

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.05.005

# 有机肥部分替代化肥对生菜生长及土壤环境的影响

谢育利<sup>1</sup>, 王吉平<sup>1</sup>, 苏天明<sup>1</sup>,  
李红光<sup>2</sup>, 谭伯寿<sup>3</sup>, 杨文军<sup>4</sup>

1. 广西壮族自治区农业科学院 农业资源与环境研究所, 南宁 530007;
2. 广西贵港市港南区木格镇农业技术推广站, 广西 贵港 537135;
3. 广西贵港天潮农业科技有限公司, 广西 贵港 537135;
4. 广西函农生物质科技有限公司, 广西 贵港 537118

**摘要:** 为研究不同有机肥部分替代化肥对生菜生长、品质及土壤酶和土壤微生物的影响, 应用田间小区试验方法设置4个施肥处理: 单施化肥(T1)、减量20%化肥+氨基酸生物有机肥(T2)、减量20%化肥+鸡粪(含花生枯腐殖酸)(T3)、减量20%化肥+炭基肥(T4)。结果表明: T2处理增产提质效果最好, 较T1处理显著增产20.62%, 可溶性糖及维生素C含量分别提高17.14%和27.39%。此外, T2处理提高土壤酶活性25.86%~66.67%, T4处理提高土壤微生物数量4.42%~173.29%, 但模糊综合评价结果显示T2处理综合肥效最好。因此, 建议生菜种植采用氨基酸生物有机肥部分替代化肥的施肥方式。

**关键词:** 有机肥替代化肥; 生菜; 产量和品质; 土壤改良;  
模糊综合评价

中图分类号: S5-33

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2022)05-0041-09

## Effects of Partial Substitution of Chemical Fertilizers by Organic Fertilizers on Lettuce Growth and Soil Environment

XIE Yuli<sup>1</sup>, WANG Jiping<sup>1</sup>, SU Tianming<sup>1</sup>,  
LI Hongguang<sup>2</sup>, TAN Boshou<sup>3</sup>, YANG Wenjun<sup>4</sup>

1. Agricultural Resource and Environment Research Institute, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning 530007, China;
2. Agricultural Technology Extension Station, Muge Town, Gangnan District, Guigang City, Guigang Guangxi 537135, China;
3. Guangxi Guigang Tianchao Agricultural Technology Co., Ltd, Guigang Guangxi 537135, China;
4. Guangxi Hannong Biomass Technology Co., Ltd, Guigang Guangxi 537118, China

**Abstract:** In order to study the effects of partial replacement of chemical fertilizers by different organic fer-

收稿日期: 2021-03-23

基金项目: 广西重点研发计划项目(桂科 AB20159006); 南宁市武鸣区研发计划项目(20200201); 科技先锋队“强农富民”“六个一”专项行动项目(桂农科盟 2020013); 广西农科院优势团队项目(桂农科 2021YT038)。

作者简介: 谢育利, 硕士研究生, 主要从事环境科学方面的研究。

通信作者: 苏天明, 研究员。

tilizers on growth and quality of lettuce, soil enzymes and soil microorganisms, four fertilization treatments, including chemical fertilizer (T1), 20% reduced chemical fertilizer + amino acid bio-organic fertilizer (T2), 20% reduced chemical fertilizer + chicken manure (with humic acid of peanut meal) (T3), and 20% reduced chemical fertilizer + carbon based fertilizer (T4) were set up by field plot experiment. The results showed that T2 treatment had the best effect of increasing the yield and quality of lettuce. Compared with T1 treatment, T2 treatment significantly increased yield by 20.62%, soluble sugar and vitamin C content by 17.14% and 27.39%, respectively. In addition, T2 treatment increased soil enzymatic activity by 25.86%~66.67%, T4 treatment increased soil microbial quantity by 4.42%~173.29%. The fuzzy comprehensive evaluation results showed that T2 treatment had the best comprehensive fertilizer efficiency. Therefore, it is suggested that amino acid bio-organic fertilizer should be used to partially replace chemical fertilizer in lettuce cultivation.

**Key words:** organic manure replacing chemical fertilizer; lettuce; yield and quality; soil improvement; fuzzy comprehensive evaluation

生菜别名叶用莴苣、包生菜、千金菜等,是一年生草本植物。它富含胡萝卜素和硫胺素等营养物质,风味多样,深受人们的喜爱<sup>[1]</sup>。生菜作为常用蔬菜,在我国种植面积广泛<sup>[2]</sup>。广西是重要的蔬菜种植省份<sup>[3]</sup>,自2010年以来大批生菜种植专业户在广西形成。从2012年起,广西生菜开始销往北方市场,并成为“南菜北运”的重要蔬菜种类<sup>[4]</sup>。近年来,随着蔬菜需求量上升,蔬菜的增产需求也在上升。为了提高产量,大多数农民选择增施化肥<sup>[2]</sup>,而化肥的长期施用会导致土壤出现酸化、板结等问题,同时还会降低土壤微生物数量及活性<sup>[5]</sup>。因此,目前亟待研究的重要课题是探索合适的施肥方式以既保证蔬菜质量,又能提高蔬菜产量,同时降低施肥对土壤的污染,实现土壤改良。

研究表明,有机肥配合或者部分替代化肥能提高作物的产量、品质以及改善土壤的理化性质<sup>[6-9]</sup>。张迎春等<sup>[10]</sup>研究发现生物有机肥部分替代化肥不仅能提高莴笋养分积累量和肥料利用率,还能显著提高土壤养分,调节土壤微生物结构;葛立傲等<sup>[11]</sup>研究发现底肥施用微生物有机肥,化肥减量10%和20%相较于常规施肥均能明显降低结球生菜的死亡率,同时可提高结球生菜单球质量19.5%~95.1%;罗佳等<sup>[1]</sup>研究发现常规化肥配施20%有机肥可显著提高生菜产量,配施40%有机肥可提高维生素C含量、可溶性蛋白含量及可溶性糖含量;徐大兵等<sup>[12]</sup>研究发现生菜种植中有机肥氮替代25%~50%化肥氮时能获得较好的产量和质量,并减少硝态氮环境风险;贺丽群等<sup>[13]</sup>研究发现,与不施用有机肥对比,同时施用有机肥和生物炭的处理施肥效果最好,生菜植株的生物量可增长4.27倍,同时显著提高土壤有机质、速效磷和速效钾等含量,显著增强与土壤碳氮磷循环相关的酶活性。但当前针对不同有机肥部分替代化肥对生菜生长、品质及土壤酶和土壤微生物的影响研究报道较少<sup>[12,14-15]</sup>,且有机肥效果受到气候、地域及作物类型影响较大,具有较强的区域性<sup>[16-18]</sup>。

本研究应用小区试验方法,研究在不同有机肥部分替代化肥条件下生菜生长、品质及土壤酶和土壤微生物的变化特征,探讨适用于广西生菜种植的最佳施肥方式,以为广西生菜产量和品质的提高以及土壤的改良提供科学理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

本试验在广西壮族自治区贵港市农业科学研究所(23.11°N, 109.54°E)进行,试验开始前采集0~20 cm耕层土壤检测其基本理化性质。检测得知本试验大棚土壤理化性质各项指标为:pH=7.3、全磷1.08 g/kg、全钾4.24 g/kg、有效磷14.1 mg/kg、速效钾139 mg/kg、有机质22.7 g/kg、水解性氮95.9 mg/kg、全氮1.49 g/kg。

### 1.2 试验材料

选择当地主栽叶菜品种“意大利甜脆生菜”作为供试材料,种子购于丽隆蔬菜良种繁育基地。肥料包括

YARA 复合肥(21-6-13)(雅冉国际有限公司生产)、氨基酸生物有机肥(广西红鹰肥业有限公司提供)、鸡粪(含花生枯腐殖酸, 南宁桂裕鑫农业科技有限公司提供)和炭基肥(广西函农生物质科技有限公司提供), 各肥料的养分状况见表 1.

表 1 试验肥料养分状况表

肥料	五氧化二磷/ %	有效磷/ %	氧化钾/ %	总钾/ %	总氮/ %	腐殖酸/ %	pH 值
YARA 复合肥	/	6.64	/	/	14.82	/	/
氨基生物酸有机肥	1.48	/	1.57	/	2.61	/	6.5
鸡粪	3.17	/	2.66	/	1.44	15.82	5.9
炭基肥	/	2.88	/	2.99	0.79	/	8.0

注: “/”表示未检测该指标.

### 1.3 试验方法

#### 1.3.1 试验方案设计

本试验采用随机区组设计, 共设置 4 个施肥处理: 单施化肥(T1)、处理减量 20% 化肥+氨基酸生物有机肥(T2)、处理减量 20% 化肥+鸡粪(含花生枯腐殖酸)(T3)、处理减量 20% 化肥+炭基肥(T4). 每个处理设置 3 个重复小区, 小区面积 20.16 m<sup>2</sup> (8.4 m×2.4 m), 株行距为 20 cm×20 cm. 试验小区布置于广西壮族自治区贵港市农业科学研究所种植基地(23.11°N, 109.54°E), 于 2020 年 3 月下旬育苗, 4 月中旬移栽, 5 月下旬采收.

根据当地情况确定各处理施肥量, T1 处理: 化肥施用 120 kg/hm<sup>2</sup>, 即 YARA 复合肥(21-6-13) 571.5 kg/hm<sup>2</sup>; T2 处理: 减量 20% 化肥+氨基酸生物有机肥, 即 YARA 复合肥(21-6-13)457.2 kg/hm<sup>2</sup>, 氨基酸生物有机肥 15 t/hm<sup>2</sup>; T3 处理: 减量 20% 化肥+鸡粪(含花生枯腐殖酸), 即 YARA 复合肥(21-6-13) 457.5 kg/hm<sup>2</sup>, 鸡粪(含花生枯腐殖酸)15 t/hm<sup>2</sup>; T4 处理: 减量 20% 化肥+炭基肥, 即 YARA 复合肥(21-6-13) 457.5 kg/hm<sup>2</sup>, 炭基肥 15 t/hm<sup>2</sup>. 化肥按照 3:3:4 的比例分 3 次施用, 有机肥作为基肥一次性施用.

#### 1.3.2 样品采集

生菜成熟后进行称质量测产, 同时每个小区选取 10 株长势均匀的生菜, 收集地上部分用作品质分析, 并采集每个小区土壤进行土壤酶和土壤微生物分析.

#### 1.3.3 农艺性状测量

生菜成熟后, 在各小区分别选取 5 株长势均匀的生菜, 用卷尺测量其株高、冠幅、叶片长及叶片宽. 再将长势均匀的 10 株生菜沿地面剪断装袋, 带回实验室清洗后选取 5 株清数叶片数, 将其平均数作为单株叶片数, 测量 5 株的平均质量作为蔬菜单株鲜质量.

#### 1.3.4 产量测算

生菜成熟后分别将每个小区所有生菜沿地面剪断收集并称质量, 各施肥处理的产量分别为各自重复小区产量的均值.

#### 1.3.5 生菜品质分析

每个小区选择长势均匀的成熟生菜 10 株, 沿地面剪断装袋冷藏备用. 磷含量用对二苯酚-亚硫酸钠还原法测定(GB 5009.87-2016), 使用仪器为可见分光光度计(721N); 钾含量用火焰原子吸收法测定(GB 5009.91-2017), 使用仪器为原子吸收分光光度计(240FS-AA); 维生素 C 含量用 2,6-二氯酚酚滴定法测定(GB 5009.86-2016), 使用仪器为滴定管(25 mL); 可溶性糖含量用铜还原碘量法测定(NY/T 1278-2007), 使用仪器为滴定管(25 mL); 氮含量用凯氏定氮法测定(GB 5009.5-2016), 使用仪器为滴定管(25 mL); 粗纤维含量用重量法测定(GB/T 5009.10-2003), 使用仪器为电子天平(FR224CN)、箱式电阻炉(SX-4-10), 样品检测指标各设置 2 个检测重复数.

#### 1.3.6 土壤酶活性分析与土壤微生物检测

采用梅花布点法在每个小区采集 0~10 cm 耕层土样约 1 kg, 装袋后带回实验室风干备用. 采用靛酚

蓝比色法测定脲酶活性, 容重法测定过氧化氢酶活性, 对硝基酚磷酸钠法测定酸性磷酸酶活性<sup>[19]</sup>, 平板计数法测定土壤细菌、真菌和放线菌数量<sup>[20]</sup>, 样品检测指标各设置 2 个检测重复数。

#### 1.4 数据分析

采用隶属函数法<sup>[21]</sup>对本试验中生菜各测定指标进行模糊评价。隶属函数值计算公式为:

$$R(X_i) = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

若指标与评价效果为负相关, 则对隶属函数进行转换, 公式为:

$$R(X_i) = 1 - (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

(1)式和(2)式中:  $R$  为参与综合评价的指标,  $X_i$  为各处理指标测定值,  $X_{\max}$  和  $X_{\min}$  分别为所有测定数据中的最大值和最小值。分别计算各指标隶属函数值后, 再进行累加计算平均值, 采用平均隶属函数值(平均隶属度)进行综合评价, 平均值越大则说明综合效果越好。

用 Excel 2010 进行数据整理和计算, 用 SPSS 16.0 进行单因素方差分析及皮尔逊相关分析, 用 Sigma-plot 10.0 进行绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同有机肥部分替代化肥对生菜农艺性状的影响

用不同有机肥部分替代化肥时, 生菜的农艺性状存在一定差异(表 2)。各处理生菜农艺性状整体表现为有机肥部分替代化肥处理(T2-T4)高于单施化肥处理(T1), 农艺性状可提高 5.93%~45.52%。其中 T3 处理株高(25.17±1.16) cm, 为最高, 较 T1 提高 5.93%, 其余农艺性状(冠幅、叶片长、叶片宽、单株叶片数及单株地上鲜质量)均表现为 T2 处理效果最好, 较 T1 处理提高了 9.44%~45.52%, 且叶片长、叶片宽及单株地上鲜质量与 T1 处理的差异有统计学意义( $p < 0.05$ )。可见有机肥部分替代化肥可有效促进生菜生长, 且以 T2 处理的促进效果最好。

表 2 不同有机肥部分替代化肥时生菜农艺性状差异

处理	株高/cm	冠幅/cm	叶片长/cm	叶片宽/cm	单株叶片数	单株地上鲜质量/g
T1	23.89±2.57a	30.06±1.84a	18.00±0.62b	11.06±0.21c	16.20±1.23a	99.91±13.53b
T2	23.76±0.13a	33.28±1.22a	19.70±0.26a	14.39±0.52a	19.00±0.98a	145.39±16.46a
T3	25.17±1.16a	32.22±1.91a	19.39±0.34a	12.94±0.21b	16.58±0.42a	133.94±7.60a
T4	24.78±1.29a	32.83±2.11a	19.00±0.36ab	13.50±0.24ab	16.78±1.59a	141.89±12.51a

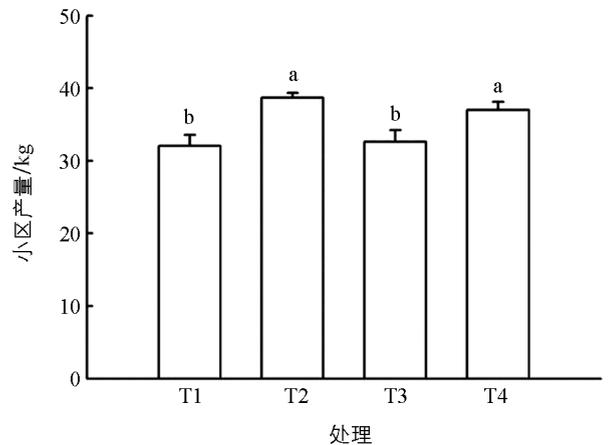
注: 同列数据后小写字母不同表示差异有统计学意义( $p < 0.05$ )。

### 2.2 不同有机肥部分替代化肥对生菜产量的影响

不同有机肥部分替代化肥对生菜的增产效果不一(图 1)。T2-T4 处理较单施化肥的处理(T1)生菜产量提高率分别为 20.62%, 1.69% 和 15.42%, 其中 T2 和 T4 处理的产量显著高于 T1 处理, 且 T2 处理的增产率最高。由此可见, 有机肥部分替代化肥能有效实现增产, 且 T2 处理的增产效果最好。

### 2.3 不同有机肥部分替代化肥对生菜品质的影响

不同有机肥部分替代化肥对生菜的品质存在显著影响(表 3)。氮含量从高到低排序依次为: T2, T1, T4, T3, 最大值(1.93 g/kg)比最小值(1.20 g/kg)显著高出 60.83%; 磷含量从高到低排序依次为: T2, T4, T1, T3, 最大值(168.67 mg/kg)比最小值(155.67 mg/kg)显著高出 8.35%; 钾含量从高到



柱状上小写字母不同表示差异有统计学意义( $p < 0.05$ )。

图 1 不同施肥处理下的生菜产量

低排序依次为: T4, T3, T2, T1, 最大值(1.90 g/kg)比最小值(1.62 g/kg)显著高出 17.28%; 粗纤维含量从高到低排序依次为: T1, T3, T4, T2, 最大值(0.47%)比最小值(0.41%)显著高出 14.63%; 可溶性糖含量从高到低排序依次为: T2, T3, T4, T1, 最大值(0.41%)比最小值(0.35%)显著高出 17.14%; 维生素 C 含量从高到低排序依次为: T2, T3, T4, T1, 最高值(67.30 mg/kg)比最低值(52.83 mg/kg)高 27.39%。本试验中 T2 处理粗纤维含量最低, 可见 T2 处理的生菜口感最佳。此外, 除钾元素外, 其余营养成分均为 T2 处理含量最高, 因此, T2 处理对促进生菜营养物质的积累效果最好, 对生菜品质的提高效果最佳。

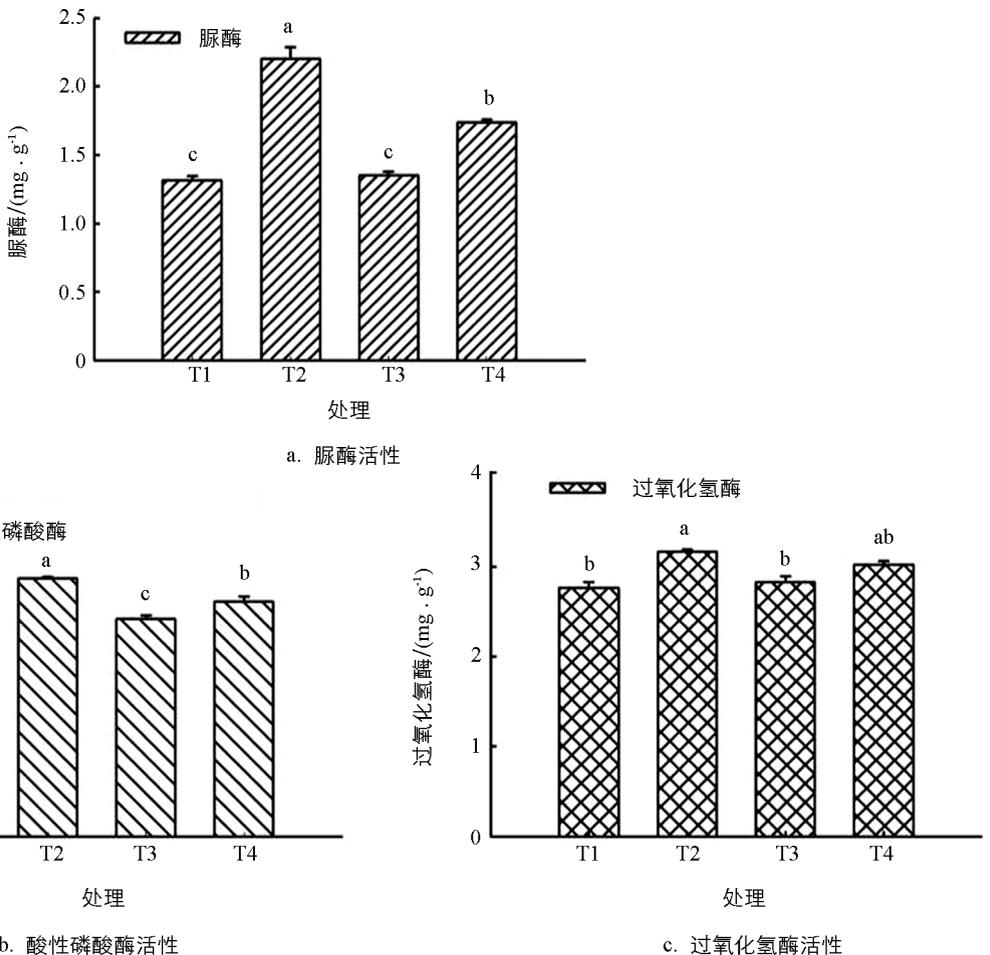
表 3 生菜品质测定结果

处理	氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	磷/(mg·kg <sup>-1</sup> )	钾/(g·kg <sup>-1</sup> )	粗纤维/%	可溶性糖/%	维生素 C/(mg·kg <sup>-1</sup> )
T1	1.70±0.08ab	163.33±3.40ab	1.62±0.04c	0.47±0.01a	0.35±0.01c	52.83±0.48c
T2	1.93±0.12a	168.67±2.87a	1.69±0.02c	0.41±0.01b	0.41±0.01a	67.30±0.36a
T3	1.20±0.08b	155.67±4.11b	1.80±0.04b	0.43±0.01b	0.38±0.01ab	56.13±1.60b
T4	1.27±0.12b	168.00±5.10ab	1.90±0.03a	0.42±0.01b	0.36±0.02bc	54.93±1.43bc

注: 同列数据后小写字母不同表示差异有统计学意义( $p < 0.05$ )。

## 2.4 不同有机肥部分替代化肥对土壤酶的影响

不同有机肥部分替代化肥对土壤酶存在显著影响。本试验中对土壤酶活性提升效果最好的是 T2 处理(图 2), 其脲酶活性(2.20 mg/g)比 T1 处理(1.32 mg/g)显著提高 66.67%, 酸性磷酸酶活性为 415.33  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$ , 比 T1 处理的 330.00  $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$  显著提高 25.86%, 过氧化氢酶活性(20 min)为 3.16  $\mu\text{mol}/\text{min}$ , 比 T1 处理的 2.76 mg/g 显著提高活性 14.49%。

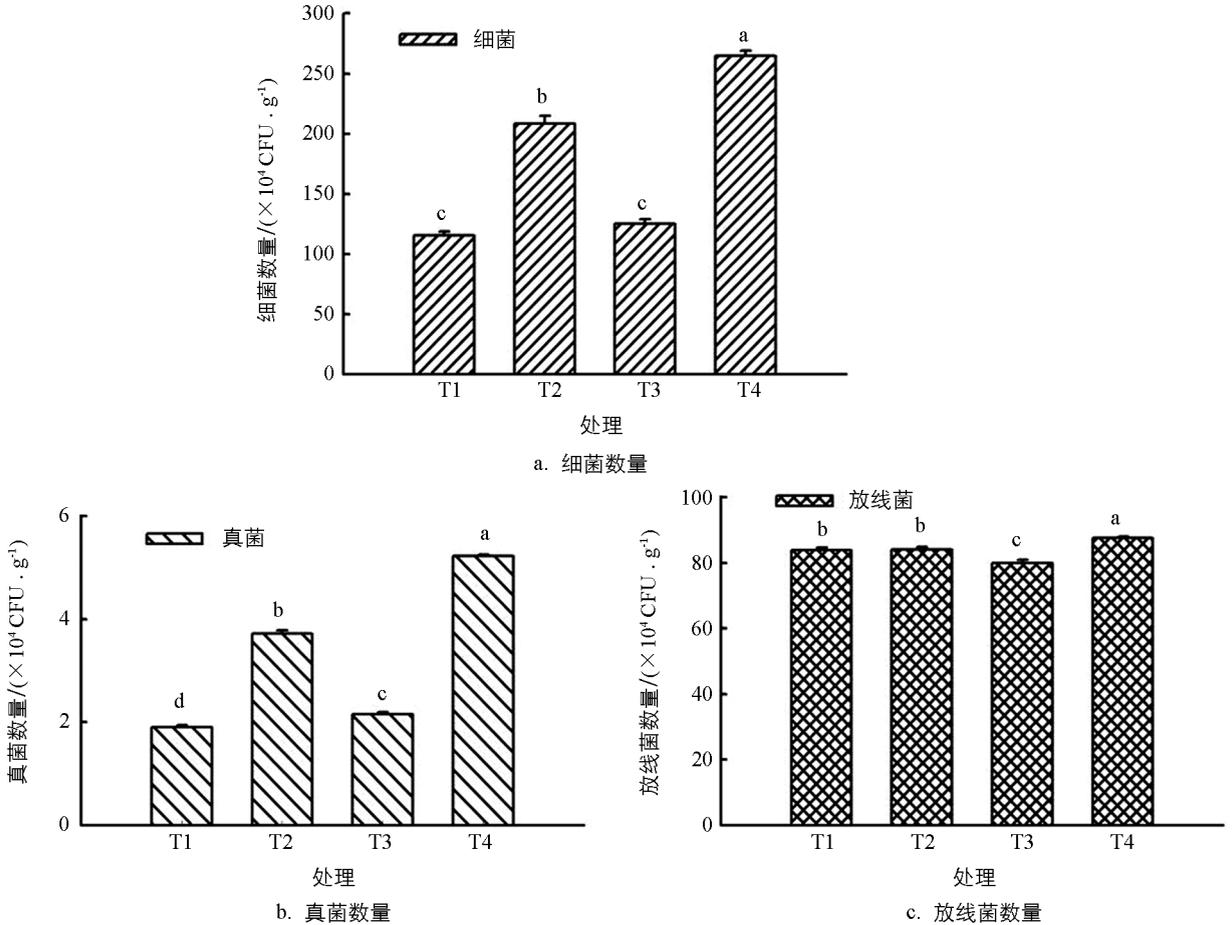


柱状上小写字母不同表示差异有统计学意义( $p < 0.05$ )。

图 2 不同施肥处理下土壤酶活性的差异

## 2.5 不同有机肥部分替代化肥对土壤微生物的影响

本试验中不同有机肥部分替代化肥(T2-T4 处理)较单施化肥(T1 处理)可有效增加土壤微生物数量,且以 T4 处理效果最好(图 3)。T4 处理的细菌数量( $2.65 \times 10^6$  CFU/g)比 T1 处理( $1.16 \times 10^6$  CFU/g)显著高出 128.45%;真菌数量( $5.22 \times 10^4$  CFU/g)比 T1 处理( $1.90 \times 10^4$  CFU/g)显著高出 173.29%;放线菌数量( $8.75 \times 10^5$  CFU/g)比 T1 处理( $8.38 \times 10^5$  CFU/g)显著高出 4.42%。



柱状上小写字母不同表示差异有统计学意义( $p < 0.05$ )。

图 3 不同施肥处理下土壤微生物数量

## 2.6 生菜产量、品质、土壤酶及土壤微生物的相关性分析

皮尔逊相关分析结果表明部分指标之间存在显著相关性(表 4)。其中产量与脲酶、酸性磷酸酶及过氧化氢酶活性之间存在显著的相关性,其相关系数分别为 0.965, 0.964 和 0.990。脲酶与酸性磷酸酶、过氧化氢酶活性之间也存在显著相关性,其相关系数均为 0.981。此外,维生素 C 与可溶性糖、细菌含量与真菌含量之间也存在显著相关性,相关系数分别为 0.955 和 0.997。

## 2.7 不同有机肥部分替代化肥肥效的模糊综合评价

本试验主要从生菜产量、营养品质及土壤酶和土壤微生物等方面综合考虑施肥效果,选取了产量、生菜氮含量、磷含量、钾含量及土壤酶和土壤微生物等 13 项指标(表 5)进行肥效模糊综合评价。由表 5 可知,不同有机肥部分替代化肥肥效平均隶属度从大到小排序为: T2, T4, T3, T1, 其平均隶属度分别为: 0.771, 0.642, 0.275 和 0.201。由此可见,有机肥部分替代化肥(T2-T4)的施肥效果均优于单施化肥(T1),且以 T2 处理综合施肥效果最好。

表 4 生菜产量、品质、土壤酶及土壤微生物之间的皮尔逊相关系数

指标	产量	氮	磷	钾	粗纤维	可溶性糖	维生素 C	细菌	真菌	放线菌	脲酶	酸性磷酸酶	过氧化氢酶活性
产量	1												
氮	0.364	1											
磷	0.805	0.552	1										
钾	0.284	-0.788	-0.004	1									
粗纤维	-0.824	0.053	-0.337	-0.569	1								
可溶性糖	0.619	0.433	0.165	-0.087	-0.743	1							
维生素 C	0.754	0.627	0.43	-0.183	-0.704	0.955*	1						
细菌	0.857	-0.048	0.761	0.635	-0.708	0.186	0.316	1					
真菌	0.813	-0.119	0.726	0.682	-0.682	0.122	0.244	0.997**	1				
放线菌	0.572	0.118	0.861	0.308	-0.165	-0.281	-0.043	0.806	0.813	1			
脲酶	0.965*	0.555	0.763	0.055	-0.773	0.754	0.887	0.693	0.634	0.415	1		
酸性磷酸酶	0.964*	0.408	0.657	0.197	-0.88	0.806	0.889	0.713	0.659	0.334	0.981*	1	
过氧化氢酶活性	0.990*	0.383	0.73	0.248	-0.866	0.724	0.831	0.79	0.742	0.45	0.981*	0.992**	1

注：“\*”表示在  $p < 0.05$  水平上存在相关性，“\*\*”表示在  $p < 0.01$  水平上存在相关性。

表 5 不同有机肥部分替代化肥处理下生菜产量品质指标及土壤指标隶属度

参评指标	T1	T2	T3	T4
产量	0.216	0.901	0.272	0.728
氮	0.600	0.830	0.170	0.170
磷	0.514	0.736	0.195	0.708
钾	0.088	0.294	0.618	0.912
粗纤维	0.125	0.875	0.625	0.750
可溶性糖	0.225	0.899	0.562	0.337
维生素 C	0.028	0.980	0.245	0.166
脲酶	0.038	0.885	0.067	0.442
过氧化氢酶活性	0.157	0.941	0.294	0.667
酸性磷酸酶	0.022	0.970	0.244	0.556
土壤细菌	0.051	0.608	0.082	0.968
土壤真菌	0.015	0.550	0.088	0.991
土壤放线菌	0.533	0.556	0.111	0.944
平均隶属度	0.201	0.771	0.275	0.642
排序	4	1	3	2

### 3 讨论

#### 3.1 不同有机肥部分替代化肥对生菜产量及品质的影响

随着生活水平的提高,人们对蔬菜的需求量有所增长,同时对蔬菜的品质也有更高要求,因此蔬菜的增产提质非常重要。在本试验中,不同有机肥部分替代化肥的处理(T2-T4)产量均高于单施化肥的处理(T1),其中 T2 处理、T4 处理的产量较 T1 处理分别显著提高了 20.62%和 15.42%,以 T2 处理的增产效果最好(图 1)。可见有机肥部分替代化肥可有效提高作物产量,此结果与张建军等<sup>[22]</sup>对冬小麦的研究、井永革等<sup>[23]</sup>对小麦和玉米的研究及武星魁等<sup>[24]</sup>对叶菜的研究结果一致。本试验中,T2 处理对生菜生长的促

进效果最好,其冠幅( $33.28 \pm 1.22$ ) cm、叶片长( $19.70 \pm 0.26$ ) cm、叶片宽( $14.39 \pm 0.52$ ) cm、单株叶片数( $19.0 \pm 0.98$ )片及单株地上鲜质量( $145.39 \pm 16.46$ ) g 在各处理中均表现为最优。由此推测氨基酸生物有机肥可通过促进生菜叶片数的增加、冠幅及叶片大小的增长而实现有效增产。而产量与土壤酶的相关性分析结果显示两者之间存在显著正相关(表 4),因此氨基酸生物有机肥增产原因可能是氨基酸生物有机肥的施用可提高与土壤养分转化相关的土壤酶活性,促进作物养分吸收,进而促进作物生长<sup>[25]</sup>。此外,生菜的品质检测结果显示,T2 处理下生菜的氮、磷、可溶性糖及维生素 C 含量均为最高,粗纤维含量则最低。可见氨基酸生物有机肥部分替代化肥后生菜不仅产量最高,而且口感最好,营养价值也最佳。这可能是因为氨基酸生物有机肥的营养成分可以直接参与植物细胞物质合成,无需消耗植物本身的能量及光合产物<sup>[25-26]</sup>。因此,生菜种植采用氨基酸生物有机肥部分替代化肥的施肥方式可有效增产提质。

### 3.2 不同有机肥部分替代化肥对土壤酶和土壤微生物的影响

土壤酶是土壤生态系统的组分之一,在土壤物质循环和能量转化中具有重要作用<sup>[27]</sup>,其活力可作为土壤肥力的指标<sup>[28]</sup>。吕娜娜等<sup>[25]</sup>研究发现与不施肥对照相比,施用氨基酸有机肥能显著提高土壤脲酶、过氧化氢酶及磷酸酶活性。在本试验中,不同有机肥部分替代化肥的处理(T2-T4),其脲酶及酸性磷酸酶活性均高于单施化肥的处理(T1),过氧化氢酶的活性均大于 T1 处理(图 3),其中 T2 处理的土壤酶活性最高。由此表明有机肥部分替代化肥同样可以有效提高土壤氮、磷的活化能力,进而提升土壤肥力,且以氨基酸有机肥部分替代化肥(T2 处理)的提升效果最好。

土壤微生物也是土壤生态系统的重要组成成分<sup>[29]</sup>,通过微生物旺盛的代谢活动可明显改善土壤物理结构及提高土壤肥力<sup>[30]</sup>。在本试验中,T2 和 T4 处理的细菌及真菌数量均高于 T1 处理,放线菌数量 T4 处理高于 T1 处理,可见有机肥部分替代化肥的施肥方式能有效增加土壤微生物数量,提升土壤肥力。赵亚丽等<sup>[31]</sup>和张向前等<sup>[32]</sup>研究发现土壤微生物数量与土壤酶活性存在显著正相关,但在本试验中相关分析显示土壤酶与土壤微生物之间没有相关性,其原因有待进一步研究。

## 4 结论

1) 有机肥部分替代化肥能有效提高生菜产量及品质,其中氨基酸生物有机肥部分替代化肥对生菜增产提质效果最优,相较于单一施用化肥可显著增产 20.62%,生菜可溶性糖含量及维生素 C 含量可显著提高 17.14%和 27.39%。

2) 有机肥部分替代化肥能有效地提升土壤肥力,相较于单一施用化肥能显著增加土壤微生物含量,同时提高土壤酶活性。其中氨基酸生物有机肥部分替代化肥对土壤改良效果较好,且模糊综合评价结果显示其综合肥效果最好。

3) 从生菜增产、提升营养价值及土壤改良等方面综合考虑,建议生菜种植采用氨基酸生物有机肥部分替代化肥的施肥方式。

### 参考文献:

- [1] 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.
- [2] 孙俊,金夏明,毛罕平,等. 基于高光谱图像光谱与纹理信息的生菜氮素含量检测 [J]. 农业工程学报, 2014, 30(10): 167-173.
- [3] 广西壮族自治区地方志编纂委员会. 广西年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2019.
- [4] 韦丹,覃振略,周艳芳,等. 无公害生菜优质高产栽培技术 [J]. 上海蔬菜, 2017(2): 32-34.
- [5] 孙铁珩,宋雪英. 中国农业环境问题与对策 [J]. 农业现代化研究, 2008, 29(6): 646-648, 652.
- [6] 祝英,王治业,彭轶楠,等. 有机肥替代部分化肥对土壤肥力和微生物特征的影响 [J]. 土壤通报, 2015, 46(5): 1161-1167.
- [7] 陶磊,褚贵新,刘涛,等. 有机肥替代部分化肥对长期连作棉田产量、土壤微生物数量及酶活性的影响 [J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6137-6146.

- [8] 张城铭,周鑫斌,徐宸,等. 不同培肥措施对黄壤烟田培肥效应研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2017, 42(7): 12-17.
- [9] 王彦锟,韦建玉,金亚波,等. 生物有机肥对黄壤烟田真菌群落结构和烟叶产质量的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2018, 40(5): 38-45.
- [10] 张迎春,颜建明,李静,等. 生物有机肥部分替代化肥对茼蒿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.
- [11] 葛立傲,刘小英,罗杰,等. 施用微生物有机肥替代化肥与化肥减量对结球生菜生长的影响 [J]. 现代农业科技, 2019 (23): 62-63.
- [12] 徐大兵,赵书军,袁家富,等. 有机肥替代化肥对叶菜产量品质和土壤氮淋失的影响 [J]. 农业工程学报, 2018, 34(S1): 13-18.
- [13] 贺丽群,张庆金,吴培栋,等. 有机肥与生物炭互作对城市底土肥力及生菜生长的影响 [J]. 南方农业学报, 2019, 50(8): 1701-1708.
- [14] 赵跃,黄楠,刘继培,等. 优化施肥对京郊地区设施生菜产量、品质及土壤速效养分的影响 [J]. 中国瓜菜, 2019, 32(9): 42-44, 53.
- [15] 李荣喜,黄敏,张妃龙,等. 有机肥与微生物菌肥混合使用对生菜产量与品质的影响 [J]. 广东蚕业, 2018, 52(3): 13-14.
- [16] 陈香碧,胡亚军,秦红灵,等. 稻作系统有机肥替代部分化肥的土壤氮循环特征及增产机制 [J]. 应用生态学报, 2020, 31(3): 1033-1042.
- [17] 刘鸣达,王秋凝,魏佳伦,等. 羊粪-菇渣蚓粪与化肥配施对油麦菜产量及品质的影响 [J]. 生态学杂志, 2019, 38(6): 1760-1766.
- [18] 刘沙沙,李兵,张古彬,等. 猪粪有机肥替代化肥对黄淮地区油麦菜品质及养分利用的影响 [J]. 广东农业科学, 2019, 46(8): 71-79.
- [19] 黄巧云,林启美,徐建明. 土壤生物化学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2015.
- [20] 李振高,骆永明,滕应. 土壤与环境微生物研究法 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [21] 刘臣艳,王德炉. 蓝莓根系形态对不同肥种的响应特征及模糊综合评价 [J]. 经济林研究, 2019, 37(3): 110-118.
- [22] 张建军,樊廷录,赵刚,等. 长期定位施不同氮源有机肥替代部分含氮化肥对陇东旱塬冬小麦产量和水分利用效率的影响 [J]. 作物学报, 2017, 43(7): 1077-1086.
- [23] 井永苹,李彦,薄录吉,等. 有机肥部分替代化肥对作物产量及土壤氮素迁移的影响 [J]. 山东农业科学, 2019, 51(7): 48-54.
- [24] 武星魁,姜振萃,陆志新,等. 有机肥部分替代化肥氮对叶菜产量和环境效应的影响 [J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(3): 349-356.
- [25] 吕娜娜,沈宗专,王东升,等. 施用氨基酸有机肥对黄瓜产量及土壤生物学性状的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2018, 41(3): 456-464.
- [26] 徐福乐,纵明,杨峰,等. 生物有机肥的肥效及作用机理 [J]. 耕作与栽培, 2005(6): 8-9.
- [27] 王理德,王方琳,郭春秀,等. 土壤酶学研究进展 [J]. 土壤, 2016, 48(1): 12-21.
- [28] 周礼恺. 土壤酶学 [M]. 北京: 科学出版社, 1989.
- [29] 朱平,陈仁升,宋耀选,等. 祁连山不同植被类型土壤微生物群落多样性差异 [J]. 草业学报, 2015, 24(6): 75-84.
- [30] 周德庆. 微生物学教程 [M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [31] 赵亚丽,郭海斌,薛志伟,等. 耕作方式与秸秆还田对土壤微生物数量、酶活性及作物产量的影响 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(6): 1785-1792.
- [32] 张向前,黄国勤,卞新民,等. 间作对玉米品质、产量及土壤微生物数量和酶活性的影响 [J]. 生态学报, 2012, 32(22): 7082-7090.