongbo<sup>1</sup>, ZHANG Lu<sup>1</sup>, ZHOU Yu<sup>2</sup>

(1. Tangshan Academy of Agricultural Sciences, Tangshan 063001, Hebei, China; 2. Tangshan Food and Drug Comprehensive Inspection and Testing Center, Tangshan 063001, Hebei, China)

**Abstract:** Field experiment was conducted to seek effective measures to reduce chemical fertilizer in ginger production. The treatments included zero fertilizer (CK), 100% chemical fertilizer (T1), 90% chemical fertilizer plus 4500 kg·hm<sup>-2</sup> microbe-organic fertilizer (T2), 80% chemical fertilizer plus 5400 kg·hm<sup>-2</sup> microbe-organic fertilizer (T3), 70% chemical fertilizer plus 6300 kg·hm<sup>-2</sup> microbe-organic fertilizer (T4). The results showed that the reduction of chemical fertilizer by 10% to 30% combined with microbe-organic fertilizer significantly increased the yield of ginger. The yield of T3 treatment was the highest, 37.55% higher than that of T1 treatment. The treatments with reduced chemical fertilizer combined with microbe-organic fertilizer increased the contents of soluble sugar, vitamin C and volatile oil, and significantly reduced crude fiber and nitrate in ginger. Ginger soluble sugar and vitamin C content were the highest for T3 treatment. T4 produced ginger had highest volatile oil and lowest crude fiber and nitrate. Ginger protein content for different treatment was T1>T2>T3>T4>CK. Based on the results of this experiment we recommend a reduction of 20% chemical fertilizer combined with 5400 kg·hm<sup>-2</sup> microbe-organic fertilizer for high-quality and high-yield ginger production.

**Key words:** Ginger; Chemical fertilizer reduction; Bio-organic fertilizer; Yield; Quality

生姜(*Zingiber officinale* Rosc.)又称姜、黄姜,是人们日常生活中重要的调味蔬菜之一,其性温、味辛,富含姜辣素、挥发油等芳香辛辣成分<sup>[1]</sup>,具有抗氧化、消炎、排寒、止痛等功效,素有“菜中之祖”“药用黄金”的美誉<sup>[2]</sup>。我国是生姜生产大国,近年来全国生姜栽培面积保持在20万hm<sup>2</sup>左右,年产量

800万t以上,生产面积和总产量均居世界首位<sup>[3]</sup>。然而在生产过程中,由于农民对产量的过度追求以及对化肥作用的盲目夸大,生姜偏施化肥和过量施肥现象十分严重。据山东<sup>[4]</sup>、安徽<sup>[5]</sup>等地调查,生姜产区农民普遍重施化肥,忽视有机肥料、微生物菌肥的使用,土壤养分不足,N、P、K投入比例失调。

收稿日期:2021-04-05;修回日期:2021-08-18

基金项目:河北省“三三三人才工程”资助项目(A202001094);唐山市重点研发计划项目(19150217E)

作者简介:付丽军,女,副研究员,主要从事蔬菜新品种选育及栽培技术研究。E-mail:tsnky123@126.com

通信作者:周禹,男,高级农艺师,主要从事农产品质量控制及安全生产技术研究。E-mail:zhouyu0002003@126.com

长期不合理的施肥方式一方面导致肥料吸收利用率下降,生产成本增加;另一方面化肥大量施入造成了生姜土壤酸化、次生盐渍化,土壤板结、质量恶化问题加重,制约了生姜产量和效益的进一步提高。因此,研究生姜化肥减量施肥技术、优化生姜产区施肥结构,是改善生姜土壤质量,提高生姜产量和品质的根本途径。

已有研究表明,利用生物有机肥替代部分化肥,可以在减少化肥用量的同时,改善土壤生态环境,提高肥料利用率,促进作物生长发育,提高作物产量和品质<sup>[6-7]</sup>。合理的化肥和生物有机肥配施能够促进油菜<sup>[8]</sup>、莴笋<sup>[9]</sup>、西瓜<sup>[10]</sup>等作物的生长,使其产量显著提高,可溶性蛋白、维生素 C 含量等品质指标显著提升。目前,关于生物有机肥在生姜上的应用效果研究相对较少,针对化肥减量配施不同用量生物有机肥对生姜产量和品质影响的研究尚未见报道。因此,笔者以河北省主栽品种冀姜 5 号为材料,通过设置不同用量生物有机肥与化肥配比试验,探讨不同施肥方式对生姜生长、产量以及品质的影响,旨在筛选适宜的化肥减量施肥技术方法,为实现生姜优质、高产栽培和科学合理施肥提供理论依据。

## 1 材料与方方法

### 1.1 材料

供试生姜品种为冀姜 5 号,由唐山市农业科学研究院生姜课题组选育并提供。供试生物有机肥为纯牛粪经充分腐熟发酵配制而成,内含有有机质 $\geq 45\%$ ,有效活菌数 $\geq 2$ 亿 $\cdot g^{-1}$ , $N+P_2O_5+K_2O \geq 5\%$ ,中微量元素 $\geq 0.5\%$ ;化肥为长效三元复合肥( $m_N:m_P:m_K=15:5:18$ ),含 N 15%、 $P_2O_5$  5%、 $K_2O$  18%,均由河北沔田宝农业科技有限公司提供。供试土壤为砂壤土,pH 7.0,有机质含量( $w$ ,后同)1.24%,碱解氮含量 24.57  $mg \cdot kg^{-1}$ ,速效磷含量 45.39  $mg \cdot kg^{-1}$ ,速效钾含量 130.40  $mg \cdot kg^{-1}$ 。

### 1.2 方法

试验于 2019 年 4—10 月在唐山市农业科学研究院试验地进行,小拱棚栽培,行距 70 cm,株距 18 cm,4 月 16 日播种,10 月 23 日收获。共设置 5 个处理。CK:不施肥,T1:100%化肥,T2:90%化肥+4500  $kg \cdot hm^{-2}$ 生物有机肥,T3:80%化肥+5400  $kg \cdot hm^{-2}$ 生物有机肥,T4:70%化肥+6300  $kg \cdot hm^{-2}$ 生物有机肥,各处理肥料配比及用量见表 1。化肥作基肥施入 20%,小培土期、大培土期、根茎膨大期作追肥各

施用 1 次,用量分别占总量的 25%、40%和 15%,生物有机肥按化肥施入时期同比例施入。小区面积 36.4  $m^2$ ,每小区定植 260 株,随机区组设计,3 次重复。其他田间管理措施一致。

表 1 各处理肥料配比及施肥量

处理	生物有机肥施用量/ $(kg \cdot hm^{-2})$	化肥施用量/ $(kg \cdot hm^{-2})$		
		N	$P_2O_5$	$K_2O$
不施肥(CK)	0	0	0	0
100%化肥(T1)	0	450	150	540
90%化肥+生物有机肥(T2)	4500	405	135	486
80%化肥+生物有机肥(T3)	5400	360	120	432
70%化肥+生物有机肥(T4)	6300	315	105	378

### 1.3 项目测定

收获前 7 d,每小区随机选取植株 5 株,测量株高、茎粗,用叶面积仪(YMJ-B)测量上数第 3、4 片功能叶的叶面积,用 SPAD 仪(SPAD-502 PLUS)测量叶片叶绿素含量。生姜收获后按小区测产,每个小区随机抽取 3 个点,每点取 10 株,测量单株根茎鲜质量、根茎长和根茎宽。每处理根茎混合取样 3 kg,用于测定蛋白质、维生素 C、可溶性糖、粗纤维、硝酸盐含量等品质指标。蛋白质含量按照 GB/T 5009.5—2016 第一法测定,维生素 C 含量按照 GB 5009.86—2016 第二法测定,可溶性糖含量按照 NY/T 1278—2007 测定,挥发油含量按照 ISO 6571—2008 测定,粗纤维含量按照 GB/T 5009.10—2003 测定,硝酸盐含量用硝基水杨酸法测定<sup>[11]</sup>。

### 1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2007 进行数据处理;采用 SPSS 19.0 软件进行方差分析和相关性分析,采用 Duncan-test 进行显著性检验;利用隶属函数法进行综合评价<sup>[12]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对生姜生长指标的影响

由表 2 可知,与单施化肥(T1)相比,化肥减量配施生物有机肥处理的株高、茎粗、分枝数、叶面积均有不同程度的增加。其中,T3 处理的株高、茎粗、分枝数和叶面积最高,分别较 T1 处理显著提高 5.61%、10.43%、22.89%和 6.14%;T2 处理的株高、分枝数和叶面积较 T1 处理显著提高 4.99%、18.07%和 3.93%;T4 处理的茎粗、分枝数和叶面积较 T1 处理显著提高 6.61%、14.46%和 5.01%。T2 处理的茎粗和 T4 处理的株高与 T1 处理差异不显著。

表2 不同施肥处理对生姜生长指标的影响

处理	株高/cm	茎粗/mm	分枝数/(个·株 <sup>-1</sup> )	叶面积/cm <sup>2</sup>
CK	66.18±3.49 c	10.13±0.65 d	5.1±0.70 c	52.79±3.07 c
T1	89.23±4.75 b	13.62±0.79 c	8.3±1.29 b	66.43±3.34 b
T2	93.68±3.55 a	14.10±0.89 bc	9.8±1.01 a	69.04±2.71 a
T3	94.24±2.62 a	15.04±0.83 a	10.2±1.15 a	70.51±2.93 a
T4	91.81±2.84 ab	14.52±0.84 ab	9.5±1.06 a	69.76±3.10 a

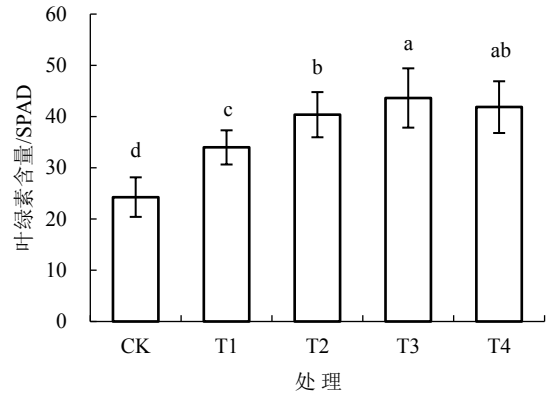
注:表中同列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著,下同。

2.2 不同施肥处理对生姜叶片叶绿素含量的影响

由图 1 可以看出,与单施化肥(T1)相比,化肥减量配施生物有机肥处理的生姜叶片叶绿素含量显著提升。其中,以 T3 处理最高,较 T1 处理提高 28.40%;其次为 T4 处理,较 T1 处理提高 23.13%;T2 处理的叶片叶绿素含量较 T1 处理提高 18.81%。T3 处理的叶片叶绿素含量与 T2 处理差异显著,与 T4 处理差异不显著。

2.3 不同施肥处理对生姜产量的影响

由表 3 可知,与单施化肥(T1)相比,化肥减量



注:不同小写字母表示不同处理在 0.05 水平差异显著。下同。

图 1 不同施肥处理对生姜叶片叶绿素含量的影响

配施生物有机肥处理的生姜根茎长和根茎鲜质量显著增加,T2、T3、T4 处理的根茎长较 T1 处理分别提高 12.64%、14.72%和 8.62%;根茎鲜质量分别较 T1 处理提高 28.34%、35.22%和 15.47%。T2、T3、T4 处理的根茎宽虽较 T1 处理略有增加,但差异不显著。

表3 不同施肥处理对生姜产量的影响

处理	根茎宽/cm	根茎长/cm	根茎鲜质量/g	小区产量/kg	折合产量/(kg·hm <sup>-2</sup> )	较 CK+/%	较 T1+/%
CK	13.00±0.50 b	16.30±0.72 c	413.33±17.56 d	102.35±3.91 d	28 119.05±1 068.11 d		
T1	20.73±1.17 a	27.37±0.91 b	745.67±36.00 c	189.38±8.55 c	52 026.37±2 349.50 c	85.02	
T2	22.10±1.01 a	30.83±1.25 a	957.00±27.06 ab	247.87±5.49 a	68 095.24±1 829.62 a	142.17	30.89
T3	21.67±0.71 a	31.40±1.11 a	1 008.33±45.09 a	260.50±10.98 a	71 565.02±3 015.38 a	154.51	37.55
T4	20.93±0.99 a	29.73±1.20 a	861.00±61.99 b	221.25±15.46 b	60 783.52±4 247.35 b	116.16	16.83

与不施肥(CK)和单施化肥(T1)相比,化肥减量配施生物有机肥处理的生姜产量显著提高。其中,T3 处理的生姜产量最高,显著高于 T1 和 T4 处理,较 CK 增产 154.51%,较 T1 增产 37.55%;其次为 T2 处理,与 T3 处理差异不显著,较 CK 增产 142.17%,较 T1 增产 30.89%;T4 处理的生姜产量显著低于 T2 和 T3 处理,较 CK 增产 116.16%,较 T1 增产 16.83%。单施化肥处理(T1)较 CK 增产 85.02%。

2.4 不同施肥处理对生姜品质的影响

由图 2 可以看出,各处理中以 T1 处理蛋白质含量最高,随化肥用量的降低,生姜蛋白质含量呈下降趋势,T2、T3、T4 处理分别较 T1 处理降低 7.87%、13.78%和 26.24%。其中,T3、T4 与 T1 处理差异显著,T2 和 T1 处理差异不显著。各处理的可溶性糖和维生素 C 含量为 T3>T2>T4>T1>CK。其中,T3 处理的可溶性糖和维生素 C 含量分别较 T1 处理显著提高 23.35%和 8.22%,T2 处理的可溶性糖含量以及 T4 处理的可溶性糖、维生素 C 含量与

T1 处理差异不显著。与 CK 和 T1 相比,化肥减量配施生物有机肥处理使生姜粗纤维含量显著降低,3 个处理中以 T4 处理粗纤维含量最低,但与 T2 和 T3 处理差异不显著。各处理的挥发油含量结果为 T4>T3>T2>T1>CK。其中,T4 处理的挥发油含量较 T1 处理显著提高 19.70%,T3 和 T2 处理较 T1 处理分别提高 9.85%和 6.90%,但差异不显著。

随化肥用量的降低,生姜的硝酸盐含量呈明显降低趋势,T2、T3、T4 处理的硝酸盐含量分别较 T1 处理显著降低 13.30%、23.09%和 36.06%,T4 处理硝酸盐含量显著低于 T2、T3 处理,T2 和 T3 处理硝酸盐含量差异不显著。

2.5 生姜产量和品质指标的相关性分析

对各项指标进行相关性分析,结果见表 4。生姜的株高、茎粗、分枝数、叶面积、叶绿素含量以及维生素 C、可溶性糖含量与产量呈极显著性正相关;蛋白质、挥发油和硝酸盐含量与产量相关性不显著,粗纤维含量与产量呈显著性负相关,表明生姜产量和品质性状之间既相互影响又相互制约,单一

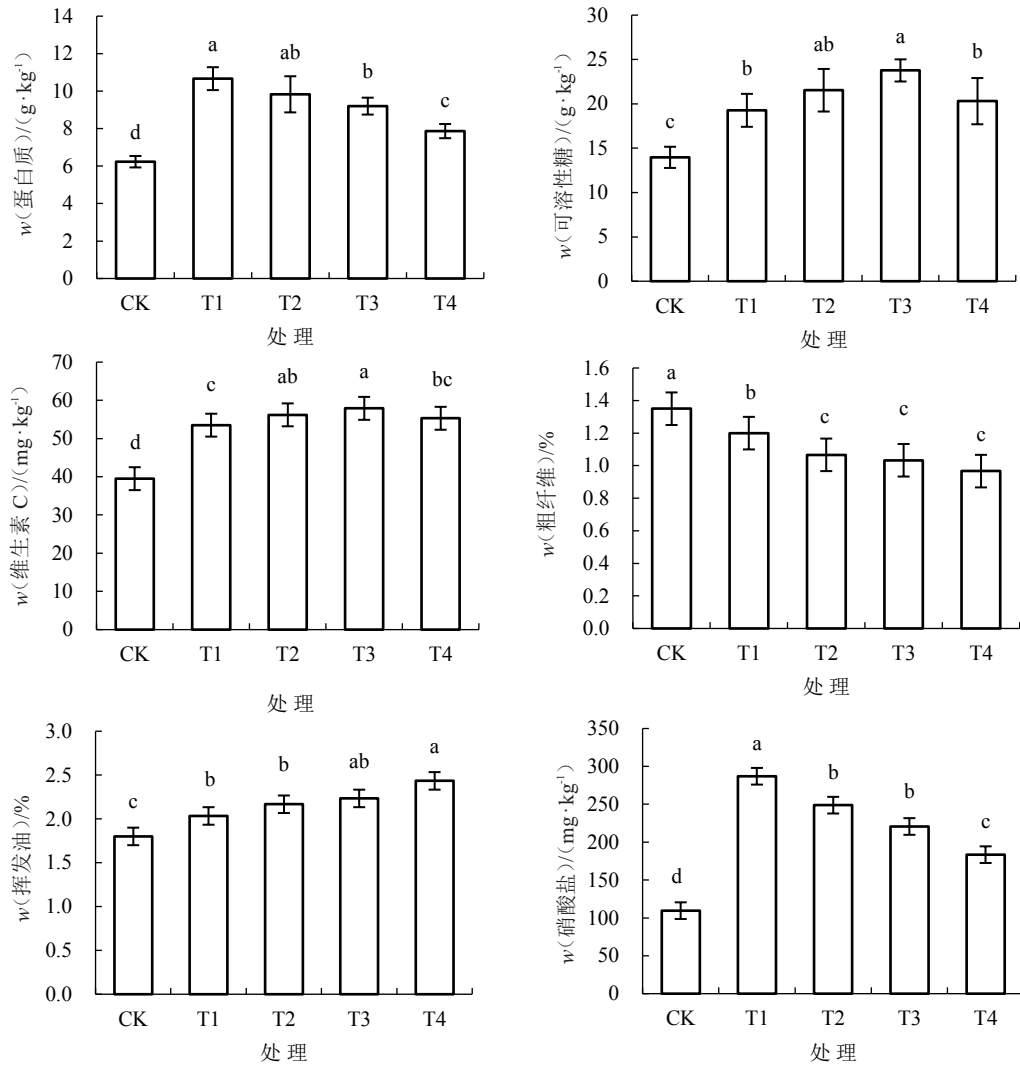


图2 不同施肥处理对生姜品质的影响

表4 生姜生长、产量和品质指标的相关性分析

指标	产量	株高	茎粗	分枝数	叶面积	叶绿素含量	蛋白质含量	维生素C含量	可溶性糖含量	粗纤维含量	挥发油含量
株高	0.97**										
茎粗	0.96**	0.98**									
分枝数	0.99**	0.98**	0.99**								
叶面积	0.96**	0.99**	0.99**	0.99**							
叶绿素含量	0.98**	0.94**	0.97**	0.98**	0.96**						
蛋白质含量	0.65	0.76	0.68	0.66	0.70	0.52					
维生素C含量	0.97**	1.00**	0.99**	0.99**	1.00**	0.96**	0.69				
可溶性糖含量	0.98**	0.94**	0.96**	0.97**	0.94**	0.96**	0.57	0.96**			
粗纤维含量	-0.90*	-0.88*	-0.92**	-0.93**	-0.92**	-0.97**	-0.31	-0.89*	-0.86*		
挥发油含量	0.81	0.80	0.87*	0.86*	0.87*	0.91*	0.25	0.82*	0.76	-0.98**	
硝酸盐含量	0.64	0.77	0.68	0.66	0.71	0.52	1.00**	0.75	0.65	-0.39	0.32

注:\*、\*\*分别表示在0.05水平上显著相关和0.01水平上极显著相关。

指标并不能准确地评价不同施肥方式对生姜产量和品质的影响,必须采用综合评价方法对其进行全面评价。

### 2.6 综合评价

采用隶属函数法对不同施肥处理进行综合评价,结果见表5。3个化肥减量配施生物有机肥处理的综合评分均高于单施化肥(T1)和不施肥(CK)处理。其中,80%化肥+5400 kg·hm<sup>-2</sup>生物有机肥

表5 不同施肥处理对生姜产量及品质影响的综合评价

处理	产量	株高	茎粗	分枝数	叶面积	叶绿素含量	蛋白质含量	维生素C含量	可溶性糖含量	粗纤维含量	挥发油含量	硝酸盐含量	平均隶属度	排序
CK	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.08	5
T1	0.55	0.82	0.71	0.64	0.77	0.50	1.00	0.76	0.54	0.39	0.37	0.00	0.59	4
T2	0.92	0.98	0.81	0.92	0.92	0.83	0.81	0.91	0.77	0.74	0.59	0.22	0.78	3
T3	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.67	1.00	1.00	0.84	0.68	0.37	0.88	1
T4	0.75	0.91	0.89	0.87	0.96	0.91	0.37	0.86	0.65	1.00	1.00	0.58	0.81	2

(T3)的综合评分最高,位列第1;其次为70%化肥+6300 kg·hm<sup>-2</sup>生物有机肥(T4),位列第2;第3为90%化肥+4500 kg·hm<sup>-2</sup>生物有机肥(T2)处理。

### 3 讨论和结论

合理施肥是提高农作物产量、改善品质的有效途径<sup>[13]</sup>。在农业生产过程中,我国普遍存在过量施用化肥、有机肥料施用不足的现象,长期不合理的施肥结构是农田土壤功能退化、养分比例失调、农作物产量和品质下降的重要原因<sup>[14]</sup>。已有研究表明,生物有机肥在调控作物生长、提高产量和改善品质方面发挥了重要作用<sup>[15-16]</sup>,适量的生物有机肥和化肥配施不仅可以减少化肥投入,还能促进作物养分吸收,增强植物光合能力,提高植株抗逆性,更有利于作物生长<sup>[17]</sup>。笔者发现,与单施化肥相比,化肥减量10%~30%条件下,增施4500~6300 kg·hm<sup>-2</sup>生物有机肥增加了生姜的株高、茎粗、分枝数和叶面积,显著提高了生姜的根茎长、根茎鲜质量及单株产量,说明在减量30%化肥范围内,配施一定量的生物有机肥有利于生姜地上部生长,能有效促进生姜分蘖和地下根茎膨大,这与唐宇等<sup>[18]</sup>、张迎春等<sup>[19]</sup>、李杰等<sup>[20]</sup>利用生物有机肥替代部分化肥促进番茄、莴笋、花椰菜等作物生长的研究结果一致。已有研究表明,施用生物有机肥可提高油菜<sup>[8]</sup>、蒜苗<sup>[21]</sup>等作物的叶绿素含量、根系活力以及抗氧化能力,植株光合作用和干物质积累能力显著增强。在本研究中,化肥减量配施生物有机肥处理显著提升了生姜的叶绿素含量,推测生物有机肥促进生姜生长的原因之一可能是通过提高叶片光合色素含量,增强了植物的光合能力,从而增加了碳水化合物的合成和贮存,最终为实现作物高产、稳产奠定了基础。

从本试验结果来看,各处理中以化肥减量20%配施5400 kg·hm<sup>-2</sup>生物有机肥处理生姜形态指标和产量最高,显著高于单施化肥处理;当化肥减量30%、生物有机肥用量为6300 kg·hm<sup>-2</sup>时,生姜形态

指标有所下降,产量也较化肥减量20%处理显著降低,表明生物有机肥对生姜的增产作用随化肥用量的降低而减弱。这与宋以玲等<sup>[22]</sup>、于建等<sup>[23]</sup>在玉米、番茄上的研究结果一致,生物有机肥替代化肥的用量宜掌握在10%~30%,超过30%以上可能会造成减产。因此,在实际生产中应掌握好生物有机肥与化肥的配比,以达到最佳增产效果。

不同施肥方式对果实品质也有着重要影响。本试验结果表明,在化肥减量10%~30%的条件下,增施生物有机肥能够提高生姜的维生素C、可溶性糖和挥发油含量,显著降低粗纤维含量,其中化肥减量20%配施5400 kg·hm<sup>-2</sup>生物有机肥处理的生姜维生素C、可溶性糖含量以及化肥减量30%配施6300 kg·hm<sup>-2</sup>生物有机肥处理的挥发油含量较单施化肥显著增加。这可能与生物有机肥中富含有机质、多种中微量元素以及有益微生物有关,一些中微量元素直接或间接参与了维生素、氨基酸等营养成分的组成<sup>[24]</sup>;有益微生物能够改善土壤理化性质及微生态系统,便于土壤中有效养分被植物吸收利用<sup>[25]</sup>,有机质为植物生长提供持久营养,满足了生姜各个时期对不同养分的需求。本试验还发现,随化肥用量的降低,生姜蛋白质含量呈明显降低趋势。张玉霞等<sup>[26]</sup>研究认为,低N和低K处理的生姜蛋白质含量较低,增施N肥、K肥可显著提高生姜蛋白质含量,本试验进一步验证了这一结果。但余高等<sup>[27]</sup>、文静等<sup>[9]</sup>研究认为,化肥减量配施有机肥或生物有机肥可以显著提高辣椒和莴笋的蛋白质含量,这可能与不同作物对N、P、K元素的需求不同有关。生姜生育期长,尤其根茎膨大期对N和K的需求量较大,化肥用量的降低导致N、K元素的供给减少,从而使生姜蛋白质含量降低。硝酸盐含量是无公害蔬菜品质监测的重要指标<sup>[25]</sup>。化肥减量配施生物有机肥处理的生姜硝酸盐含量较单施化肥显著降低,表明增施生物有机肥、减施化肥可降低农产品中的硝酸盐含量,提高食品安全性,这与前人研究的结论一致<sup>[20-21,27]</sup>。

利用隶属函数法对不同施肥处理进行综合评价,结果表明,化肥减量 20%配施 5400 kg·hm<sup>-2</sup>生物有机肥处理效果最优。究其原因,可能与生物有机肥中含有大量功能性微生物有关,这些微生物进入土壤后有效改善了植物根际土壤微生物菌群的结构和数量,激活了土壤酶活性,提高了土壤养分的供给能力<sup>[28-29]</sup>,也可能与生物有机肥和化肥配合施用提高了植株对 N、P、K 的吸收、利用和分配<sup>[30]</sup>有关,具体机制有待于进一步研究。

本试验结果表明,通过化肥和生物有机肥合理配施,可以减少 10%~30%化肥用量,有效促进生姜生长发育,显著提高生姜产量,改善生姜品质,在生产中推荐化肥减量 20%配施 5400 kg·hm<sup>-2</sup>生物有机肥,可以起到最佳的增产、提质效果。

### 参考文献

- [1] 王磊,徐坤,李秀.姜种质资源及育种研究现状与展望[J].中国蔬菜,2013(16):1-6.
- [2] 王向东,王永存,马艳芝,等. ISSR 标记在生姜品种遗传多样性中的应用[J].中国农业科技导报,2018,20(7):42-47.
- [3] 张晶,吴建寨,孔繁涛,等. 2020 年我国蔬菜市场运行分析与 2021 年展望[J].中国蔬菜,2021(1):4-10.
- [4] 孙洪新,李春梅,李宝红,等.莱芜市姜田土壤存在问题及防治措施[J].现代农业科技,2010(24):297.
- [5] 王家宝,鄂刚,袁嫚嫚,等.铜陵生姜产区施肥及土壤养分现状分析[J].安徽农业科学,2019,47(15):158-160.
- [6] KUMAR R, DEKA B C, KUMAR M, et al. Productivity, quality and soil health as influenced by organic, inorganic and biofertilizer on field pea in eastern Himalaya[J]. Journal of Plant Nutrition, 2015, 38(13):2006-2027.
- [7] 张俊峰,颜建明,张玉鑫,等.生物有机肥部分替代化肥对日光温室黄瓜产量、品质及肥料利用率的影响[J].中国蔬菜,2020(6):58-63.
- [8] 宋以玲,于建,陈士更,等.化肥减量配施生物有机肥对油菜生长及土壤微生物和酶活性影响[J].水土保持学报,2018,32(1):352-360.
- [9] 文静,张杰,李家慧.化肥减量生物有机复合肥对莴笋产量和品质的影响[J].北方园艺,2017(4):151-155.
- [10] 王恩煜,郗森,李婉茹,等.优化施肥配施蚯蚓粪有机肥对嫁接西瓜产量和品质的影响[J].中国瓜菜,2021,34(5):30-35.
- [11] 邹琦.植物生理学实验指导[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [12] 车江旅,周生茂,尚小红,等.黄瓜种质资源耐热性鉴定[J].浙江农业学报,2012,24(5):808-813.
- [13] 沈仁芳,陈美军,孔祥斌,等.耕地质量的概念和评价与管理对策[J].土壤学报,2012,49(6):1210-1217.
- [14] 姜莉莉,王开运,武玉国,等.施用生物有机肥对番茄果实品质及土壤生物学特性的影响[J].华北农学报,2020,35(6):141-147.
- [15] 李伟明,黄忠阳,魏猷刚,等.生物有机肥对水芹生长及品质的影响[J].中国瓜菜,2021,34(1):65-68.
- [16] YE L, ZHAO X, BAO E C, et al. Bio-organic fertilizer with reduced rates of chemical fertilization improves soil fertility and enhances tomato yield and quality[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1):1-11.
- [17] 谢鹏城,黄鹏,安丹军.配施生物有机肥及化肥减量对玉米间作豌豆土壤微生物及产量的影响[J].甘肃农业大学学报,2014,49(6):41-46.
- [18] 唐宇,包慧芳,詹发强,等.化肥减施条件下配施生物有机肥对番茄生长及品质的影响[J].新疆农业科学,2019,56(5):841-854.
- [19] 张迎春,颜建明,郁继华,等.生物有机肥部分替代化肥对莴笋生长、产量及品质的影响[J].干旱地区农业研究,2020,38(1):66-73.
- [20] 李杰,贾豪语,颜建明,等.生物肥部分替代化肥对花椰菜产量、品质、光合特性及肥料利用率的影响[J].草业学报,2015,24(1):47-55.
- [21] 王庆玲,朱代强,王成,等.化肥减量配施生物有机肥对蒜苗生理特性、产量及品质的影响[J].甘肃农业大学学报,2020,55(4):69-75.
- [22] 宋以玲,于建,陈士更,等.化肥减量配施生物有机肥对玉米生长及土壤微生物和酶活性的影响[J].化肥工业,2019,46(1):55-61.
- [23] 于健,郁继华,冯致,等.微生物肥与化肥配施对基质栽培番茄产量、品质、光合特性及基质微生物的影响[J].甘肃农业大学学报,2017,52(2):41-47.
- [24] 李丽霞.微肥对作物产量、品质的影响及其生态环境效应[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2005.
- [25] 张爱敏,王向东,付丽军,等.不同沼渣有机肥对温室黄瓜产量和品质的影响[J].北方园艺,2017(11):52-56.
- [26] 张玉霞,张国平,钟攀,等.不同肥料组合对生姜产量和品质的影响[J].土壤,2007,39(6):973-977.
- [27] 余高,陈芬,谢英荷,等.化肥减施、有机肥配施对辣椒产量及品质的影响[J].北方园艺,2020(4):47-53.
- [28] QIU M, ZHANG R F, XUE C, et al. Application of bio-organic fertilizer can control *Fusarium* wilt of cucumber plants by regulating microbial community of rhizosphere soil[J]. Biology and Fertility Soils, 2012, 48(7):807-816.
- [29] 孔涛,马瑜,刘民,等.生物有机肥对土壤养分和土壤微生物的影响[J].干旱区研究,2016,33(4):884-891.
- [30] 李小萌,陈效民,曲成闯,等.生物有机肥与减量配施化肥对连作黄瓜养分利用率及产量的影响[J].水土保持学报,2020,34(2):309-317.