

石子建,唐 鹏,许竹激,等. 化肥减量配施有机肥对鲜食玉米产量品质和土壤理化性质的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(5):77-82.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.05.011

# 化肥减量配施有机肥对鲜食玉米产量品质和土壤理化性质的影响

石子建,唐 鹏,许竹激,雷 俊,李 韵,邵晓伟,姜 欢,汪寿根,徐建祥

(衢州市农业林业科学研究院,浙江衢州 324000)

**摘要:**为明确有机肥替代化肥对鲜食玉米生长和土壤环境的影响,本研究通过田间试验,以全量化肥为对照(T<sub>2</sub>),设置化肥减量30%(T<sub>1</sub>)和有机肥等N量替代15%、30%、45%化肥(T<sub>3</sub>、T<sub>4</sub>、T<sub>5</sub>)3个有机无机配施处理,分析不同施肥处理对鲜食玉米产量、产量构成、穗部性状、品质、土壤性状及相互关系的影响。结果表明,施用有机肥较单施化肥可以促进玉米生长、提高玉米产量,T<sub>4</sub>处理较T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>处理分别显著增加43.2%、28.6%,T<sub>3</sub>、T<sub>5</sub>处理分别较T<sub>1</sub>处理显著增加29.3%、35.8%;增施有机肥处理的株高、穗位高、单株鲜生物量、SPAD值、单穗重、百粒重、穗粗较单施化肥处理的均显著增加;T<sub>4</sub>处理的维生素C和可溶性糖含量较T<sub>2</sub>处理分别显著提高46.7%、35.6%,较T<sub>3</sub>处理分别显著提高18.25%、12.3%;T<sub>4</sub>处理的可溶性蛋白含量较T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>、T<sub>5</sub>处理分别显著提高18.9%、11.8%、9.0%、29.3%;增施有机肥较单施化肥处理可以提高土壤的全氮、有机质、速效钾等养分含量,T<sub>4</sub>处理的土壤速效氮含量较T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>分别增加17.18%、11.17%,T<sub>4</sub>处理的土壤速效钾含量较T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub>、T<sub>3</sub>处理分别显著增加43.1%、29.9%、14.7%,T<sub>5</sub>处理较T<sub>4</sub>处理可以更好地改良土壤酸化、增加土壤有机质含量,但不会增加土壤速效养分含量。鲜食玉米产量与穗粗、百粒重、单穗重显著相关;单穗重与穗长、百粒重显著相关,与穗粗极显著相关。综上,有机肥部分替代化肥能更好地促进玉米植株的生长、提高玉米产量和果穗品质,改良土壤理化性质,替代比例以30%为宜。

**关键词:**鲜食玉米;有机肥;化肥减施;产量和品质;土壤改良

**中图分类号:**S513.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)05-0077-06

鲜食甜糯玉米风味独特、种皮薄、糯性强、口感好,富含淀粉、蛋白质、多种维生素等,具有很高的营养和经济价值。农业农村部发布的《“十四五”全

国种植业发展规划》提出,到2025年玉米播种面积要扩大到4 200万hm<sup>2</sup>以上,适当发展鲜食玉米,鲜食玉米面积稳定在133万hm<sup>2</sup>以上,优化品种结构,适应居民消费升级的需要,为居民提供营养健康的膳食纤维和果蔬。浙江省雨水充沛、多丘陵山地,鲜食玉米种植面积占全省玉米种植总面积的2/3,随着种植结构的调整和居民消费升级的需要,鲜食

收稿日期:2023-06-03

基金项目:衢州市科技计划(编号:2020K28,2020K35)。

作者简介:石子建(1991—),男,河北沧州人,硕士,农艺师,研究方向为作物栽培及选育。E-mail:Zijiansh@126.com。

生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(5):1126-1135.

[13]张昌爱,于秀英,杨 力,等. 肥包埋置测定包膜尿素在土壤中氮素释放的方法及应用[J]. 环境化学,2017,36(9):2055-2061.

[14]李应洪,王海月,吕腾飞,等. 不同秧龄下机插方式与密度对杂交稻光合生产及产量的影响[J]. 中国水稻科学,2017,31(3):265-277.

[15]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.

[16]曹树青,陆 巍,翟虎渠,等. 用水稻苗期叶绿素含量相对稳定期估算水稻剑叶光合功能期的方法研究[J]. 中国水稻科学,2001,15(4):70-74.

[17]钟 平,邵文奇,孙春梅,等. 托盘育苗方法中不同育苗介质及

出苗方式对机插水稻秧苗素质的影响[J]. 西南农业学报,2019,32(8):1740-1745.

[18]商庆银,吕伟生,曾勇军,等. 分蘖肥不同施用时期对机插双季稻产量和群体发育的影响[J]. 江西农业大学学报,2015,37(1):42-47.

[19]易子豪,朱德峰,王亚梁,等. 水分亏缺对水稻秧苗素质的影响及调控[J]. 中国稻米,2020,26(6):32-36.

[20]孙宇瑞. 土壤含水率和盐分对土壤电导率的影响[J]. 中国农业大学学报,2000,5(4):39-41.

[21]汪本福. 粳稻不同生育期类型品种产量形成特性与品质特征研究[D]. 扬州:扬州大学,2006.

[22]纪雄辉,郑圣先,聂 军,等. 稻田土壤上控释氮肥的氮素利用率与硝态氮的淋溶损失[J]. 土壤通报,2007,38(3):467-471.

玉米发展前景越来越广阔,并且呈现多元化的趋势<sup>[1-2]</sup>。

化肥对于维持作物产量具有重要的意义,但是大量研究表明,目前中国化肥施用量已经超过了其经济意义上的最优施用量,其中玉米的过量施肥程度达到了 32.76%<sup>[3-4]</sup>。对化肥的过度依赖、有机肥施用不足造成了土壤酸化、板结、肥力下降等问题,过去 30 年化学肥料的大量施用导致中国几乎所有土壤类型的 pH 值下降了 0.13~0.80<sup>[5-6]</sup>。目前针对鲜食玉米的试验研究多集中在品种、密度、播期、新型肥料等方面,施用有机肥替代部分化肥来改良土壤、提高鲜食玉米产量和品质方面的研究较少,化肥的过量使用不仅不会增加鲜食玉米产量,还会对经济、生态等产生负面影响。本研究从鲜食玉米的产量、品质、土壤肥力等方面,分析有机肥部分替代化肥的可行性。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验于 2022 年在衢州市衢江区湖仁村进行,该地区气候属于亚热带季风区,年平均气温约为 17.1℃,年降水量为 1 650~2 200 mm,日照时数为 2 063.3 h。土壤类型为红黄壤,0~20 cm 耕作层土壤有机质含量为 16.22 g/kg,全氮含量为 1.14 g/kg,速效氮含量为 98.61 mg/kg,速效磷含量为 69.82 mg/kg,速效钾含量为 92.71 mg/kg,pH 值为 5.18。

供试作物为甜糯玉米鲜甜糯 366。供试复合肥由武汉中农国际贸易有限公司出品的硫酸钾型丹王复合肥,N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>O 含量均为 17%,供试有机肥由福建富春山生态农业发展有限公司提供,全氮含量 2.0%、N + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O 含量 ≥ 5%、有机质含量 ≥ 45%。

### 1.2 试验设计

试验共设 5 个处理,采用随机区组设计,重复 3 次。各试验处理如下:T1(减量 30% 化肥,复合肥 525 kg/hm<sup>2</sup> + 尿素 105 kg/hm<sup>2</sup>),T2(全量化肥,复合肥 750 kg/hm<sup>2</sup> + 尿素 150 kg/hm<sup>2</sup>),T3(减量 15% 化肥 + 1 500 kg/hm<sup>2</sup> 有机肥),T4(减量 30% 化肥 + 3 000 kg/hm<sup>2</sup> 有机肥),T5(减量 45% 化肥 + 4 500 kg/hm<sup>2</sup> 有机肥)。各处理的有机肥替代化肥均采用 N 养分等量替代的原则。有机肥和复合肥全部基施,有机肥基施后翻耕,再撒施复合肥后耙

平、开沟、起垄;尿素分 2 次等量追施,分别在玉米拔节期和抽雄前期施用。田间管理采用常规方式,小区面积为 30 m<sup>2</sup>(6 m × 5 m),小区间间距为 30 cm,行株距为 50 cm × 40 cm,每个小区种植 60 株玉米。试验于 2022 年 8 月 2 日直播,8 月 5 日出苗,8 月 24 日拔节,9 月下旬抽雄,10 月 11 日进入成熟期、取样测产。

### 1.3 测定项目与方法

植物长势:收获前期测定各小区玉米的茎粗(茎部第 1 节下部)、株高(自根部第 1 节至植株生长点高度)、叶绿素(自上而下第 3 片叶片中部,叶绿素仪测定)。每穗称重后测量穗长、穗粗、穗行数、行粒数;每穗取中部籽粒 100 粒测量百粒重;籽粒榨汁后利用日本爱拓 ATAGO PAL-1 水果糖度计测量糖度;穗部性状的测量:每个小区均采集 5 穗长势均匀的果实,计算平均值。收获期分 2 批收获测产,称重测得小区产量,根据小区产量换算公顷产量。

鲜食玉米成熟期采集成熟度一致、大小均匀的果实 5 穗,籽粒混匀,部分用匀浆机进行匀浆,保存于 -20℃ 冰箱待测;部分籽粒杀青烘干、粉碎过筛后待测。鲜食玉米品质的测定方法如下:维生素 C 含量采用比色法,可溶性蛋白含量采用 BCA 法,可溶性糖含量采用蒽酮比色法,淀粉含量采用蒽酮比色法。

土壤理化性质测定方法如下:全氮含量采用凯氏定氮法,速效氮含量采用扩散法,速效钾含量采用火焰光度法,有效磷含量采用双酸浸提-钼锑抗分光光度法,有机质含量采用重铬酸钾-浓硫酸加热法,pH 值采用 pH 值计测定。

### 1.4 数据处理

利用 WPS 软件处理数据,使用 SPSS 22.0 对数据进行方差分析和相关性分析,显著性差异用 LSD 和 Duncan's 检验法(α=0.05)进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同施肥处理对玉米植株农艺性状的影响

由表 1 可知,T1 和 T2 处理之间的玉米植株农艺性状差异不显著,表明化肥减量 30% 相对全量施肥不会对玉米植株生长造成显著影响。增施有机肥处理相对单施化肥对玉米植株的农艺性状影响较大,T3、T4、T5 处理的株高较 T1、T2 处理均显著增加,T4 处理的株高与 T5 处理相比显著增加;T4、T5

处理的茎粗较 T1、T2 处理均显著增加,T3、T4、T5 处理之间的茎粗和穗位高差异均不显著,T3、T4、T5 处理的穗位高较 T1、T2 处理均显著增加;T3、T4、T5 处理的 SPAD 值较 T1、T2 处理均显著提高,随着有机

肥用量的增加 SPAD 值呈现递增趋势,且 T5 与 T3 处理差异显著;增施有机肥处理的单株鲜生物量较单施化肥均显著增加,但是 T3、T4、T5 处理之间差异不显著。

表 1 不同施肥处理之间玉米植株农艺性状的比较

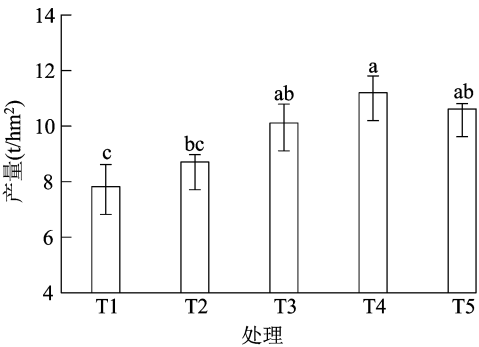
处理	株高 (cm)	茎粗 (mm)	穗位高 (cm)	SPAD 值	单株鲜生物量 (g)
T1	136.71c	19.27bc	37.40b	34.43c	423b
T2	134.87c	19.05c	32.87b	33.44c	384b
T3	168.31ab	21.17ab	50.77a	47.32b	614a
T4	171.07a	22.83a	53.02a	49.61ab	664a
T5	164.59b	21.53a	51.12a	53.25a	660a

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同。

2.2 不同施肥处理对鲜食玉米产量和果穗性状的影响

不同处理对鲜食玉米产量的影响如图 1 所示,施用有机肥处理较单施化肥处理玉米产量均有所提高,其中 T4 处理较 T1、T2 处理分别显著增加 43.2%、28.6%,T3、T5 处理较 T1 处理分别显著增加 29.3%、35.8%;T1 处理与 T2 处理差异不显著,T3、T4、T5 处理间差异不显著。由表 2 可知,不同施肥处理间的果穗性状差异较大。T3、T4、T5 处理之间的穗长差异不显著,较 T2 处理均显著增加,较 T1 处理均差异不显著;T1、T2、T3、T4 处理之间的穗粗差异显著,其中 T4 处理的穗粗最大,T5 处理的穗粗与 T3、T4 处理差异不显著;T1、T2 处理的穗行数差异不显著,T3、T4、T5 处理之间的穗行数差异也不显著,T5 处理的穗行数较 T1 处理显著增加;各处理间的行粒数差异不显著;T3、T4、T5 处理之间的百粒重

差异不显著,较 T1、T2 处理均显著增加,T1、T2 处理间的百粒重差异不显著;T3、T4、T5 处理之间的单穗重差异不显著,较 T1、T2 处理均显著增加,T1、T2 处理间的单穗重差异不显著;T4、T5 处理的糖度较 T1 处理均显著增加,T1、T2、T3 处理之间的糖度差异不显著。



图柱上方不同小写字母表示不同处理间在 0.05 水平上差异显著。下图同

图1 不同处理对鲜食玉米产量的影响

表 2 不同施肥处理下果穗性状的比较

处理	穗长 (cm)	穗粗 (mm)	穗行数 (行/穗)	行粒数 (粒/行)	百粒重 (g)	单穗重 (g)	糖度 (%)
T1	15.68ab	42.84c	13.73b	32.33a	22.74b	185.41b	12.05b
T2	14.79b	40.57d	14.20ab	30.20a	24.08b	169.70b	12.98ab
T3	16.59a	47.57b	14.07ab	31.53a	31.63a	260.79a	12.66ab
T4	16.70a	49.31a	13.93ab	33.07a	33.07a	267.23a	13.33a
T5	16.14a	48.66ab	14.60a	30.80a	29.08a	268.31a	13.35a

2.3 不同施肥处理对玉米品质的影响

不同施肥处理对鲜食玉米籽粒品质的影响如图 2 所示,施用有机肥处理的维生素 C、可溶性糖、淀粉含量较单施化肥的处理均显著提高;T1、T2 处

理之间的维生素 C 和可溶性糖含量差异不显著;T4 处理的维生素 C 和可溶性糖含量较 T2 处理分别显著提高 46.7%、35.6%,较 T3 处理分别显著提高 18.25%、12.3%,较 T5 处理差异不显著;T4 处理的

可溶性蛋白含量较 T1、T2、T3、T5 处理分别显著提高 18.9%、11.8%、9.0%、29.3%，T5 处理的可溶性蛋白含量较其余处理均显著降低，T1、T2 处理之间的可溶性蛋白含量差异不显著；T2 处理较 T1 处理的淀粉含量显著提高，T4 处理较 T3 处理、T5 处理的淀粉含量显著提高 84.6%、50.3%，T5 处理较 T3

处理的淀粉含量显著提高。总体上看，T4 处理的维生素 C、可溶性糖、可溶性蛋白、淀粉含量较其余处理均有提高，T5 处理的维生素 C、可溶性糖含量与 T4 处理差异不显著，T5 处理的可溶性蛋白、淀粉含量较 T4 处理显著降低。

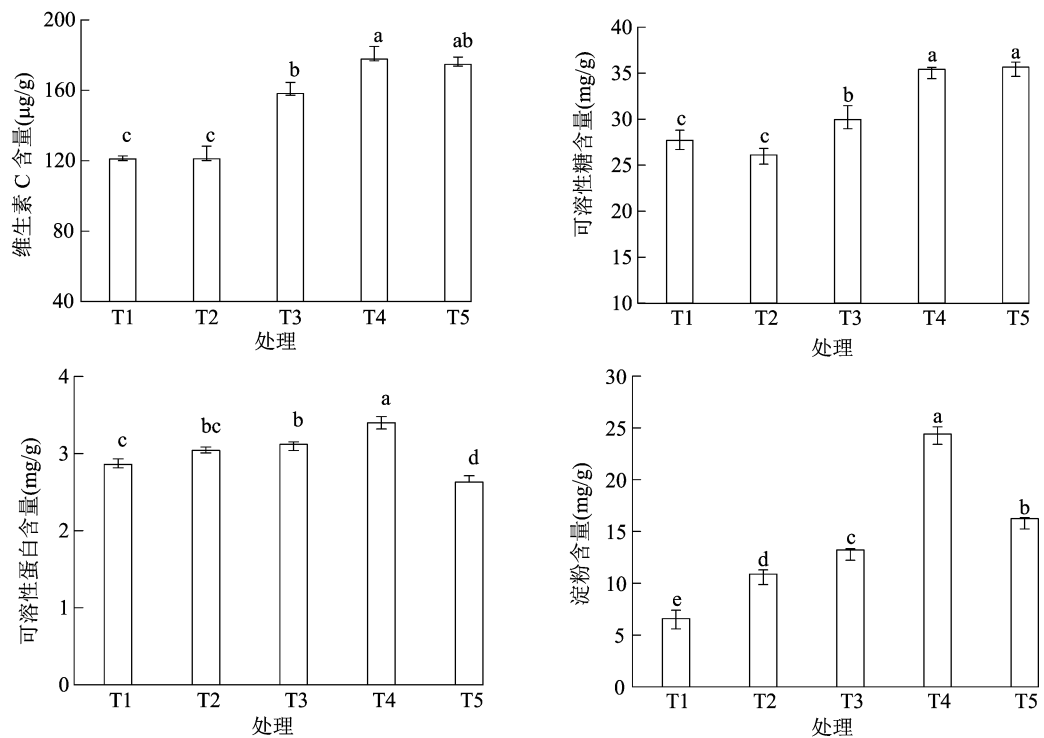


图2 不同处理对玉米品质的影响(平均值±标准误, n=3)

2.4 有机肥替代化肥对鲜食玉米土壤理化性质的影响

不同处理对鲜食玉米土壤理化性质的影响如表 3 所示,施用有机肥处理的土壤 pH 值呈递增趋势,T4、T5 处理的 pH 值较 T1、T2 处理显著增加,T5 处理的 pH 值较 T3 处理显著增加、较 T4 处理增加不显著;各处理间的土壤全氮和速效磷含量差异不显著,T4 处理的全氮含量最高,T3 处理的速效磷含量最高;T4 处理的土壤速效氮含量较其余处理显著增加,其中 T4 较 T1、T2 分别增加 17.18%、

11.17%,其余处理之间的速效氮含量差异不显著;T4 处理的土壤速效钾含量较 T1、T2、T3 处理分别显著增加 43.1%、29.9%、14.7%,与 T5 处理差异不显著,T1、T2、T3 处理的土壤速效钾含量差异不显著;各处理间的土壤有机质含量差异不显著,施用有机肥的处理较其余处理呈现递增趋势。

2.5 鲜食玉米穗部性状、产量与土壤理化性质的相关性分析

由表 4 可知,鲜食玉米产量与穗粗、百粒重、单穗重显著相关;单穗重与穗长、百粒重显著相关,与

表 3 不同处理对土壤理化性质的影响

处理	pH 值	全氮含量 (g/kg)	速效氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	有机质含量 (g/kg)
T1	5.16c	1.11a	107.05b	73.57a	90.2c	16.15a
T2	5.06c	1.20a	112.84b	86.76a	99.39c	16.62a
T3	5.28bc	1.26a	106.41b	94.49a	112.52bc	16.79a
T4	5.54ab	1.28a	125.44a	91.17a	129.09a	17.04a
T5	5.77a	1.25a	109.86b	84.98a	123.68ab	17.06a

穗粗极显著相关;穗粗与穗长、百粒重显著相关。

效钾含量极显著影响鲜食玉米产量;土壤全氮含量

土壤全氮、有机质含量显著影响鲜食玉米产量,速

与速效钾、速效磷和有机质含量显著相关。

表 4 鲜食玉米穗部性状、产量与土壤相关性分析

指标	相关系数												
	穗长	穗粗	穗行数	行粒数	百粒重	单穗重	产量	pH 值	全氮含量	速效氮含量	速效钾含量	速效磷含量	有机质含量
穗长	1.000												
穗粗	0.929 *	1.000											
穗行数	-0.068	0.268	1.000										
行粒数	0.652	0.445	-0.703	1.000									
百粒重	0.866	0.900 *	0.188	0.381	1.000								
单穗重	0.906 *	0.989 **	0.353	0.33	0.919 *	1.000							
产量	0.742	0.898 *	0.433	0.226	0.939 *	0.913 *	1.000						
pH 值	0.624	0.852	0.582	0.162	0.622	0.833	0.795	1.000					
全氮含量	0.609	0.756	0.475	0.029	0.916 *	0.810	0.948 *	0.605	1.000				
速效氮含量	0.265	0.345	-0.126	0.478	0.481	0.276	0.563	0.302	0.494	1.000			
速效钾含量	0.712	0.894 *	0.459	0.233	0.897 *	0.897 *	0.992 **	0.846	0.912 *	0.595	1.000		
速效磷含量	0.465	0.511	0.29	-0.063	0.813	0.596	0.740	0.226	0.906 *	0.347	0.661	1.000	
有机质含量	0.532	0.768	0.644	-0.048	0.827	0.808	0.957 *	0.774	0.952 *	0.509	0.957 *	0.747	1.000

注: \*\*、\* 分别表示在 0.01、0.05 水平上显著相关。

3 讨论

3.1 化肥减施配施有机肥对鲜食玉米生长和品质的影响

鲜食玉米过量施用化肥并不会提高产量、增加主要营养品质及养分的吸收,反而会降低肥料利用效率,产生一定的负效应<sup>[7-8]</sup>。适宜的有机肥替代化肥可以促进鲜食玉米生长发育、提高产量和品质,李明悦等研究表明,有机肥替代 30% 化肥处理较单施化肥提高鲜食玉米产量 10.0%、氮肥利用率 6.23 百分点<sup>[9]</sup>。王吉平等的研究表明,生物有机肥替代 20% 化肥较单施化肥可以提高鲜食玉米穗长和可溶性糖含量<sup>[10]</sup>。有机肥替代化肥并非比例越高越好,有机肥 100% 替代氮肥不会造成当年玉米减产,会导致第 2 年玉米减产;小麦、玉米两季分别配施有机肥 3 000 kg/hm<sup>2</sup> 的情况下,最大减氮潜力分别为 60%、40%<sup>[11-12]</sup>。不同有机肥对鲜食玉米生长的影响会有不同,生物有机肥处理与普通有机肥处理相比,在促进鲜食玉米和提升品质方面效果更加显著<sup>[13-14]</sup>。本试验中,施用有机肥较单施化肥可以提高鲜食玉米的产量,T4 处理的产量最高,较 T2 处理显著提高 43.2%,T4 与 T5、T3 处理差异不显著,T5 较 T2 处理增加 21.9%;施用有机肥可以促进鲜食玉米的生长,T3、T4、T5 处理的株高、穗位高、

单株鲜生物量、SPAD 值较 T1、T2 处理显著增加,T4、T5 的茎粗较 T1、T2 也显著增加;T4 处理的株高、茎粗、穗位高、单株鲜生物量最高,较 T2 处理分别增加 26.8%、19.8%、61.3%、72.9%;施用有机肥对鲜食玉米的穗部性状也有较大改善,T3、T4、T5 处理的单穗重、百粒重、穗粗较 T1、T2 显著增加;T4 处理的维生素 C、可溶性蛋白、淀粉含量最高,可溶性糖含量较有机肥替代 45% 化肥略低,T4 处理较单施化肥处理的主要养分含量均显著增加。

3.2 化肥减施配施有机肥对土壤理化性状的影响

有机肥富含腐殖酸、氮磷钾等养分,有提高土壤养分活力、改良土壤、增强土壤酸碱缓冲能力等优点<sup>[15-17]</sup>。化肥减量 50% 配施有机肥可提高土壤速效氮、速效钾养分含量为 53.2%、38.0%,改善土壤团粒结构,增加土壤微生物量碳<sup>[11]</sup>。本试验中,化肥减量配施有机肥可以有效改善土壤酸性,T4、T5 处理较单施化肥显著增加土壤的 pH 值,全量施化肥加重了土壤酸化。有机肥替代 30% 化肥氮可减少 82%~111% 的 H<sup>+</sup> 产量,单施化肥使土壤 pH 值下降 0.37~1.39,增施厩肥和秸秆还田处理土壤 pH 值分别提高 0.21 和 0.53<sup>[18-19]</sup>。增施有机肥较单施化肥处理可以提高土壤的全氮、有机质、速效钾含量,T4 处理的速效氮含量较其余处理均显著增加,T5 处理的速效氮含量与 T1、T2 处理差异不显

著,T3、T4 处理的速效磷含量相对不施肥处理和 T5 处理较高,T5 处理的速效钾含量较 T4 处理略低。由此可以看出,适当比例的有机肥替代化肥配施可以提高土壤速效养分含量,而较高比例的有机肥替代化肥虽然可以改良土壤酸化、增加土壤有机质含量,但不一定会增加土壤速效养分含量<sup>[20-21]</sup>。本试验中土壤有机质、全氮、速效钾含量与鲜食玉米产量存在显著相关性,有研究表明,不同土层的不同养分含量对玉米产量的贡献会有较大差异,因此有机肥施用需兼顾土壤养分平衡,进而保障玉米产量<sup>[22]</sup>。

#### 4 结论

有机肥部分替代化肥在一定程度上可以促进鲜食玉米生长、提升品质,有机肥替代 15% 和 45% 的化肥在提高鲜食玉米产量上与单施化肥差异不显著,有机肥替代 30% 化肥可以显著提高鲜食玉米产量。增施有机肥较单施化肥处理可以提高土壤的全氮、有机质、速效钾含量,有机肥替代 30% 化肥可以提高土壤速效养分含量,在改良土壤酸化、增加土壤有机质含量与有机肥替代 45% 的化肥差异不显著。综合考虑有机肥替代化肥对玉米产量、品质和土壤理化性质的影响,有机肥替代 30% 化肥的效果最佳,与前人研究结果<sup>[23-24]</sup>一致。

#### 参考文献:

- [1]徐 丽,赵久然,卢柏山,等. 我国鲜食玉米种业现状及发展趋势[J]. 中国种业,2020(10):14-18.
- [2]李 婧,张 慧,厉宝仙. 浙江鲜食玉米种植现状及发展对策[J]. 浙江农业科学,2021,62(9):1679-1681.
- [3]孔凡斌,郭巧苓,潘 丹. 中国粮食作物的过量施肥程度评价及时空分异[J]. 经济地理,2018,38(10):201-210,240.
- [4]Chen X P,Cui Z L,Fan M S,et al. Producing more grain with lower environmental costs[J]. Nature,2014,514(7523):486-489.
- [5]Guo J H,Liu X J,Zhang Y,et al. Significant acidification in major Chinese croplands[J]. Science,2010,327(5968):1008-1010.
- [6]叶英聪,孙 波,刘绍贵,等. 中国水稻土酸化时空变化特征及其对氮素盈余的响应[J]. 农业机械学报,2021,52(2):246-256.
- [7]张 旭. 氮钾对鲜食玉米生长发育及其产量效应的影响研究[D]. 武汉:华中农业大学,2021:88-89.
- [8]姜春霞,刘化涛,张 伟,等. 减量施氮对鲜食玉米产量、氮素利用及土壤硝态氮含量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2022(12):61-67.
- [9]李明悦,金修宽,高 伟,等. 有机肥替代部分氮肥对鲜食玉米产量、干物质和氮吸收的影响[J]. 天津农业科学,2020,26(9):56-60.
- [10]王吉平,何铁光,张 雨,等. 有机肥替代部分化肥对‘桂甜糯 525’产量品质和土壤环境的影响[J]. 热带作物学报,2021,42(9):2594-2600.
- [11]于跃跃,郭 宁,闫 实,等. 有机肥替代化肥对土壤肥力和玉米产量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2021(3):148-154.
- [12]叶盛嘉,郑晨萌,张 影,等. 氮肥减量配施有机肥对豫中地区冬小麦—夏玉米轮作生产力和土壤性质的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文),2022,30(6):900-912.
- [13]方 成,代子雯,李伟明,等. 化肥减施配施不同有机肥对甜糯玉米产量和品质的影响[J]. 生态学杂志,2021,40(5):1347-1355.
- [14]王东升,黄忠阳,吴旭东,等. 不同施肥对鲜食玉米生长及肥料农学利用率的影响[J]. 土壤,2021,53(2):299-304.
- [15]方 成,岳明灿,王东升,等. 化肥减施配施微生物菌剂对鲜食玉米生长和土壤肥力的影响[J]. 土壤,2020,52(4):743-749.
- [16]肖 让,张永玲,赵芸晨,等. 化肥减量配施有机肥对日光温室土壤质量及茄子产量、品质的影响[J]. 华北农学报,2023,38(2):188-198.
- [17]郭书亚,尚 赏,王 坤,等. 施用生物炭 5 年后对夏玉米田土壤理化性质及产量的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(15):74-78.
- [18]朱齐超. 区域尺度中国土壤酸化定量研究及模型分析[D]. 北京:中国农业大学,2017:3-5.
- [19]姜 勇,张勇勇,李天鹏,等. 玉米秸秆还田和有机配施提高黑土酸中和容量[J]. 地理学报,2022,77(7):1701-1712.
- [20]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.
- [21]胡君霞. 有机肥与化肥不同比例配施对鲜食玉米产量和品质的影响[D]. 秦皇岛:河北科技师范学院,2022:43-44.
- [22]陈 旭,韩晓增,王晓辉,等. 有机物料配合深耕混合还田快速提升砂质棕壤农业生产力的效果和机理[J]. 植物营养与肥料学报,2023,29(2):232-241.
- [23]李晓立,何堂庆,张晨曦,等. 等氮量条件下有机肥替代化肥对玉米农田温室气体排放的影响[J]. 中国农业科学,2022,55(5):948-961.
- [24]熊 波,王 琛,张 莉,等. 有机肥替代化肥对京郊夏播青贮玉米生长与饲料品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2021(3):141-147.