

有机肥部分替代化肥对青花菜生长、品质及土壤状况的影响

王圣泽, 聂金, 费丹丹, 王军伟, 吴秋云, 黄科

(湖南农业大学园艺学院 长沙 410128)

摘要: 为探寻合理的化肥与有机肥配施方式,改善青花菜生长、品质、土壤状况及经济效益,以国王 100 青花菜品种为材料,采用单因素随机区组设计,以不施用肥料的 CK 和常规施用化肥的 CF 为对照,设置 T200(化肥减施 25%+增施 200 kg·667 m²有机肥)和 T400(化肥减施 25%+增施 400 kg·667 m²有机肥)2 个处理。结果表明,T200、T400 处理分别较 CF 每 667 m²增产 126.23、61.71 kg;T200 处理下可溶性糖含量最高,为 7.48 mg·g⁻¹;青花菜对钾肥的吸收利用率在 T200 处理下达到最高,且显著高于其他处理。综上所述,在 T200(化肥减施 25%+增施 200 kg·667 m²有机肥处理)可以提高青花菜品质、增强肥料有效性、改善土壤养分环境、增加农民收益,是一种适于生产需要、提升青花菜种植经济效益的合理施肥方式。

关键词: 青花菜;有机肥;品质;土壤养分

中图分类号: S635.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)04-056-07

Effects of partial substitution of organic fertilizer for chemical fertilizer on broccoli growth, quality and soil condition

WANG Shengze, NIE Jin, FEI Dandan, WANG Junwei, WU Qiuyun, HUANG Ke

(College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, Hunan, China)

Abstract: Broccoli variety Wang 100 was grown with reduce chemical fertilizer and increased organic fertilizer to explore the benefits of combined use of chemical and organic fertilizers in improving growth, quality and soil condition. Two treatments T200 (25% reduction in chemical fertilizer + increased application of 200 kg·667 m² organic fertilizer) and T400 (reduced application of chemical fertilizer by 25% + increased application of 400 kg·667 m² organic fertilizer) were tested using without fertilizer (CK) and normal chemical fertilizer (CF) as controls. The results showed that, compared with CF, T200 and T400 treatments increased yield by 126.23 kg·667 hm⁻² and 61.71 kg·667 hm⁻². The highest content of soluble sugar was observed with T200 treatment (increased by 7.36 μg·g⁻¹). The absorption and utilization of potassium were the highest with T200 treatment. T200 treatment can improve the quality of broccoli, enhance the availability of fertilizer, improve the soil condition, and increase the income of farmers..

Key words: Broccoli; Organic fertilizer; Quality; Soil nutrients

青花菜(*Brassica oleracea* L. var. *italica*)是一种具有较高营养价值和商业价值的绿色健康蔬菜^[1]。在青花菜种植中,出现了大量盲目施用化肥的现象^[2]。化肥的过量施用使作物营养品质下降、口感风味降低,造成土壤结构破坏以及生态环境污染^[3-4]。统计表明,在蔬菜栽培中,一个季度的平均磷肥施用量远高于磷元素在蔬菜中的需求量,高的可达 1308 kg·hm⁻²^[5]。在我国蔬菜生产中,氮肥损失

严重,氧化亚氮排放量是粮食作物的 1.24~4.16 倍,硝酸盐淋洗损失量高达 79.1 kg·hm⁻²^[6]。因此,减少蔬菜农事活动中化肥的使用量是亟需解决的重要科学问题。

生物有机肥是一种新型高效安全的复合肥料,富含多种营养元素,能够为植物提供充分的养分,可改善土壤的理化性质,增强土壤持水、持肥力^[7]。同时,有机肥对植物抗病虫能力也有显著效果,可

收稿日期: 2021-09-10; 修回日期: 2022-02-20

基金项目: 国家重点研发计划经作专项(2020YFD1000300)

作者简介: 王圣泽,女,在读硕士研究生,从事十字花科蔬菜育种及分子基础研究。E-mail: 973325148@qq.com

通信作者: 黄科,男,教授,从事十字花科蔬菜育种及分子基础研究。E-mail: huangkeqy@hotmail.com

使作物丰产,提高品质^[8]。有试验表明,有机肥替代化肥对果蔬的生长、品质及土壤状况有积极作用,减施化肥、辅施有机肥不会降低作物产量^[9];增施有机肥减施化肥可提高番茄^[10]、芝麻^[11]等作物的产量;减施化肥配施有机肥可有效提高甘蓝、黄瓜和苦瓜中可溶性糖、可溶性蛋白和维生素C的含量,降低硝酸盐含量^[12]。

笔者以青花菜为试验材料,研究了有机肥部分替代化肥对青花菜产量及品质的影响,通过有机肥和化肥不同配比比较,优化肥料配比,为青花菜高效优质栽培和土壤可持续利用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材 料

供试青花菜品种为国王100(浙江温州肇丰种苗公司培育)。供试肥料主要有两种,分别是自湖北三宁化工股份有限公司购买的硫酸钾型复合肥(硫酸钾型复合肥其有效含量 $\geq 45\%$,纯N含量为17%, P_2O_5 含量为6%, K_2O 含量为25%),有机肥购自湖南天心日日春有机肥有限公司(有效活菌数 ≥ 0.2 亿个,纯N含量为1.42%, P_2O_5 含量为1.71%, K_2O 含量为2.32%,有机质含量 $\geq 50\%$,腐植酸含量 $\geq 25\%$)。

1.2 方 法

1.2.1 试验设计 试验于2020年9月至2021年1月在湖南省湘潭市农业科学研究所试验基地开展,试验地属常规露地栽培蔬菜田。根据青花菜栽培基肥宜以有机肥与化肥相结合的模式,通过对湖南省内长沙、岳阳、邵阳等地农户进行调研计算,得出湖南地区常规冬季青花菜栽培的田间化肥施用量为硫酸钾型复合肥 $50\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ 。本试验共设计4个处理,试验采用单因素随机区组设计,设不施用肥料为空白对照(CK),常规施用化肥为对照(CF),化肥减施25%+增施 $200\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ 有机肥(T200)和化肥减施25%+增施 $400\text{ kg}\cdot 667\text{ m}^2$ 有机肥(T400)共4个处理,各处理重复3次,随机区组排列,共计12个小区,每个小区面积 12 m^2 ,每小区以露地栽培的方式各种植52株。以其中化肥减施25%均是在常规施肥总施肥量的基础上进行减施,即化肥较常规施肥总施肥量减施25%(硫酸钾型复合肥减施25%)。各处理具体化肥施用设置见表1。

1.2.2 测试指标及方法 青花菜理化性质:成熟期时,在每小区随机选取3株青花菜,分别用直尺测

表1 试验各处理的施肥量 ($\text{kg}\cdot 667\text{ m}^2$)

处理	硫酸钾型复合肥				有机肥			
	总量	N	P_2O_5	K_2O	总量	N	P_2O_5	K_2O
CK	0.0	0.000	0.00	0.000	0	0.00	0.00	0.00
CF	50.0	8.500	3.00	12.500	0	0.00	0.00	0.00
T200	37.5	6.375	2.25	9.375	200	2.84	3.42	4.64
T400	37.5	6.375	2.25	9.375	400	5.68	6.84	9.28

量青花菜植株株高(茎基部到花球顶端的高度)、茎粗(花球基部茎的周长)、花球横径(花球的最大宽度)、花球纵径(垂直于花球横径的花球宽度)、开展度(植株最大展开叶片间距离)、花球粗度(花球基部最大周长);成熟期后,按小区分别采收,立刻用天平进行称质量,按部位计算单株产量和生物量。自每小区随机选取3株青花菜分别测定其叶球各项品质指标:用蒽酮-硫酸比色法测定可溶性糖含量、用考马斯-G250溶液法测定可溶性蛋白含量、用2,6-二氯酚靛酚染色法测定维生素C含量、用硝基水杨酸比色法测定硝态氮含量。在每小区随机选取3株青花菜,采用氮平衡仪测定青花菜第3片叶的叶绿素SPAD值。分别取青花菜的根、茎、叶、花球冷冻干燥后,用天平称干质量,参照LY/T 1270—1999《森林植物与森林枯枝落叶层全硅、铁、铝、钙、镁、钾、钠、磷、硫、锰、铜、锌的测定》测其全氮、钾、磷含量^[13]。采用SPAD-502型手持式叶绿素仪测定叶绿素值。

土壤理化性质:在距离主根5cm处用取样器采集0~20cm耕层土样,每小区按五点采样法取样,将所采土壤混合均匀后带回试验室分析土壤理化性质。参照常规农化分析方法^[14]检测土壤中有机质含量、有效磷含量、速效钾含量、水解性氮含量、全氮含量、土壤pH值、总磷含量、全钾含量。

1.2.3 计算方法 计算方法参照张迎春的方法^[15]。

(1)吸收利用率 $RE/\%=(\text{施肥区地上部养分吸收量}-\text{不施肥区地上部养分吸收量})/\text{施肥量}\times 100$;

(2)农学利用率 $=(\text{施肥区产量}-\text{不施肥区产量})/\text{施肥量}$;

(3)偏生产力 $=\text{施肥区产量}/\text{施肥量}$;

(4)肥料贡献率 $FCR/\%=(\text{施肥处理产量}-\text{不施肥处理产量})/\text{施肥处理产量}\times 100$;

(5)土壤养分依存率 $SDR/\%=(\text{不施肥区地上部养分吸收量}/\text{施肥区地上部养分吸收量})\times 100$ 。

1.3 数据分 析

试验数据统计分析采用SPSS 20.0软件,采用Microsoft Excel 2010、Graphpad 6.0软件进行数据分

析作图等工作。

2 结果与分析

2.1 有机肥部分代替化肥对青花菜生长的影响

由表 2 可知,相较于 CK, T200 处理青花菜的各项生长指标均有显著提高。在不同处理下,青花菜的株高表现存在差异,表现为 CF>T400>T200>CK, CF 处理下青花菜株高显著最高,为 42.67 cm; T200 处理青花菜茎粗最大,为 26.32 cm,比 CK 提高 39.48%,二者之间差异显著; T400 处理青花菜花球粗度最大,为 30.49 cm,较 CK 显著增加了 30.24%;花球纵径均呈现出随着有机肥的增施而升高的趋势,在 T400 处理最大,为 12.92 cm, T200 次

之,为 12.78 cm,均与 CK 处理差异显著, T400 处理较 CK 处理增加了 18.64%;花球横径大小受施肥影响差异显著,随着有机肥的施用量的升高而升高, T400 的处理花球横径达 16.52 cm, T200 次之,为 15.59 cm,分别高于 CK 处理 5.43、4.50 cm,均与 CF 处理存在显著差异; CK 处理中青花菜植株开展度显著低于施肥处理,且发现增施有机肥可提高青花菜植株开展度。由图 1 可知,施肥处理相较于 CK 处理,青花菜花球质量和生物量均有显著提高,有 1.5 倍的增长,而施肥情况下青花菜花球质量和青花菜的生物量无显著差异。

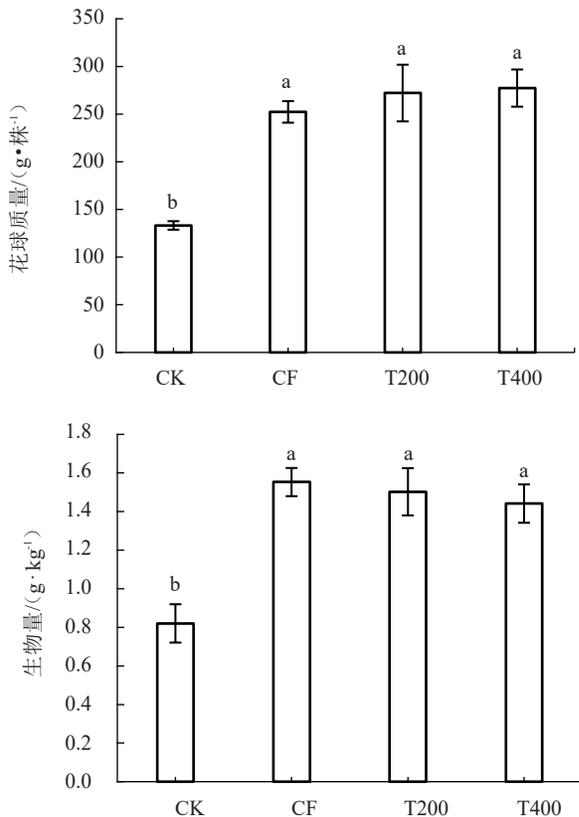
2.2 有机肥部分代替化肥对青花菜品质的影响

由表 3 可知, T200 处理有利于降低青花菜中

表 2 试验各处理的生长指标

处理	株高/cm	茎粗/cm	花球粗度/cm	花球纵径/cm	花球横径/cm	开展度/cm
CK	34.00±1.08 c	18.87±0.93 b	23.41±1.44 b	10.89±0.51 b	11.09±0.51 c	61.67±3.34 b
CF	42.67±1.69 a	23.48±1.41 a	29.18±0.29 a	12.31±0.13 a	15.03±0.24 b	71.78±1.09 a
T200	37.61±1.53 bc	26.32±0.63 a	28.69±1.21 a	12.78±0.30 a	15.59±0.44 ab	76.56±3.44 a
T400	40.44±0.53 ab	24.55±0.59 a	30.49±0.93 a	12.92±0.34 a	16.52±0.32 a	76.22±1.95 a

注:每个指标为 3 个重复的平均值±标准误,同一列数据后不同小写字母表示差异达 5%显著水平。下同。



注:每个指标为 3 个重复的平均值±标准误,不同字母表示差异达 5%显著水平。下同。

图 1 不同施肥处理下青花菜的花球形态及生物量

硝态氮含量,且对提高青花菜中可溶性蛋白的含量有显著作用。在各处理中,青花菜中硝态氮含量无显著性差异,但在 T200 处理下最低,为 117.71 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,比 CF 处理下降了 3.71%;维生素 C 含量在 T200 处理下达最高,为 1.55 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,比 CF 处理提高了 12.32%;可溶性糖含量在各处理间无显著差异,其中 T200 处理可溶性糖含量最高,为 7.48 $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$,较 CF 处理提高了 16.33%;可溶性蛋白含量在 T200 处理下最高,达到 39.32 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, T400 次之,为 37.11 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, CF 处理下最低,低至 31.96 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$,二者分别较 CF 处理提高了 23.03%、16.12%。

表 3 不同施肥处理下青花菜品质分析

处理	w(硝态氮)/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	w(维生素 C)/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	w(可溶性糖)/ ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$)	w(可溶性蛋白)/ ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
CK	118.67±4.25 a	1.34±0.10 a	6.95±0.61 a	33.24±2.80 b
CF	122.24±2.77 a	1.38±0.14 a	6.43±0.62 a	31.96±1.32 b
T200	117.71±7.44 a	1.55±0.04 a	7.48±0.23 a	39.32±0.88 a
T400	125.33±11.29 a	1.39±0.06 a	6.91±0.78 a	37.11±0.33 ab

2.3 有机肥部分代替化肥对青花菜中叶绿素值的影响

由图 2 可知,在各处理中, SPAD 表现无显著差异,在 CK 处理中, SPAD 值最低,只有 52.68,施肥处理 SPAD 值有所升高,最高在 T400 处理下可至 56.99。

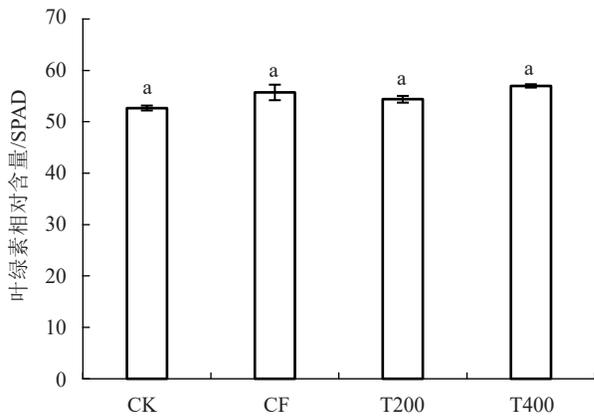


图2 不同施肥处理下青花菜的叶绿素值

2.4 有机肥部分代替化肥对青花菜肥料利用率的影响

由表4可知,与CK相比,施用肥料可显著提高青花菜中N、P、K元素吸收量,且各处理之间差异均达到显著水平。在T200处理下,N、P、K元素吸收量分别为9.30、9.96、14.01 kg·667 m⁻²,较CK处理N、P、K元素吸收量分别显著升高了80.93%、70.26%、71.90%。

表4 不同施肥处理下青花菜养分吸收量

处理	K元素含量/ (kg·667 m ⁻²)	N元素含量/ (kg·667 m ⁻²)	P元素含量/ (kg·667 m ⁻²)
CK	8.15±0.01 d	5.14±0.04 d	5.85±0.02 d
CF	13.58±0.08 b	10.07±0.04 a	9.12±0.01 b
T200	14.01±0.07 a	9.30±0.02 b	9.96±0.00 a
T400	11.91±0.70 c	9.01±0.01 c	7.43±0.01 c

由表5可知,钾肥吸收利用率在T200处理下最高,达55.43%,T400处理最低,为27.98%,CF处理和T200处理比T400处理分别提高了24.68%和27.45%,三者之间差异显著;氮肥吸收利用率三者之间差异显著,CF处理最高,T400处理最低,CF处理和T200处理比T400处理分别提高了46.94%和30.28%;磷肥吸收利用率在CF处理下最高,T200处理次之,T400处理下最低,三者之间差异显著。在化肥使用量相同的情况下,钾肥、氮肥、磷肥吸收利用率均表现为T200>T400,且随着有机肥的施用量的增加而降低。肥料贡献率在CF、T200、T400处理之间无显著差异,表现为T400>T200>CF,CF处理利用率表现最低,在化肥使用量相同的情况

表5 不同施肥处理下青花菜肥料利用率指标

处理	吸收利用率(RE)/%			肥料贡献率(FCR)/%	土壤养分依存率(SDR)/%		
	KRE	NRE	PRE		KSDR	NSDR	PSDR
CF	52.66±0.84 b	29.02±0.42 a	60.86±0.67 a	46.81±4.28 a	59.98±0.40 b	51.02±0.54 c	64.23±0.34 b
T200	55.43±0.56 a	25.73±0.09 b	47.10±0.31 b	49.67±6.39 a	58.14±0.23 c	55.26±0.26 b	58.79±0.25 c
T400	27.98±0.12 c	19.75±0.22 c	11.82±0.06 c	55.00±0.64 a	68.44±0.79 a	57.04±0.45 a	78.83±0.15 a

下,随着有机肥施用量的增加而提升。

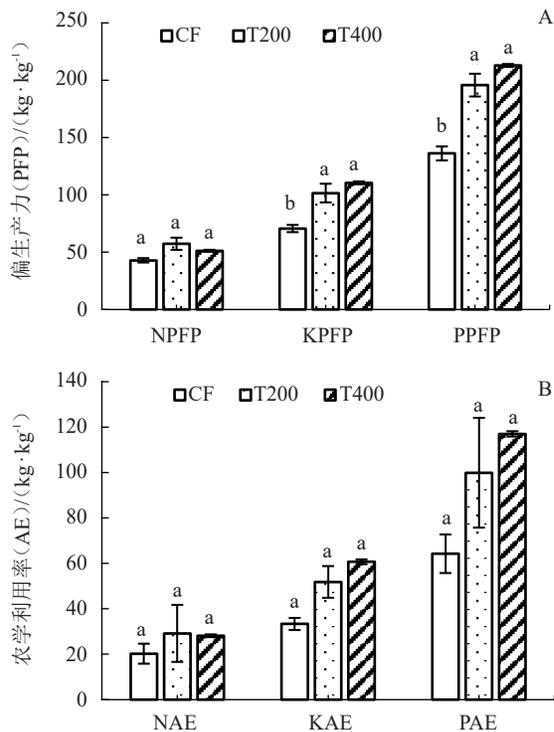
土壤中各元素养分依存率与其在植物体内的吸收利用率的变化是相符的,土壤钾素养分依存率在T400最高,为68.44%,T200处理最低,为58.14%,土壤钾素养分依存率表现为T400>CF>T200,三者之间差异达到显著水平;土壤氮素养分依存率在CF处理最低,为51.02%,在T400处理最高,为57.04%,比CF处理提高了11.80%,T200处理比CF处理提高了8.31%,土壤氮素养分依存率表现为T400>T200>CF,三者之间差异达到显著水平;土壤磷素养分依存率在T400处理中最高,在T200处理中最低,二者之间差距为20.04%,且T200处理中的土壤磷素养分依存率比CF处理中减少5.44%,三者之间差异达到显著水平。

由图3可知,钾肥偏生产力以T400最高,T200处理次之,二者均显著高于CF处理,且分别高于CF处理39.82 g·kg⁻¹和30.93 g·kg⁻¹;氮肥偏生产力

在3个处理之间无显著差异;磷肥偏生产力T400处理最高,T200处理次之,二者均显著高于CF处理,分别高于CF处理76.75 kg·kg⁻¹和59.63 kg·kg⁻¹。钾、氮、磷肥的农学利用率在各处理之间均无显著性差异,减施化肥增施有机肥处理比单施化肥处理可提高氮、磷、钾肥农学利用率,均表现为T400>T200>CF。

2.5 有机肥部分代替化肥对土壤养分含量的影响

由表6可知,在种植青花菜前后,土壤中的各养分含量也有一定差异。种植青花菜会短时影响土壤酸碱性、增高速效钾含量。施肥处理较CK处理pH值升高,CF处理pH值最高,达6.38,且显著高于CK,T200处理pH值为6.16,二者分别比CK处理高出0.73、0.51;有机质含量表现为CK>CF>T200>T400;有效磷含量在各处理之间无显著差异;速效钾在T200处理下含量(w,后同)最高,为0.38 g·kg⁻¹,T400处理最低,为0.23 g·kg⁻¹,二者之间差异达到显



注:每个指标为3个重复的平均值±标准误。图3-A,NPPF:氮肥偏生产力,KPPF:磷肥偏生产力,PPFP:磷肥偏生产力;图3-B,NAE:氮肥农学利用率,KAE:磷肥农学利用率,PAE:磷肥农学利用率,字母分别表示氮、磷、钾肥农学利用率在不同处理中的差异水平,且不同字母差异达5%显著水平。

图3 不同施肥处理下青花菜肥料利用率指标

著水平;水解性氮含量在 T400 处理中最低为 0.16 g·kg⁻¹,较 CK 处理下降了 15.79%;全氮含量在 T400 处理下最低,为 0.17%,CK 处理最高,为 0.20%,T200 处理较 CF 处理下降 10%;总磷含量、全钾含量在各处理中无显著差异。

2.6 有机肥部分代替化肥对青花菜种植成本与经济效益的影响

从表 7 中可知,各处理青花菜产量表现为 T200>T400>CF>CK,且在不同施肥处理下,青花菜产量无显著性差异,T200 处理较 CF 处理增产 126.23 kg·667 m²,T400 处理较 CF 处理增产 61.71 kg·667 m²,表明有机肥部分代替化肥可使青花菜产量提高。随着肥料的施入使追肥成本升高,T200 处理比 CF 处理增加 55.25 元·667 m² 肥料投入成本,T400 处理较 CF 处理增加 155.25 元·667 m² 肥料投入成本。但青花菜的产值增幅明显,T200 处理为最高的施肥方式,产值可达到 4 277.32 元·667 m²,T200 处理为 CK 处理的 2.22 倍,T400 处理为 CK 处理的 2.05 倍,CF 处理为 CK 处理的 1.89 倍。平均每 667 m² 青花菜的净收入比 CK 也有提高,为 1.80~2.10 倍,CF、T200、T400 处理较 CK 处理收益增幅分别为 108.39%、148.80%、119.15%。经计算统计,施肥对于提高经济效益有积极作用,增幅

表 6 不同施肥处理下土壤养分含量的差异性分析

处理	pH 值	w(有机质)/(g·kg ⁻¹)	w(有效磷)/(g·kg ⁻¹)	w(速效钾)/(g·kg ⁻¹)	w(水解性氮)/(g·kg ⁻¹)	w(全氮)/%	w(总磷)/(g·kg ⁻¹)	w(全钾)/(g·kg ⁻¹)
CK	5.65±0.09 b	40.30±5.56 a	0.31±0.02 a	0.30±0.04 ab	0.19±0.01 a	0.20±0.02 a	1.68±0.03 a	10.40±0.48 a
CF	6.38±0.32 a	38.33±4.07 a	0.29±0.06 a	0.33±0.01 ab	0.18±0.02 a	0.19±0.02 a	1.74±0.20 a	10.67±0.57 a
T200	6.16±0.12 ab	37.13±9.34 a	0.31±0.40 a	0.38±0.06 a	0.18±0.04 a	0.18±0.04 a	1.63±0.20 a	11.23±0.12 a
T400	5.67±0.08 b	32.50±2.84 a	0.32±0.50 a	0.23±0.03 b	0.16±0.01 a	0.17±0.01 a	1.63±0.26 a	10.32±0.51 a

表 7 不同施肥处理下青花菜成本与经济效益分析

处理	平均产量/(kg·667 m ²)	追肥成本/(元·667 m ²)	其他成本/(元·667 m ²)	产值/(元·667 m ²)	净收入/(元·667 m ²)	比 CK/+%
CK	385.06±22.44 b	0.00	500	1 925.28	1 425.28	
CF	729.23±56.49 a	176.00	500	3 646.16	2 970.16	108.39
T200	855.46±148.95 a	231.25	500	4 277.32	3 546.07	148.80
T400	790.94±34.10 a	331.25	500	3 954.70	3 123.45	119.15

注:平均每 667 m² 产量为 3 个重复的平均值±标准误。按照青花菜 5 元·kg⁻¹ 计算产值,硫酸钾型复合肥 3.5 元·kg⁻¹。

1.0~1.5 倍。其中,利用有机肥部分代替化肥虽然增加了种植成本投入,且增幅为 8.17%~22.97%,但净收入的增幅也较大,为 10.76%~40.41%。

3 讨论与结论

笔者发现,有机肥配施化肥可使青花菜的产量

提高,植株开展度,花球纵、横径及单个花球质量均呈增长趋势。冯海萍等^[16]的有机肥配施化肥试验表明,这种施肥方式可以提高娃娃菜产量,改善其品质,朱玲玲^[17]也在对花椰菜的试验中得出相似的结论。杨静等^[18]和罗佳等^[19]分别在对小白菜的研究中指出,有机肥配施可以使小白菜的单株鲜质量、最

大叶宽、叶片数等生物学性状有积极的促进作用;梁曼恬等^[20]在对甘蓝的研究中表明,有机肥配施使甘蓝横径增大;陈自雄等^[21]在对马铃薯的处理中也发现了相关生物学指标的提高。

Negi 等^[22]指出施用 50%有机肥(FYM、蚯蚓粪和森林凋落物)和 50%生物肥料(黄色固氮菌和荧光假单胞菌)对草莓果实品质有显著提高。江波等^[23]在不同有机氮替代量对辣椒处理的研究中也得出降低了硝酸盐含量,增高了维生素 C 含量和还原糖含量,这与本试验中 T200 处理后青花菜品质结果一致,表明利用生物有机肥替代化肥对青花菜品质具有积极作用。

试验表明施用有机肥对土壤养分含量有影响,曲成闯等^[24]研究表明随着生物有机肥施用量的增加,土壤脲酶和过氧化氢酶的活性均逐渐增强,土壤微生物学特性得到进一步改善。土壤微生物与土壤理化性质密切相关,增施有机肥有利于功能细菌的繁殖,能提高土壤细菌多样性。贾豪语^[25]通过肥料配施试验表明,生物有机肥能促进花椰菜对氮、磷、钾的吸收利用。郭小强等^[26]指出施用生物肥可增加土壤微生物功能群数量,改善土壤微生态环境和土壤氮素营养循环,提高土壤酶活性和土壤肥力。孙继梅^[27]、何瑞岳^[28]总结出我国有机-无机肥配施利用现状及问题,得出合理配施可使种养平衡,提高肥料利用率的结论。杨涵等^[29]在研究中表明有机肥可显著改善土壤酸性,提高土壤中有机质含量、速效钾和全钾含量,提高了土壤肥力。

本试验中,与单施化肥处理相比,有机肥替代化肥处理肥料贡献率、各肥料农学利用率、各肥料偏生产力有明显提高,在各肥料利用指标中 T200 处理有明显优势,这表明有机肥替代化肥可以提高氮、磷、钾在土壤中的可利用态转化程度,均衡土壤养分情况,协调促进土壤的养分供应能力,对提高肥料中氮、磷、钾养分资源利用率有显著效果。

通过上述研究,得到如下结论:(1)化肥减施 25%、增施有机肥(T200、T400)与不施肥(CK)处理相比均显著增加了花球横径、花球纵径。(2)与单施化肥处理相比较化肥减施 25%、增施有机肥(T200、T400)使肥料利用率、农学利用率和偏生产力均有明显提高,T200 处理显著增高了钾肥吸收利用率。(3)与 CK 和 CF 相比,T200 可提高土壤中速效钾和全钾含量。(4)T200(化肥减施 25%+增施 200 kg·667 m⁻²有机肥)可以有效提高青花菜产量及品质、增强肥料有效性、改善土壤养分环境、增加农

民收益,综合表现最佳,是一种适于生产需要、有利于提高青花菜种植经济效益的合理施肥方式。

参考文献

- [1] 李占省,戚如诗,刘玉梅,等.我国青花菜生产布局、价格变化及趋势[J].长江蔬菜,2021(4):1-5.
- [2] 杨忠妍.化肥施用过量对农作物的危害[J].现代农业科技,2020(21):203-204.
- [3] EDWIN D O,ZHANG X L,YU T.Current status of agricultural and rural non-point source pollution assessment in China[J].Environmental Pollution,2010,158(5):1159-1168.
- [4] 郭巧琴.中国主要粮食作物过量施肥程度及其影响因素分析[D].南昌:江西财经大学,2019.
- [5] 李若楠,武雪萍,张彦才,等.减量施磷对温室菜地土壤磷素积累、迁移与利用的影响[J].中国农业科学,2017,50(20):3944-3952.
- [6] 赵明炯,王孝忠,刘彬,等.长三角地区蔬菜生产的活性氮损失和温室气体排放估算[J].农业环境科学学报,2020,39(6):1409-1419.
- [7] 杨克俊.生物有机肥作用的研究与进展[J].农业开发与装备,2021(2):70-71.
- [8] GENG Y J,YUAN Y M,MIAO Y C,et al. Decreased nitrous oxide emissions associated with functional microbial genes under bio-organic fertilizer application in vegetable fields[J].Pedosphere,2021,31(2):279-288.
- [9] 刘树春,杨祥梅,王澄.有机肥部分替代化肥对小麦生产的影响研究[J].乡村科技,2018(19):99-100.
- [10] 刘长旭,张静,张云霞,等.化肥减量条件下配施有机肥对设施番茄产量和品质的影响[J].山东农业科学,2021,53(2):79-82.
- [11] 芦海灵,郭中义,卫双玲.有机无机肥配施对芝麻产量及土壤性质的影响[J].新疆农业科学,2021,58(3):467-473.
- [12] 王冰清,尹能文,郑棉海,等.化肥减量配施有机肥对蔬菜产量和品质的影响[J].中国农学通报,2012,28(1):242-247.
- [13] 国家林业局.中华人民共和国林业行业标准·森林植物与森林枯枝落叶层全硅、铁、钙、镁、钾、钠、磷、硫、锰、铜、锌的测定:LY/T 1270—1999[S].1999-07-15.
- [14] 鲍士旦,秦怀英,劳家桢.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,1988.
- [15] 张迎春.生物有机肥部分替代化肥对莴笋生长生理、养分利用及土壤肥力的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2019.
- [16] 冯海萍,程彦弟.生物有机肥配施化肥对宁南山区露地娃娃菜生长及土壤养分的影响[J].中国瓜菜,2020,33(12):66-70.
- [17] 朱玲玲.有机肥对花椰菜产量和经济性状的影响[J].中国瓜菜,2006,19(2):20-21.
- [18] 杨静,全玉琴,张俊鹏,等.有机肥替代部分化肥对设施大棚小白菜产量及土壤速效养分的影响[J].陕西农业科学,2020,66(11):14-16.
- [19] 罗佳,黄兴学,林处发,等.有机肥替代部分化肥对生菜产量和品质的影响[J].农业开发与装备,2018(9):126-128.
- [20] 梁曼恬,黄科,袁怡鸣,等.有机肥部分替代化肥对甘蓝生长、品质及土壤状况的影响[J].热带作物学报,2021,42(5):1371-1377.

- [21] 陈自雄,杨荣洲,张娟宁,等.有机肥氮替代部分化肥氮对马铃薯产量及其构成因素的影响[J].甘肃农业科技,2020(7):24-27.
- [22] NEGI Y K,SAJWAN P,UNIYAL S,et al. Enhancement in yield and nutritive qualities of strawberry fruits by the application of organic manures and biofertilizers[J]. Scientia Horticulturae, 2021,283:110038.
- [23] 江波,薛贞明,王静,等.有机氮不同替代量对辣椒产量、品质及土壤矿质态氮的影响[J].安徽农业科学,2021,49(5):162-164.
- [24] 曲成闯,陈效民,韩召强,等.施用生物有机肥对黄瓜不同生育期土壤肥力特征及酶活性的影响[J].水土保持学报,2017,31(6):279-284.
- [25] 贾豪语.肥料配施对花椰菜生长、品质及养分吸收利用的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2013.
- [26] 郭小强,毛宁,张希彪,等.不同施肥处理对辣椒根际土壤微生物区系和酶活性的影响[J].作物杂志,2014(6):123-126.
- [27] 孙继梅.有机-无机肥配施提高肥料利用效率探究[J].南方农业,2019,13(23):188-189.
- [28] 何瑞岳.不同施肥对玉米产量及肥料利用的影响[J].中国农业文摘-农业工程,2021,33(1):42-45.
- [29] 杨涵,靳芙蓉,关统伟,等.有机肥替代部分化肥对温室土壤肥力和真菌群落的短期影响[J].西北农业学报,2021,30(3):422-430.