

生物有机肥部分替代化肥对生姜产量、养分利用效率及土壤肥力的影响

付丽军¹, 王永存¹, 张璐¹, 王磊², 周禹²

(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:以冀姜5号为试验材料,在田间试验条件下,研究生物有机肥部分替代化肥对生姜产量、养分利用效率及土壤肥力的影响。结果表明,生物有机肥替代10%~30%化肥可显著增加生姜产量,促进氮磷钾素向生姜根茎中积累和分配,提高肥料表观利用率、农学效率和偏生产力,其中20%生物有机肥+80%化肥(T₂)处理生姜产量和肥料表观利用率、农学效率及偏生产力最高,较单施化肥(CF)增产25.60%,纯收益增加22.57%;T₂处理氮磷钾肥表观利用率、农学效率和偏生产力分别显著提高43.25%~173.93%、49.55%~70.40%和13.77%~29.63%。随生物有机肥的增加,土壤有机质含量提高,硝态氮含量显著降低,T₂处理土壤全氮、有效磷、速效钾含量增幅最大。综上所述,20%生物有机肥+80%化肥(4560 kg·hm⁻²生物有机肥配施+2400 kg·hm⁻²化肥)处理为试验条件下生姜最为适宜的施肥模式。

关键词:生姜;生物有机肥;化肥;养分利用效率;土壤肥力

中图分类号:S632.5+S606⁺.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2023)08-077-07

Effects of bio-organic fertilizer partially replacing chemical fertilizer on ginger yield, nutrient utilization and soil fertility

FU Lijun¹, WANG Yongcun¹, ZHANG Lu¹, WANG Lei², ZHOU Yu²

(1. Tangshan Academy of Agricultural Sciences, Tangshan 063001, Hebei, China; 2. Tangshan Food and Drug Comprehensive Inspection and Testing Center, Tangshan 063000, Hebei, China)

Abstract: Jijiang No. 5 was used as experimental material, a field experiment was conducted to study the effects of bio-organic fertilizer partially replacing chemical fertilizer on ginger yield, nutrient utilization and soil fertility under equal chemical fertilizer supplying. The results showed that bio-organic fertilizer replacing 10%-30% chemical fertilizer could significantly increase the yield of ginger, promote the accumulation and distribution of nitrogen, phosphorus and potassium to ginger rhizomes, and improve fertilizer apparent utilization rate, agronomic efficiency and partial productivity. Among them, the treatment of 20% bio-organic fertilizer combined with 80% chemical fertilizer (T₂) had the highest ginger yield, fertilizer apparent utilization rate, agronomic efficiency and partial productivity, significantly increased the yield by 25.60%, and the net income increased by 22.57%, respectively, compared with the single chemical fertilizer treatment (CF). Compared with CF, the apparent utilization rate, agronomic efficiency and partial productivity of nitrogen, phosphorus and Potassium of T₂ treatment were significantly increased by 43.25%-173.93%, 49.55%-70.40% and 13.77%-29.63%, respectively. With the increase of bio-organic fertilizer, the content of soil organic matter improved, and the content of nitrate nitrogen decreased significantly. The content of total nitrogen, available phosphorus and available potassium in T₂ treatment increased the most. In conclusion, 20% bio-organic fertilizer combined with 80% chemical fertilizer (4560 kg·hm⁻² bio-organic fertilizer combined with 2400 kg·hm⁻² chemical fertilizer) was the best fertilization mode for ginger production under the experimental conditions.

Key words: Ginger; Bio-organic fertilizer; Chemical fertilizer; Nutrient utilization rate; Soil fertility

收稿日期:2022-11-09;修回日期:2023-02-08

基金项目:河北省“三三三人才工程”资助项目(A202001094);河北省农业科技成果转化项目(21626405D)

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,正高级农艺师,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

我国是化肥生产和消费大国,单位面积化肥用量超世界平均水平3倍之多^[1]。过量施肥是农田土壤功能退化、养分比例失调、肥料利用率降低的重要原因,由此引发了农作物产量、品质下降,病虫害加重和环境生态安全等一系列问题^[2-3]。合理施肥是农作物增产的基础,施肥制度不仅影响作物的产量和品质,还会显著影响土壤的生态环境和生产力,关系到我国现代农业的健康可持续发展^[4]。随着2015年农业部化肥、农药“双减”政策的提出,有关有机类肥料替代化肥的研究成为农业领域的热点之一。生物有机肥是一类兼具微生物肥和有机肥特点,能够为作物生长提供必要的养分和营养物质,实现有机、无机养分一体和功能互补的肥料^[5]。已有研究表明,生物有机肥和化肥合理配施可以显著提高作物产量,改善土壤理化性状,提升土壤肥力,促进作物对养分的吸收利用^[6-7]。宋以玲等^[8]研究发现,增施生物有机肥部分替代化肥有利于提高土壤酶活性和有效养分含量,增加和改善油菜根际土壤微生物群落的数量和结构,增强植株抗逆性。姜蓉等^[9]研究表明,化肥减量配施生物有机肥能够显著提高设施菊花的株高和花径,增加产量和观赏品质,并提高养分在菊花体内的吸收、分配。王成等^[10]研究表明,与单施化肥相比,配施生物有机肥显著提高了韭菜产量,同时提高了氮、磷、钾肥利用率及其吸收量,氮、磷肥利用率随着生物有机肥用量的增加而提高。

生姜(*Zingiber officinale* Rosc.)作为人们日常生活中主要的香辛调味蔬菜之一,近年来由于种植效益较高,产业规模不断扩大。生姜属于根茎类作物,对养分需求量大,生产上偏施化肥和过量施肥现象十分严重,造成了资源浪费、生产成本增加,显著降低了生姜的产量和品质^[11]。因此,合理施肥是我国生姜产业健康可持续发展急需解决的关键问题。目前关于生姜施肥技术的研究多集中在提高生姜产量方面,关于生物有机肥和化肥配施对生姜氮、磷、钾素吸收利用以及对土壤肥力影响的研究相对较少。为此,笔者通过田间试验,在等量养分投入下,研究生物有机肥部分替代化肥对生姜产量、养分利用效率和土壤肥力的影响,以期探索适宜的生姜化肥减量施肥技术方法,为实现生姜优质高产和科学合理施肥提供理论依据。

1 材料与试验方法

1.1 试验地概况

试验于2021年4—10月在河北省唐山市开平区唐山市农业科学研究院生姜试验田进行,地处北纬39°37',东经118°13',年平均气温12.4℃,年平均降水量1086mm,无霜期190d。试验区土壤为砂壤土,有机质含量(w,后同)1.05%,碱解氮含量32.7mg·kg⁻¹,速效磷含量48.6mg·kg⁻¹,速效钾含量129.6mg·kg⁻¹,pH6.9。

1.2 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提供。供试生物有机肥为腐熟牛粪、多种矿质元素和枯草芽孢杆菌、胶冻类芽孢杆菌、巨大芽孢菌等微生物原料加工而成,含有机质≥45%,有效活菌数≥2亿·g⁻¹,N、P₂O₅、K₂O含量分别为2.0%、1.0%、2.0%;供试化肥为三元复合肥,含N15%、P₂O₅5%、K₂O18%,均由河北洋田宝农业科技有限公司提供。

1.3 试验设计

采用田间试验法,共设置5个处理:CK(不施肥),CF(常规施肥,100%化肥),T1(10%生物有机肥+90%化肥),T2(20%生物有机肥+80%化肥),T3(30%生物有机肥+70%化肥),CF~T3处理氮磷钾总养分相同,各处理肥料用量见表1。生物有机肥分

表1 各处理肥料配比及施用量 (kg·hm⁻²)

处理	生物有机肥				化肥			
	施用总量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	施用总量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CK	0	0.0	0.0	0.0	0	0	0	0
CF	0	0.0	0.0	0.0	3000	450	150	540
T1	2280	45.6	22.8	45.6	2700	405	135	486
T2	4560	91.2	45.6	91.2	2400	360	120	432
T3	6840	136.8	68.4	136.8	2100	315	105	378

别于播种期、小培土期、大培土期按40%、30%和30%比例施入,化肥于同时期分别按20%、30%和50%比例施入。小区面积39.2m²,随机区组排列,3次重复。生姜采用小拱棚覆盖栽培,播种前整地,试验田均匀撒施商品有机肥(纯羊粪发酵,有机质含量≥45%,N+P₂O₅+K₂O≥6%)15000kg·hm⁻²作为基肥,深翻土壤,按行距70cm开沟起垄,4月13日播种,株距18cm,每小区种植310株(7.905×10⁴株·hm⁻²),10月20日收获,其他田间管理措施一致,均按当地生姜常规栽培模式管理。

1.4 项目测定

1.4.1 产量测定 生姜收获后,每小区随机选取3

个点,每点随机取 10 株,称量单株根茎鲜质量,按小区测产并折合单位面积产量。

1.4.2 植株氮、磷、钾含量测定 收获后每小区随机取生姜植株 3 株,分别称量根、地上茎、叶、地下根茎的鲜质量,在鼓风烘箱中 90 °C 杀青 30 min, 65 °C 烘干至恒质量。干样称质量、粉碎、过筛,采用凯氏定氮法、钼锑抗吸光光度法和火焰原子吸收分光光度法分别测定植株各器官氮、磷、钾含量^[12]。

1.4.3 土壤养分指标测定 于生姜根茎膨大期(9月 28 日),每小区随机选取 5 个点,每个点采集生姜根际、两株中间和两行间 0~30 cm 土壤,混合、风干、过筛,采用重铬酸钾容量法^[13]测定土壤有机质含量,电导法^[13]测定土壤 pH,紫外分光光度法^[14]测定土壤硝态氮含量,半微量开氏法^[15]测定土壤全氮含量,火焰光度计法^[16]测定土壤速效钾含量,钼锑抗比色法^[17]测定土壤有效磷含量。

1.5 肥料利用效率相关参数计算

参照前人的方法,计算公式如下^[18-19]:

氮(磷、钾)积累量/(kg·hm⁻²)=氮(磷、钾)养分含量×干物质质量; (1)

肥料表观利用率/%=(施肥区植株养分积累

量-不施肥区植株养分积累量)/纯养分施入量×100%; (2)

肥料农学利用率/(kg·kg⁻¹)=(施肥区作物产量-不施肥区作物产量)/纯养分施入量; (3)

肥料偏生产力/(kg·kg⁻¹)=施肥区作物产量/纯养分施入量。 (4)

1.6 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2019 进行数据处理、分析和作图;采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析,采用 Duncan 法进行处理间的多重比较。

2 结果与分析

2.1 生物有机肥部分替代化肥对生姜产量及经济效益的影响

由表 2 可以看出,与单施化肥相比,生物有机肥部分替代化肥处理提高了生姜根茎鲜质量,显著提高了生姜产量,其中 T2 处理生姜产量最高,显著高于 T1 和 T3 处理,较 CF 增产 25.60%。随着生物有机肥用量的增加,肥料成本随之增加,但 T1、T2、T3 处理的纯收益仍高于 CF,其中 T2 处理纯收益最高,较 CF 增加 22.57%。说明在等量养分投入下,

表 2 不同施肥处理对生姜产量和经济效益的影响

Table 2 Effect of different fertilizer treatment on yield and economic benefit of ginger

处理	根茎鲜质量/g	产量/(kg·hm ⁻²)	肥料成本/(元·hm ⁻²)	产值/(元·hm ⁻²)	纯收益/(元·hm ⁻²)	较 CF 增产/%	较 CF 增收/%
CK	529.83 c	41 353.97 d	0.00	177 822.06 d	177 822.06		
CF	894.67 b	68 151.59 c	11 250.00	293 051.83 c	281 801.83		
T1	980.23 ab	76 654.76 b	16 924.50	329 615.48 b	312 690.98	12.48	10.96
T2	1 106.53 a	85 598.41 a	22 680.00	368 073.17 a	345 393.17	25.60	22.57
T3	1 021.10 ab	78 987.30 b	28 395.00	339 645.40 b	311 250.40	15.90	10.45

注:同列数字后不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

与单施化肥相比,生物有机肥与化肥配施可以提高生姜产量和纯收益,20%生物有机肥配施 80%化肥产量最高和效益最佳。

2.2 生物有机肥部分替代化肥对生姜干物质积累的影响

由图 1 可知,T2 和 T3 处理生姜干物质积累量显著高于 CF,T2 处理地上部、地下根茎和单株干物质质量均最高,分别较 CF 显著提高 31.23%、19.45%和 22.11%;其次为 T3 处理,地上部、地下根茎和单株干物质质量分别较 CF 显著提高 20.65%、15.48%和 16.03%,T2 与 T3 处理间差异不显著。T1 处理地上部、地下根茎和单株干物质质量也较 CF 有所提高,但均与 CF 无显著性差异。说明生物有机肥与化肥配施能够增加生姜植株生物量,有助于生姜根茎干物

质积累,其中 20%生物有机肥配施 80%化肥处理效果最佳,显著优于单施化肥处理。

2.3 生物有机肥部分替代化肥对生姜各器官氮素积累和分配的影响

由表 3 可知,与单施化肥相比,生物有机肥部分替代化肥处理提高了生姜植株氮素积累量,各处理植株氮素积累量由高到低依次为 T2>T3>T1>CF>CK,T2 和 T3 处理与 CF 差异显著,T1 处理与 CF 差异不显著。各器官氮素积累量均以 T2 处理最高,其根、根茎、地上茎和叶片氮素积累量分别较 CF 显著增加 18.78%、35.29%、27.16%和 24.30%;T1 处理根和根茎氮素积累量较 CF 显著增加 14.88%、21.93%;T3 处理根茎氮素积累量较 CF 显著增加 33.90%;T1 和 T3 处理地上茎、叶片以及 T3 处理根

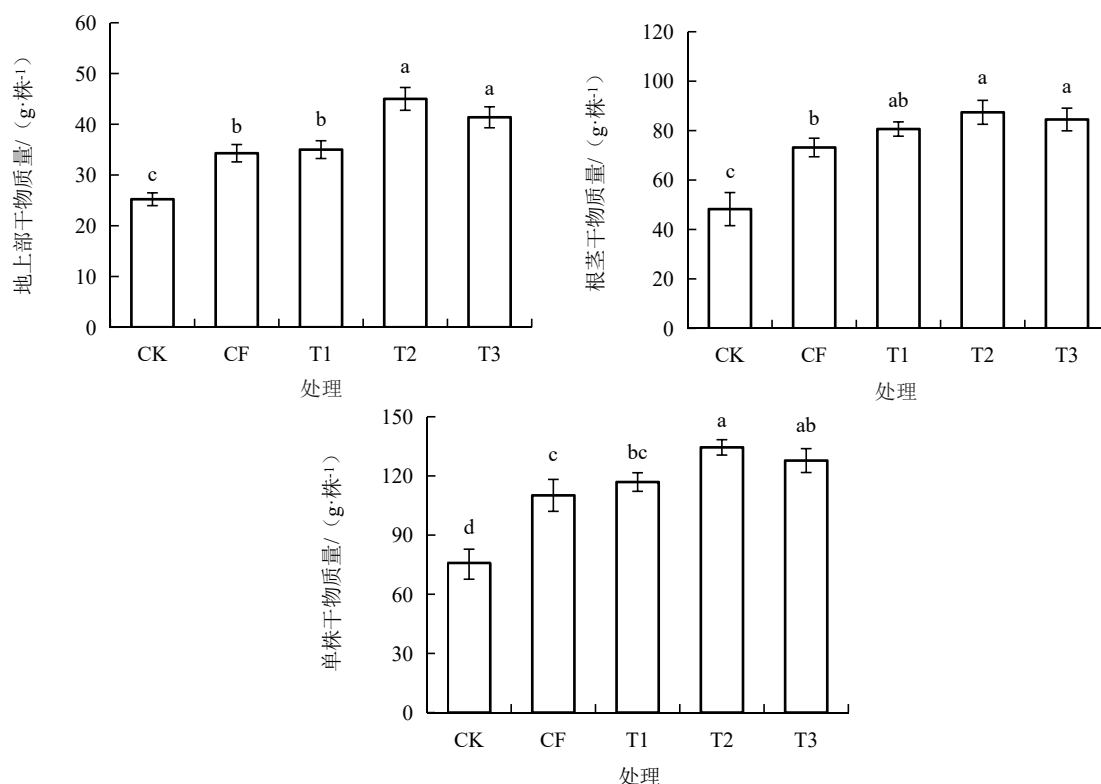


图 1 不同施肥处理对生姜干物质积累的影响

Fig. 1 Effect of different fertilizer treatment on dry matter accumulation of ginger

表 3 不同施肥处理对生姜各器官氮素积累量与分配比例的影响

Table 3 Effect of different fertilizer treatment on nitrogen accumulation and distribution ratio in each organ of ginger

处理	植株氮素积累量/(kg·hm ⁻²)	根		根茎		地上茎		叶片	
		氮素积累量/(kg·hm ⁻²)	分配率/%	氮素积累量/(kg·hm ⁻²)	分配率/%	氮素积累量/(kg·hm ⁻²)	分配率/%	氮素积累量/(kg·hm ⁻²)	分配率/%
CK	54.77 d	1.53 c	2.78 a	20.97 c	38.28 b	4.98 c	9.10 b	27.29 d	49.84 a
CF	172.15 c	4.10 b	2.38 a	79.97 b	46.45 ab	27.76 b	16.13 a	60.32 bc	35.04 b
T1	187.49 bc	4.71 a	2.51 a	97.51 a	52.01 a	29.78 ab	15.88 a	55.49 c	29.60 b
T2	223.34 a	4.87 a	2.18 a	108.19 a	48.44 ab	35.30 a	15.81 a	74.98 a	33.57 b
T3	208.97 ab	4.18 b	2.00 a	107.08 a	51.24 a	30.40 ab	14.55 a	67.31 ab	32.21 b

氮素积累量与 CF 差异不显著。

与单施化肥相比,生物有机肥部分替代化肥处理降低了氮素向生姜叶片及地上茎的分配,提高了生姜根茎的氮素分配率,T1、T2、T3 处理生姜根茎氮素分配率分别较 CF 提高 11.97%、4.28%、

10.31%,但差异均不显著。

2.4 生物有机肥部分替代化肥对生姜各器官磷素积累和分配的影响

由表 4 可知,与单施化肥相比,生物有机肥部分替代化肥处理显著提高了生姜植株磷素积累量,

表 4 不同施肥处理对生姜各器官磷素积累量与分配比例的影响

Table 4 Effect of different fertilizer treatment on phosphorus accumulation and distribution ratio in each organ of ginger

处理	植株磷素积累量/(kg·hm ⁻²)	根		根茎		地上茎		叶片	
		磷素积累量/(kg·hm ⁻²)	分配率/%	磷素积累量/(kg·hm ⁻²)	分配率/%	磷素积累量/(kg·hm ⁻²)	分配率/%	磷素积累量/(kg·hm ⁻²)	分配率/%
CK	8.68 c	0.51 d	5.88 a	3.86 c	44.48 b	1.48 c	17.05 a	2.84 d	32.72 a
CF	17.78 b	0.92 c	5.17 b	10.39 b	58.44 ab	2.66 b	14.96 ab	3.81 c	21.43 b
T1	32.25 a	1.54 ab	4.78 bc	20.18 a	62.57 a	4.73 a	14.67 b	5.80 b	17.98 b
T2	36.17 a	1.65 a	4.56 bc	21.34 a	59.00 ab	5.72 a	15.81 ab	7.46 a	20.63 b
T3	34.79 a	1.41 b	4.05 c	21.78 a	62.60 a	4.89 a	14.06 b	6.72 ab	19.32 b

各处理植株磷素积累量以 T2 处理最高,T1、T2 和 T3 处理间差异不显著。与 CF 相比,T1、T2、T3 处理的根、根茎、地上茎和叶片磷素积累量均显著增加,其中 T2 处理分别较 CF 显著增加 79.35%、105.39%、115.04%、95.80%,T1 处理分别较 CF 显著增加 67.39%、94.23%、77.82%、52.23%,T3 处理分别较 CF 显著增加 53.26%、109.62%、83.83%、76.38%。

与单施化肥相比,生物有机肥部分替代化肥处理抑制了磷素向生姜根和叶片的分配,促进了磷素向生姜根茎的分配,T1、T2、T3 处理生姜根茎磷素分配率分别较 CF 提高 7.07%、0.96%和 7.12%,但差异均不显著。

2.5 生物有机肥部分替代化肥对生姜各器官钾素积累和分配的影响

由表 5 可知,与单施化肥相比,生物有机肥部

分替代化肥处理显著提高了生姜植株钾素积累量,各处理植株钾素积累量以 T2 处理最高,T1、T2 和 T3 处理间差异不显著。与 CF 相比,T2 处理的根、根茎和叶片钾素积累量分别显著增加 32.93%、75.25%和 31.68%;T1 处理的根和根茎钾素积累量分别显著增加 29.40%和 62.31%;T3 处理的根、根茎和叶片钾素积累量分别显著增加 13.82%、59.09%和 32.99%。T1、T2、T3 处理的地上茎钾素积累量和 T1 处理的叶片钾素积累量也较 CF 有所提高,但差异均不显著。

与单施化肥相比,生物有机肥部分替代化肥处理抑制了钾素向生姜根、地上茎和叶片的分配,促进了钾素向生姜根茎的分配,其中 T2 处理生姜根茎钾素分配率最高,T1 处理次之,T1、T2、T3 处理分别较 CF 显著提高 15.01%、15.11%、11.67%。

表 5 不同施肥处理对生姜各器官钾素积累量与分配比例的影响

Table 5 Effect of different fertilizer treatment on potassium accumulation and distribution ratio in each organ of ginger

处理	植株钾素积累量/(kg·hm ⁻²)	根		根茎		地上茎		叶片	
		钾素积累量/(kg·hm ⁻²)	分配率/%	钾素积累量/(kg·hm ⁻²)	分配率/%	钾素积累量/(kg·hm ⁻²)	分配率/%	钾素积累量/(kg·hm ⁻²)	分配率/%
CK	59.17 c	2.23 d	3.77 a	35.71 c	60.35 b	8.19 b	13.84 b	13.03 c	22.02 a
CF	230.32 b	7.38 c	3.20 b	138.10 b	59.96 b	46.65 a	20.25 a	38.19 b	16.58 b
T1	325.04 a	9.55 a	2.94 bc	224.15 a	68.96 a	49.06 a	15.09 b	42.28 ab	13.01 c
T2	350.63 a	9.81 a	2.80 c	242.02 a	69.02 a	48.51 a	13.84 b	50.29 a	14.34 c
T3	328.09 a	8.40 b	2.56 c	219.70 a	66.96 a	49.20 a	15.00 b	50.79 a	15.48 b

2.6 生物有机肥部分替代化肥对肥料利用效率的影响

由表 6 可以看出,T1、T2、T3 处理的氮肥农学效率、偏生产力以及磷肥表观利用率、农学效率均较 CF 显著提高,其中 T2 处理表现最好,其氮肥农学效率、偏生产力以及磷肥表观利用率、农学效率分别较 CF 显著提高 64.67%、25.26%、173.93%和 49.55%。与 CF 相比,T1、T2、T3 处理的氮肥表观利用率分别提高 12.92%、43.25%、30.87%,T2、T3 处理与 CF 差异显著,T1 处理与 CF 差异不显

著;T1、T2、T3 处理磷肥偏生产力分别提高 6.92%、13.77%、0.26%,T1、T2 处理与 CF 差异显著,T3 处理与 CF 差异不显著。与单施化肥相比,生物有机肥部分替代化肥后钾肥表观利用率、农学效率和偏生产力均显著提高,其中 T2 处理最高,分别较 CF 显著提高 75.74%、70.40%、29.63%。说明生物有机肥部分替代化肥能够提高肥料利用效率,促进生姜根茎对氮、磷、钾肥的吸收和利用,其中 T2 处理氮、磷、钾肥料利用率最高,效果优于 T1、T3 处理。

表 6 不同施肥处理对肥料利用效率的影响

Table 6 Effect of different fertilizer treatment on fertilizer application rate

处理	表观利用率/%			农学效率/(kg·kg ⁻¹)			偏生产力/(kg·kg ⁻¹)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
CF	26.08 c	6.06 b	31.70 c	59.55 c	178.65 c	49.63 d	151.45 c	454.34 c	126.21 d
T1	29.45 bc	14.93 a	50.02 b	78.34 b	223.71 b	66.40 c	170.12 b	485.77 b	144.20 c
T2	37.36 a	16.60 a	55.71 a	98.06 a	267.18 a	84.57 a	189.71 a	516.90 a	163.61 a
T3	34.13 ab	15.05 a	52.24 ab	83.30 b	217.03 b	73.10 b	174.83 b	455.52 c	153.43 b

2.7 生物有机肥部分替代化肥对土壤肥力的影响

由表7可知,与单施化肥相比,生物有机肥与化肥配施后土壤有机质、全氮、有效磷和速效钾含量均有不同程度地提高。有机质含量以T3处理最高,较CF显著增加9.29%,T1、T2处理有机质含量分别较CF增加1.24%、4.76%,但差异均不显著。各处理土壤全氮、有效磷、速效钾

含量均表现为T2>T3>T1>CF>CK,T2处理土壤有效磷和速效钾含量分别较CF显著提高31.84%和20.87%,全氮含量较CF提高8.51%,但差异不显著。随着生物有机肥的增加,土壤硝态氮含量呈下降趋势,T1、T2、T3处理硝态氮含量分别较CF显著降低11.62%、16.19%、19.05%,T1、T2、T3处理间差异不显著。生物有机肥部分替代化肥处理

表7 不同施肥处理下生姜成熟期表层土壤肥力指标

Table 7 The fertility index of topsoil of different fertilizer treatment at ginger maturity stage

处理	w(有机质)/(g·kg ⁻¹)	pH	w(全氮)/(g·kg ⁻¹)	w(硝态氮)/(mg·kg ⁻¹)	w(有效磷)/(mg·kg ⁻¹)	w(速效钾)/(mg·kg ⁻¹)
CK	27.03 b	8.00 a	0.88 b	6.31 c	22.10 c	180.33 c
CF	27.33 b	7.97 a	0.94 ab	10.50 a	28.80 b	290.67 b
T1	27.67 b	7.93 a	0.95 ab	9.28 b	31.73 ab	298.67 b
T2	28.63 ab	7.87 a	1.02 a	8.80 b	37.97 a	351.33 a
T3	29.87 a	7.83 a	0.96 ab	8.50 b	36.20 a	325.00 ab

对土壤pH无显著影响。

3 讨论与结论

有机无机肥料配施是作物优质、增产的有效途径^[10]。本研究结果表明,增施生物有机肥替代部分化肥能够显著提高生姜产量,增加生姜生产效益,其中20%生物有机肥配施80%化肥产量最高,但随着生物有机肥替代比例的增加,生物有机肥对生姜增产效果减弱。李杰等^[20]研究表明,80%常规施肥配施生物肥显著增加了花椰菜单球质量,当生物肥替代比例达到40%,花椰菜的单球质量显著降低,说明生物有机肥对产量的促进作用与施用量密切相关,生产中应针对不同作物需肥特点,合理配比生物有机肥和化肥用量,以达到最佳增产效果。

养分在植物体内吸收、积累和分配比例,以及生育后期茎叶等营养器官向生殖器官的转运效率是决定作物产量和品质的重要因素^[9]。笔者研究发现,随着化肥用量的减少,生姜体内氮、磷、钾养分含量先升高后降低,当生物有机肥替代20%化肥时植株氮磷钾素积累量最高,这与王赫等^[21]和张迎春等^[22]的研究结果相似;可能是化肥减量30%与生物有机肥的协同效应降低,对作物生长发育的促进作用减弱,导致土壤养分供应不足,不利于作物养分大量积累^[23]。不同施肥模式对氮、磷、钾的分配有较大的影响。张国显等^[24]研究发现,75%化肥配施25%有机物料促进了盛果期番茄茎、叶中的氮素向果实转移和分配。柳开楼等^[25]研究表明,长期有机无机肥配施可以显著降低水稻根茬氮、钾养分占总

植株的比例,从而使较多的养分向籽粒供应。笔者同样发现,生物有机肥部分替代化肥促进了氮、磷、钾素向根茎中的积累和分配。生姜生育后期对钾的需求量增多,钾素营养对促进生姜增产起到了重要作用,生物有机肥部分替代化肥提高了生姜植株氮、磷、钾累积量,同时促进了钾素向根茎中的吸收、转移,为生姜增产奠定了基础。

肥料表观利用率、农学效率和偏生产力是肥料利用效率的重要评价指标^[26]。本试验结果表明,生物有机肥与化肥配施提高了氮磷钾肥的表观利用率、农学效率和偏生产力,其中20%生物有机肥配施80%化肥处理肥料利用效率最高,显著高于单施化肥处理。当前我国农民主要依靠施用化肥来提高土壤肥力,有机肥料投入严重不足,导致施肥不平衡,肥料利用率下降。生物有机肥含有丰富的促生菌、生理活性物质和多种中微量元素,能补充作物所需各种养分,增强根际微生物和土壤酶活性,活化土壤养分,促进植株对养分的吸收和利用,从而提高作物产量,相应提高了肥料利用效率^[27]。

前人研究表明,施用生物有机肥能增加土壤中的有机质含量,改善土壤理化性质,提高土壤养分供给能力,降低土壤硝态氮残留量^[28]。笔者研究发现,生物有机肥替代部分化肥后提高了土壤全氮含量,显著降低了硝态氮含量。生物有机肥和化肥配施能够调控土壤氮素的释放,激发土壤供氮潜力,减少硝态氮向深层土壤的积聚,保证有机和无机养分协调平衡供应^[29]。土壤速效养分反映了土壤养分的现实状况,闫鹏科等^[30]研究发现,施用生物有机肥

可以显著提高枸杞土壤有机质和碱解氮、有效磷、速效钾养分含量。笔者的研究得到了相似结论,生物有机肥替代10%~30%化肥能够提高土壤有效磷、速效钾含量,其中20%生物有机肥配施80%化肥处理的有效磷和速效钾含量最高,显著高于单施化肥处理。笔者还发现,生物有机肥部分替代化肥后生姜土壤pH值有所降低,但与对照差异不显著,说明短期内施用生物有机肥对土壤pH影响不大。

综上所述,在等量养分投入下,生物有机肥替代10%~30%化肥能够提高生姜对氮磷钾养分的吸收利用率,促进氮磷钾素向生姜根茎的积累和分配,提高肥料利用效率,提升土壤肥力,有助于生姜增产增收,其中20%生物有机肥+80%化肥(4560 kg·hm⁻²生物有机肥配施+2400 kg·hm⁻²化肥)处理效果最好,是适宜生姜生产的良好施肥模式。

参考文献

- [1] 刘钦普.中国化肥投入区域差异及环境风险分析[J].中国农业科学,2014,47(18):3596-3605.
- [2] QASWAR M, LUI Y R, HUANG J, et al. Soil nutrients and heavy metal availability under long-term combined application of swine manure and synthetic fertilizers in acidic paddy soil[J]. Journal of Soils and Sediments, 2020, 20(4): 2093-2106.
- [3] TIAN Y Q, WANG Q, ZHANG W H, et al. Reducing environmental risk of excessively fertilized soils and improving cucumber growth by *Caragana microphylla*-straw compost application in long-term continuous cropping systems[J]. Science of the Total Environment, 2016, 544: 251-261.
- [4] 宇万太,姜子绍,周梓,等.不同施肥制度对作物产量及肥料贡献率的影响[J].中国生态农业学报,2007,15(6):54-58.
- [5] 沈德龙,曹凤明,李力.我国生物有机肥的发展现状及展望[J].中国土壤与肥料,2007(6):1-5.
- [6] 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.
- [7] 朱利霞,曹萌萌,桑成琛,等.生物有机肥替代化肥对玉米土壤肥力及酶活性的影响[J].四川农业大学学报,2022,40(1):67-72.
- [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] 姜蓉,徐智,汤利,等.化肥减量配施生物有机肥对设施菊花养分吸收转运及产量的影响[J].云南农业大学学报(自然科学),2016,31(5):910-916.
- [10] 王成,吕剑,李静,等.不同生物有机肥用量对韭菜产量、品质及养分利用的影响[J].中国土壤与肥料,2019(6):204-211.
- [11] 付丽军,王永存,闫红波,等.化肥减量配施生物有机肥对生姜产量和品质的影响[J].中国瓜菜,2022,35(3):86-91.
- [12] 中华人民共和国农业部.植物中氮、磷、钾的测定:NY/T 2017-2011[S].北京:中国农业出版社,2011.
- [13] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000.
- [14] 国家质量监督检验检疫总局,国家标准化管理委员会.土壤硝态氮的测定 紫外分光光度法:GB/T 32737-2016[S].北京:中国标准出版社,2016.
- [15] 国家标准局.土壤全氮测定法(半微量凯氏法):NY/T 53-1987[S].北京:中国标准出版社.
- [16] 中华人民共和国农业部.土壤速效钾和缓效钾含量的测定:NY/T 889-2004[S].北京:中国农业出版社,2004.
- [17] 中华人民共和国农业部.土壤检测 第7部分:土壤有效磷的测定:NY/T 1121.7-2014[S].北京:中国农业出版社,2014.
- [18] 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.
- [19] 张晶,党建友,裴雪霞,等.微喷灌水肥一体化下磷钾肥减量分期施用对小麦产量和养分利用的影响[J].核农学报,2020,34(3):629-634.
- [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] 王赫,李晓雪,王亚玲,等.化肥减量配施有机肥和菌剂对辣椒产量、品质和养分累积的影响[J].北方园艺,2021(16):1-7.
- [22] 张迎春,颜建明,李静,等.生物有机肥部分替代化肥对莴笋及土壤理化性质和微生物的影响[J].水土保持学报,2019,33(4):196-205.
- [23] 何东霞,颜建明,何志学,等.生物有机肥部分替代化肥对韭菜生长生理及肥料利用率的影响[J].西北农业学报,2020,29(6):958-967.
- [24] 张国显,白银霞,范永怀,等.化肥减量配施有机物料对设施番茄氮素积累、分配与利用率的影响[J].北方园艺,2019(3):6-13.
- [25] 柳开楼,张会民,韩天富,等.长期化肥和有机肥施用对双季稻根茬生物量及养分积累特征的影响[J].中国农业科学,2017,50(18):3540-3548.
- [26] 贾豪,郭恒,王舰.氮、磷、钾肥配施对马铃薯肥料利用率及产量的影响[J].河南农业科学,2018,47(2):32-36.
- [27] KUMAR S, BAUDDH K, BARMAN S C, et al. Amendments of microbial bio-fertilizers and organic substances reduces requirement of urea and DAP with enhanced nutrient availability and productivity of wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. Ecological Engineering, 2014, 71: 432-437.
- [28] 郑福丽,李国生,李燕,等.不同有机-无机肥配施模式对设施辣椒产量及养分利用的影响[J].山东农业科学,2020,52(11):105-110.
- [29] 张奇茹,谢英荷,李廷亮,等.有机肥替代化肥对旱地小麦产量和养分利用效率的影响及其经济环境效应[J].中国农业科学,2020,53(23):4866-4878.
- [30] 闫鹏科,常少刚,孙权,等.施用生物有机肥对枸杞产量、品质及土壤肥力的影响[J].中国土壤与肥料,2019(5):112-118.