

陈 昆,王红军,姜晓君,等.羊粪与化肥减量配施对西瓜形态建成、生理特性及土壤微环境的影响[J].江苏农业科学,2024,52(14):149-155.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2024.14.021

羊粪与化肥减量配施对西瓜形态建成、生理特性 及土壤微环境的影响

陈 昆¹,王红军²,姜晓君¹,刘 浩³,张 新³,姜 涛¹

(1.商丘市农林科学院,河南商丘 476000; 2.商丘职业技术学院,河南商丘 476000;

3.永城市农业农村局,河南永城 476600)

摘要:为探究适宜西瓜种植的有机肥与化肥减量配施的合理施肥模式,以西瓜杂交组合“M17×F26”为试材,采用 2 因素随机区组设计,研究羊粪与化肥减量配施对西瓜形态建成、营养品质、果实性状、产量及土壤微环境的影响。结果表明,羊粪与化肥合理减量配施能够使伸蔓期、开花期西瓜茎粗、蔓长、叶片数达到或超过常规化肥单施 S0C1 处理,且以 S1C2 处理表现相对较好,而 S1C3 处理使西瓜表现出一定的旺长倾向。羊粪与化肥合理减量配施能够提高西瓜营养品质,且以 S1C2 处理最佳,其中,心糖含量、边糖含量、糖酸比、维生素 C 含量较 S0C1 处理分别增加 5.04%、10.81%、18.41%、21.22%,中边差、有机酸含量、硝酸盐含量较 S0C1 分别降低 12.59%、10.00%、22.27%,与 S0C1 差异显著($P<0.05$)。羊粪与化肥合理减量配施能够使西瓜果实性状、产量达到或超过常规化肥单施 S0C1 处理,且以 S1C2 处理效果最好,其单瓜重、产量较 S0C1 分别提高 7.80%、10.58%,与 S0C1 处理差异显著($P<0.05$)。与化肥单施相比,羊粪与化肥配施能够显著提高西瓜根际土壤细菌、放线菌、真菌、好气性纤维素细菌数量,提高细菌在微生物群落中的占比,降低真菌在微生物群落的占比,使微生物群落结构向更加健康稳定且易保持平衡的细菌型转变,其中, S1C1 处理下的细菌、放线菌、真菌、好气性纤维素细菌数量较 S0C1 分别提高 69.86%、60.04%、35.69%、64.00%,与 S0C1 差异显著($P<0.05$)。表明根际土壤微生物数量的增加对西瓜茎粗、蔓长的增加有显著或极显著的正向促进作用。羊粪×化肥配施的交互作用对西瓜植株的形态建成、营养品质的提高、果实性状的改良、产量的增加及土壤微环境的改善有积极影响。综合而言,S1C2 处理下的羊粪与化肥减量配施方式是适宜西瓜种植的施肥模式,它能够促进西瓜的形态建成、提升西瓜营养品质、改良果实性状、增加单瓜重和产量,改善根际土壤微环境,在生产中可以替代常规的化肥单施模式,实现化肥减施和西瓜提质增效。

关键词:西瓜;羊粪;化肥;减量配施;形态建成;生理特性;微生物

中图分类号:S651.06 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2024)14-0149-07

化肥是向农田生态系统投入营养元素的重要手段,对作物生长、产量提高、品质改善有重要的促进作用,但长期单施化肥尤其是过量施用化肥不仅不能有效提高作物产量和品质,如瓜果不甜、易于腐烂等,还会导致肥料利用率降低、土壤酸化、土壤团粒结构受到破坏、根际土壤微生物活性降低、病

虫害发生率提高等,同时带来一定的农业面源污染,不利于农业的可持续健康发展^[1-2]。有机肥具有营养全面均衡、肥效持久等优点,能够提高土壤肥力,改良土壤理化性质,丰富土壤有益微生物种类,提高根际土壤酶活性,降低次生盐渍化程度,减轻土传病害的感染概率,从而提高作物产量和品质^[3]。因此,生产中如果利用有机肥对化肥进行部分替代,能够实现作物优质高产、化肥减施的同时又有利于土壤生态环境的保护和土壤肥力的可持续,将对绿色兴农、乡村振兴有重要的现实意义。

西瓜是需肥量较高的作物,生产中为使西瓜获得高产往往盲目大量施用化肥,如一个生长周期施用 2 625~3 000 kg/hm² 的氮磷钾复合肥,或者长期单施化肥,导致瓜果品质变差、土壤板结等一系列问题的产生,同时浪费大量的化肥资源。羊粪属于

收稿日期:2024-02-07

基金项目:河南省“四优四化”科技支撑行动计划项目(编号:SYSH20200503004);中原学者工作站资助项目(编号:214400510023);2022 年度河南省重点研发专项(编号:221111110100)。

作者简介:陈 昆(1985—),男,河南商丘人,硕士,助理研究员,主要从事西瓜育种与生理生态栽培研究。E-mail:415417442@qq.com。

通信作者:刘 浩,高级农艺师,主要从事土壤肥料及农业技术推广工作。E-mail:1528306604@qq.com。

动物源有机肥,含有丰富的有机质、无机质、营养元素和激素,对改良土壤性状,修复土壤生态,促进作物优质高产有重要作用^[4]。因此,在生产中如果采用羊粪代替一部分化肥可实现西瓜优质高产,那么既可以降低化肥面源污染、节约生产成本,又能够改良土壤质量,使西瓜产业得到可持续发展。然而,当前有关羊粪与化肥减量配施在西瓜生理生态方面的研究报道较少。为此,本试验以西瓜杂交组合 M17 × F26 为试材,采用随机区组设计,研究羊粪与化肥减量配施对西瓜形态建成、营养品质、果实性状、产量及土壤微环境的影响,以探究羊粪与化肥减量配施的适宜西瓜种植的合理施肥模式,以期西瓜减肥提质增效提供技术支持,为西瓜产业的可持续健康发展提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验地概况与供试材料

试验于 2023 年 3 月 10 日至 6 月 30 日在商丘市农林科学院试验站进行,试验地块为露地,前茬作物为玉米,2022 年玉米收获后深翻 20 ~ 25 cm,休耕至 2023 年 2 月。0 ~ 25 cm 土壤养分含量状况:速效氮 67.29 mg/kg、速效磷 21.15 mg/kg、速效钾 93.65 mg/kg、有机质 11.08 g/kg, pH 值为 6.5 ~ 6.8。

供试西瓜材料为商丘市农林科学院蔬菜研究所提供的杂交组合材料“M17 × F26”,供试氮磷钾三元复合肥(N、P₂O₅、K₂O 的含量均为 15%),由山东金正大生态工程股份有限公司生产;供试羊粪从本地养殖场获取,后进行充分发酵腐熟。

1.2 试验设计

试验采用 2 因素随机区组设计,以羊粪为因素 1,设羊粪 0(S₀)、羊粪 1(S₁)2 个水平,其中,S₀ 的羊粪用量为 0 kg/hm²,S₁ 的羊粪用量为 15 000 kg/hm²。以化肥用量为因素 2,设氮磷钾复合肥用量为 1 575 kg/hm²(C₁)、1 050 kg/hm²(C₂)、525 kg/hm²(C₃)3 个水平。试验共设置 6 个处理,分别为 S₀C₁、S₀C₂、S₀C₃、S₁C₁、S₁C₂、S₁C₃,每个处理 3 次重复,共计 18 个小区,每个小区按试验设计一次性施肥。其中,S₀C₁ 为当前种植户单施化肥,进行西瓜栽培时所施用常规相对节肥的施肥量。小区面积 28.2 m²(4.7 m × 6 m),西瓜株行距 0.47 m × 2 m,约合 10 500 株/hm²。当西瓜幼苗 3 叶 1 心时,选择长势基本一致的瓜苗进行移栽,采用定植器一

次性移栽完毕,后期管理同大田。

1.3 测定指标及方法

蔓长为子叶位置至主蔓生长点的长度,采用直尺测量。茎粗为子叶下方 0.5 cm 位置茎粗,采用游标卡尺测量。中心糖、边糖含量采用浙江托普仪器有限公司生产的 TD-45 手持测糖仪测定,中边差为中心糖含量与边糖含量的差值。有机酸采用 NaOH 滴定法^[5]测定,糖酸比为中心糖含量与有机酸含量的比值。维生素 C 含量、硝酸盐含量分别采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法、硫酸-水杨酸法^[6]测定。皮厚采用游标卡尺测量,单瓜重采用电子天平称量,根据小区产量折算单位产量。果肉硬度采用探头为 TA39 的质构分析仪 CT3(美国博勒菲公司)测定。微生物总量为细菌、真菌、放线菌的总和,采用平板稀释计数法^[7]测定细菌、真菌、放线菌、好气性纤维素真菌等微生物数量。

1.4 数据处理与分析

采用 Excel 2016 软件进行数据处理和作图,使用 SPSS 23.0 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 羊粪与化肥减量配施对西瓜形态建成的影响

由表 1 可知,不同羊粪、化肥用量对西瓜形态建成指标的影响存在差异。在伸蔓期和开花期,单施化肥的条件下,随着化肥用量的减少,西瓜茎粗、蔓长、叶片数均呈现逐渐降低的趋势,且以常规化肥单施的 S₀C₁ 处理值最大;在配施羊粪的条件下,不同化肥用量处理下的形态指标均对应高于单施化肥处理,说明在化肥的基础上配施羊粪可促进西瓜植株的形态建成。在伸蔓期,西瓜茎粗、蔓长、叶片数以 S₁C₁ 处理下值最大,S₁C₂ 处理次之,二者在蔓长和叶片数指标上差异不显著。S₁C₂ 处理下,西瓜茎粗显著高于 S₀C₁ 处理($P < 0.05$),蔓长、叶片数与 S₀C₁ 差异不显著,表明在化肥合理减施的基础上配施羊粪可达到或超过化肥单施对西瓜植株形态建成的促进作用。另外,在伸蔓期,S₁C₁ 处理与 S₁C₂ 处理叶片数差异不显著,但蔓长却比 S₁C₂ 增加 30.81 cm,说明 S₁C₁ 处理下的化肥用量偏高,使西瓜植株表现出一定的旺长倾向。方差分析表明,羊粪 × 化肥配施的交互作用对伸蔓期、开花期西瓜茎粗有极显著影响($P < 0.01$)、蔓长有显著影响($P < 0.05$),对开花期叶片数有显著影响($P < 0.05$)。

表 1 羊粪与化肥减量配施对西瓜形态建成的影响

处理	伸蔓期			开花期		
	茎粗 (cm)	蔓长 (cm)	叶片数 (张)	茎粗 (cm)	蔓长 (cm)	叶片数 (张)
S0C1	0.58c	88.68b	12.36a	1.14b	169.54b	22.72b
S0C2	0.52d	73.55c	11.68b	0.95c	151.97c	20.57c
S0C3	0.47e	55.34e	10.35c	0.71d	123.19e	18.64d
S1C1	0.69a	102.21a	12.87a	1.28a	208.40a	24.17a
S1C2	0.64b	98.22a	12.45a	1.25a	177.59b	23.59ab
S1C3	0.51d	66.82d	11.23b	1.01c	141.73d	19.44d
S	12.43	16.32	44.59 *	21.39 *	21.60 *	7.08
C	10.74	24.98 *	100.08 *	15.02	30.23 *	15.54
S×C	19.74 **	6.63 *	0.41	10.03 **	6.10 *	6.68 *

注:同列数据后不同小写字母代表处理间差异显著 ($P < 0.05$);最后 3 行为 F 值, *、** 分别代表影响显著 ($P < 0.05$) 和极显著 ($P < 0.01$)。表 2、表 3 同。

2.2 羊粪与化肥减量配施对西瓜营养品质的影响

由表 2 可知,不同羊粪、化肥用量对西瓜营养品质指标的影响不同。在单施化肥条件下,随着化肥用量的降低,西瓜中心糖含量、边糖含量、糖酸比、维生素 C 含量呈现逐渐降低的变化趋势,且在 S0C1

处理下值最大,较 S0C3 分别增加 13.56%、24.56%、40.21%、24.94%,与 S0C3 差异显著 ($P < 0.05$);中边差、有机酸含量呈现逐渐升高的变化规律,且以 S0C3 处理下值最大,表明肥料的缺乏会降低西瓜营养品质。在施用相同羊粪的条件下,S1C1 处理的化肥用量高于 S1C2 处理,但中心糖含量、边糖含量、糖酸比、维生素 C 含量均低于 S1C2,中边差、有机酸含量、硝酸盐含量均高于 S1C2,说明肥料用量过高使具有旺长趋势的 S1C1 品质降低。S1C2 处理中心糖含量、边糖含量、糖酸比、维生素 C 含量均显著高于 S0C1 ($P < 0.05$),较 S0C1 分别增加 5.04%、10.81%、18.41%、21.22%;中边差、有机酸含量、硝酸盐含量均低于 S0C1,较 S0C1 分别降低 12.59%、10.00%、22.27%,与 S0C1 差异显著 ($P < 0.05$),说明 S1C1 处理的西瓜品质高于单施常规化肥用量的 S0C1,可用羊粪与化肥减量配施替代常规用量的化肥单施。方差分析表明,羊粪×化肥配施的交互作用对西瓜中心糖含量、边糖含量、糖酸比、维生素 C 含量影响极显著 ($P < 0.01$),对有机酸含量影响显著 ($P < 0.05$),二者合理配施有利于西瓜营养品质的提升。

表 2 羊粪与化肥减量配施对西瓜营养品质的影响

处理	中心糖含量 (%)	边糖含量 (%)	中边差 (百分点)	有机酸含量 (%)	糖酸比	维生素 C 含量 (mg/kg)	硝酸盐含量 (mg/g)
S0C1	10.72b	7.86b	2.86ab	0.20b	53.66b	10.32c	468.50a
S0C2	10.26bc	7.25c	2.91a	0.21b	48.42c	9.57d	431.57b
S0C3	9.44d	6.31e	3.13a	0.25a	38.27d	8.26e	403.72c
S1C1	10.32bc	7.82b	2.64bc	0.19b	54.14b	11.64b	418.93bc
S1C2	11.26a	8.71a	2.50c	0.18c	63.54a	12.51a	364.18d
S1C3	9.89cd	6.84d	3.05a	0.21b	47.11c	9.43d	330.79e
S	0.73	2.21	6.19	7.25	3.68	8.20 *	80.72 *
C	2.65	4.17	6.45	5.52	3.79	6.49	39.78 *
S×C	11.06 **	18.55 **	2.19	5.14 *	16.06 **	10.11 **	1.31

2.3 羊粪与化肥减量配施对西瓜果实性状及产量的影响

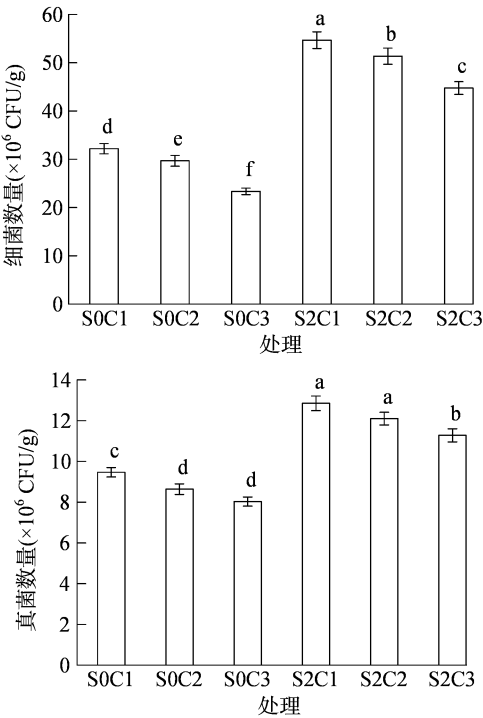
由表 3 可知,除 S1C1 外,在化肥单施或配施羊粪的条件下,随着化肥用量减少,西瓜坐果率表现出升高趋势,其中,S0C3 较 S0C1 增加 4.93%,与 S0C1 差异显著 ($P < 0.05$),说明相较于肥料用量多的处理,低肥用量更有利于西瓜坐果,从而提高坐果率。S1C1 坐果率显著低于其他处理组,表明植株旺长不利于坐果。在化肥单施的条件下,皮厚、果

肉硬度随化肥用量减少而增加,在 S0C3 处理下值最大,较 S0C1 分别增加 14.15%、31.30%,与 S0C1 差异显著 ($P < 0.05$),表明肥料缺乏能够增加皮厚和果肉硬度,降低西瓜商品特性。S1C2 处理下,皮厚、果肉硬度值最低,其中,皮厚与 S0C1 差异不显著,果肉硬度显著低于 S1C1 ($P < 0.05$),表明羊粪与化肥减量配施能够使西瓜皮厚、果肉硬度保持相对较好的商品特性。S1C1 处理下,西瓜单瓜重、产量最大,较 S0C1 处理分别增加 7.80%、10.58%,与

S0C1 差异显著($P<0.05$),表明羊粪与化肥合理减量配施可替代常规化肥单施。方差分析表明,羊粪和化肥配施对西瓜坐果率、果肉硬度影响显著($P<0.05$),对皮厚、单瓜重、产量影响极显著,二者配施有利于改善西瓜果实性状并提高其产量。

表 3 羊粪与化肥减量配施对西瓜果实性状及产量的影响

处理	坐果率 (%)	皮厚 (cm)	果肉硬度 (kg/cm ²)	单瓜重 (kg)	产量 (kg/hm ²)
S0C1	91.15b	1.06bc	1.31d	5.64b	53 972.95b
S0C2	93.38ab	1.11b	1.23de	4.78c	46 852.29c
S0C3	95.64a	1.21a	1.72a	2.75d	27 596.77d
S1C1	82.69c	1.23a	1.56b	5.32b	46 202.68c
S1C2	93.52ab	1.02c	1.19e	6.08a	59 680.60a
S1C3	94.31a	1.08bc	1.41c	4.53c	44 843.43c
S	1.47	0.68	0.040	12.10 *	9.32 *
C	3.46	6.97 *	1.63	13.63 *	18.44 *
S×C	18.11 *	21.67 **	15.25 *	52.66 **	136.20 **



柱上不同小写字母表示处理间差异显著($P<0.05$)

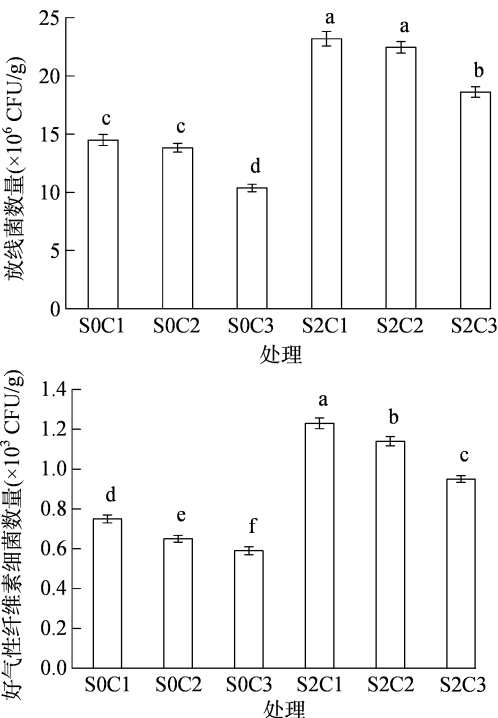
图1 羊粪与化肥减量配施对西瓜根际土壤微生物的影响

2.5 羊粪与化肥减量配施条件下西瓜形态建成与根际土壤微生物数量的相关性分析

由表 4 可知,羊粪与化肥减量配施条件下的西瓜茎粗与土壤细菌、真菌、好气性纤维素细菌呈显著正相关($P<0.05$),与放线菌呈极显著正相关($P<0.01$);蔓长与细菌、放线菌、真菌、好气性纤维

2.4 羊粪与化肥减量配施对西瓜根际土壤微生物的影响

由图 1 可知,配施羊粪的 S1C1、S1C2、S1C3 处理下的西瓜根际土壤细菌、放线菌、真菌、好气性纤维素细菌数量均显著高于化肥单施的 S0C1、S0C2、S0C3 处理,且 S1C1 值最大,较常规化肥单施 S0C1 处理 分别 提 高 69. 86%、60. 04%、35. 69%、64. 00%,与 S0C1 差异显著($P<0.05$),说明羊粪与化肥配施能够显著增加土壤微生物数量。在化肥单施或配施羊粪的条件下,不同化肥用量处理间虽有差异不显著的情况,但随化肥用量的减少微生物数量总体上呈现出降低趋势,说明化肥用量也对微生物繁殖产生一定程度的影响。在化肥用量一致的条件 下,配施羊粪的处理其根际土壤细菌数量在微生物总量中的占比对应高于未施羊粪的处理,真菌数量在微生物总量中的占比对应低于未施羊粪的处理。



素细菌呈显著正相关($P<0.05$),表明根际土壤微生物的增殖有利于西瓜茎粗和蔓长的增加。叶片数与根际土壤细菌、放线菌、真菌、好气性纤维素细菌具有一定的正相关关系,但二者相关性不显著。可见,提高根际土壤微生物活力,促进微生物的增殖能够刺激西瓜生物量的增加,有利于西瓜植株的形态建成。

表 4 羊粪与化肥减量配施条件下西瓜形态建成与根际土壤微生物数量的相关性分析

指标	相关系数						
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
x_1	1.00						
x_2	0.93 **	1.00					
x_3	0.91 **	0.98 **	1.00				
x_4	0.84 *	0.76 *	0.67	1.00			
x_5	0.89 **	0.80 *	0.71	0.91 **	1.00		
x_6	0.85 *	0.79 *	0.70	0.93 **	0.87 *	1.00	
x_7	0.82 *	0.79 *	0.71	0.86 *	0.94 **	0.89 **	1.00

注: x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 、 x_5 、 x_6 、 x_7 分别代表茎粗、蔓长、叶片数、细菌数量、放线菌数量、真菌数量、好气性纤维素细菌数量等指标; * 表示显著相关, ** 表示极显著相关。

3 讨论与结论

化肥虽能够促进植株生长,但长期、过量施用会破坏土壤团粒子结构、降低有机质含量,造成土壤结构稳定性变差和土壤板结,同时加剧土壤盐渍化、酸化程度,最终影响作物生长发育^[8-9]。有机肥与无机化肥配施,不仅能够提高土壤矿质养分、改良土壤状况、提高土壤生产力、促进作物生长发育,还可以减少化肥施用量,从而减轻化肥对土壤环境的污染^[10]。魏建龙等研究得出,采用 15% 有机肥等氮量替代化肥处理的番茄株高、茎粗、叶片数均高于单纯施用化肥的处理^[11]。徐兆廷等的研究表明,采用 2 500 kg/hm² 的有机肥替代 20% 的常规化肥用量,玉米成熟期株高、茎粗、叶面积较常规化肥用量可显著增加 4.38%、10.86%、10.85%^[12]。本研究表明,羊粪与化肥减量配施处理下的西瓜茎粗、蔓长在伸蔓期和开花期均对应高于化肥用量一致的处理,且以 S1C1、S1C2 处理茎粗、蔓长显著高于常规化肥用量的 SOC1 处理,且羊粪×化肥的交互作用对西瓜伸蔓期和开花期的茎粗、蔓长,开花期的叶片数均有显著影响,这应该是因为羊粪为有机肥,含有较高的有机质、氮磷钾大量元素和中微量元素,能够增加土壤活性有机碳含量^[13],促进根际土壤微生物繁殖生长,不仅能够提高土壤理化性质、改善土壤结构,还可以为植物生长提供更多的养分^[14]。另外,有机肥中有机养分的矿化分解也需要一个时间过程,保证了养分供应的持久性,而无机化肥保证了植株养分供应的速度性^[15],有机肥部分替代无机化肥为西瓜生长提供了长期、高效的养分供给。另外,S1C1 蔓长虽然最长,但已表现出

一定的旺长倾向,这可能与施肥量过剩有关。S1C2 处理在茎粗、蔓长、叶片数各指标上均超过单施化肥的 SOC1 处理,说明羊粪与化肥合理减量配施可替代单施化肥的施肥方式。

营养品质是西瓜优质栽培的首要追求目标,中心糖、边糖、中边差、有机酸、糖酸比、维生素 C、硝酸盐是评价西瓜果实品质优劣的重要参考指标。合理施肥是作物优质丰产的关键举措之一,而有机肥与化肥合理配施,较有机肥或化肥单施更有利于作物品质的改善与产量的提高^[16]。喻莹等研究得出,采用一定量的有机肥替代部分无机化肥能够显著提高椪柑可溶性固形物和维生素 C 含量,从而提高椪柑品质^[17]。赵佐平等指出,有机肥和无机肥配施较二者单施,能显著提高苹果维生素 C 和可溶性固形物含量,并降低可滴定酸含量^[18]。本研究结果表明,与化肥常规施用量相比,羊粪与化肥合理减量配施可有效提高西瓜中心糖含量、边糖含量、糖酸比、维生素 C 含量,并降低中边差、有机酸含量和硝酸盐含量,进而提高西瓜品质,这可能是因为一方面化肥能够为植株生长提供速效养分,另一方面羊粪营养全面均衡且肥效持久,含有作物生长所必需的氮、磷、钾大量元素,钙、镁等中量元素以及铁、镁、锌等微量元素,还含有丰富的腐殖酸等有机质、糖类物质、多种酶类和有益微生物^[19],同时,羊粪中的有机物还可活化土壤中惰性的磷素与钾素,为西瓜全生育期提供持久养分。方差显著性差异分析认为,羊粪和化肥配施能够显著提高西瓜品质,这表明养分与化肥合理减量配施对促进西瓜品质提高具有积极影响。在不施羊粪的条件下,随着化肥用量的减少,西瓜中心糖含量、边糖含量、糖酸比、维生素 C 含量逐渐降低,西瓜营养品质随之变差,这是因为化肥用量减少导致供应西瓜生长的氮磷钾等矿质营养元素缺乏,根系对矿质元素吸收减少,植株生长受到抑制^[20],光合能力降低,由源向库转运的光合产物减少,进而影响瓜果品质。另外,化肥具有肥效短、易流失的缺点,这也在一定程度上减少了化肥对西瓜的养分供给。SOC3 在生育后期表现出早衰现象,也在一定程度上反映矿质元素供应的缺乏。S1C1 处理施肥量高于 S1C2 处理,但中心糖含量、边糖含量、糖酸比、维生素 C 含量均低于 S1C2,这应该是因为 S1C1 处理在化肥常规用量的基础上增施有机肥,有机肥与化肥配施显著提高土壤速效氮、速效磷、速效钾含量^[21],导致土壤养分

供给过剩,引起植株贪青徒长,枝叶旺长,营养生长与生殖生长的动态平衡被打破,碳水化合物向花器官分配的比例降低^[22],瓜果品质变差,这与贺会强等在番茄上的研究结论^[23]一致。

坐果率关系到西瓜的生产质量和效率,是衡量西瓜产量和经济效益的重要参考指标之一,它受水肥状况、气候条件、花粉质量、土壤性状等多种因素的影响。本研究结果表明,在肥料亏缺的条件下(S0C3),西瓜坐果率显著高于常规化肥施用量的处理,这应该是因为肥料亏缺下的植株生长势不强,相邻叶片之间不进行相互遮挡,光照较为充足,利于花芽分化,从而提高坐果率^[24]。指导生产者在西瓜种植前期可适当减少基肥用量以提高坐果率,在坐果后再通过冲施高钾水溶肥、黄腐酸等肥料,进行后期追肥以提高单瓜重,从而提高西瓜总产量。另外,S1C2 处理下的坐果率与 S0C1 处理差异不显著,表明与常规施肥相比,羊粪与化肥合理减量配施不会对西瓜坐果率造成不利影响。果皮厚度关系到果实的耐储运程度和果肉含量的高低,果肉硬度的大小直接影响消费者的口感,二者均是表征西瓜商品特性的重要参考指标。本研究结果表明,S1C2 处理下的果皮厚度与常规化肥用量的 S0C1 差异不显著,果肉硬度低于 S0C1,表明与 S0C1 处理相比,S1C2 处理能够使西瓜保持相同或更高商品特性。施肥是作物获得高产的重要举措,有机无机肥料配施不仅能够促进作物生长健壮,还可以有效增加作物产量,从而提高西瓜种植的经济收益^[25]。郭广正等研究得出,在单株化肥减量 10% 的基础上增施 5 kg 羊粪,可有效提高芒果产量^[26]。黄艳岚等研究指出,25% 有机肥与 75% 复合肥配施较复合肥单施更能提高马铃薯产量和薯块氮素积累量^[27]。本研究结果表明,S1C2 处理下的西瓜单瓜重和产量均高于常规化肥用量的 S0C1 处理,试验结果与前人研究结论一致,而 S1C1 与 S1C2 处理相比添加的化肥用量更多,但单瓜重和产量却低于 S1C2 和 S0C1 处理,单瓜重和产量并未随肥料的增加而增加,这说明植物对养分的需求也存在一定阈值,在适宜的养分范围内养分的增加对产量的提升有正向促进作用,而过高的养分供给甚至能够抑制产量的提高,这可能是因为适宜的养分供给能够促进营养生长与生殖生长的动态平衡,增加光合产物,提高作物产量,避免营养生长过旺导致光合产物过多向茎叶积累而引起生殖生长受阻现象的发生^[28]。

方差分析表明,羊粪和化肥配施对西瓜坐果率、单瓜重、产量有显著以上的影响,表明在生产中做好有机肥与化肥的配施对促进作物增产有重要意义。

在生态系统中,生物体进行生命活动依赖其所摄取的能量物质。土壤中的微生物主要属于有机营养型,它们在进行生命活动时所需的能量物质主要通过分解有机质的过程中获取,因此土壤微生物的生命强度和增殖量受到土壤有机质供应水平的影响。吴宪等研究得出,有机肥与化肥配施可以显著提高土壤细菌、真菌群落的丰富度和多样性^[29]。周晓琳等研究认为,有机肥部分替代化肥能够显著提高麦田土壤细菌、放线菌数量^[30]。程尉恒等研究指出,增施羊粪能够有效提高烟株根际土壤细菌、真菌、放线菌等微生物数量^[31]。本研究结果表明,配施羊粪的 S1C1、S1C2、S1C3 处理下的西瓜根际土壤细菌、放线菌、真菌、好气性纤维素细菌数量均显著高于单施化肥的 S0C1、S0C2、S0C3 处理,与前人研究一致,这应该是因为羊粪中含有丰富的有机质,能够为微生物的生命活动提供充足的有机能源,从而刺激土壤微生物的增殖效应。同时,羊粪中还含有微生物进行生命活动所需的多种矿质养分和生理活性物质,加之羊粪本身又含有大量的微生物,而在发酵腐熟过程中有益微生物的含量进一步增加,这均在不同程度上提高羊粪化肥配施处理下的西瓜根际土壤微生物含量。另外,还应该与有机肥、化肥配施对土壤微生物有促生作用有关,这是因为有机肥提供的碳源和无机肥提供的氮源可进行耦合,从而促进微生物的繁殖^[32]。土壤微生物是土壤微环境的重要构成因素,是驱动养分循环、改善土壤质量、促进作物生长的重要影响因素^[33],羊粪与化肥减量配施提高了西瓜根际土壤微生物数量,这为西瓜植株的生长发育提供了更加适宜的土壤环境。本研究结果还表明,在羊粪施用量一致的情况下,西瓜根际土壤微生物数量总体上随化肥用量的减少而减少,这可能是由于土壤-植物-根际微生物三者是一个既相互促进又相互制约的功能多样的复杂有机整体,即植物的生长状况会影响土壤微生物的群落结构和丰度,微生物的生命活动会影响土壤质量,土壤质量状况会影响植株长势。化肥的施用增加了土壤氮磷钾养分,使土壤肥力得到提高,促进植株生长,根系向土壤中释放的分泌物增加,分泌物中含有糖、氨基酸、酶、酚、脂肪粒物质等多种有机物和无机物,使微生物生态系

统保持一定的活力,同时分泌物中的化感物质通过趋化感应招揽更多的微生物向根际土壤定殖,进一步增加根际土壤微生物数量^[34]。在化肥用量一致的情况下,配施羊粪的处理其根际土壤细菌数量在微生物总量中的占比对应高于未施羊粪的处理,真菌数量在微生物总量中的占比对应低于未施羊粪的处理,表明配施羊粪能够使根际土壤微生物群落皆由易发生病害的真菌型向健康且易保持平衡的细菌型转变,有利于西瓜植株的生长健壮^[35]。另外,西瓜形态建成与根际土壤微生物含量的相关性分析也表明,微生物数量的增加对西瓜植株生长有积极影响,因此在生产中要注重采取有机无机配施等能够提高土壤微生物活力的技术措施,以期促进西瓜生物量的积累。

参考文献:

- [1] 黄绍文,唐继伟,李春花,等. 我国蔬菜化肥减施潜力与科学施用对策[J]. 植物营养与肥科学报,2017,23(6):1480-1493.
- [2] 高小朋,贺晓龙,任桂梅,等. 化肥不合理施用带来的危害探析[J]. 农技服务,2011,28(9):1289-1290,1366.
- [3] Bevacqua R F, Mellano V J. Cumulative effects of sludge compost on crop yields and soil properties[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1994, 25(3/4):395-406.
- [4] 张家才,胡荣桂,雷明刚,等. 畜禽粪便无害化处理技术研究进展[J]. 家畜生态学报,2017,38(1):85-90.
- [5] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京:中国农业出版社,2000.
- [6] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 2版. 北京:高等教育出版社,2006:120-172.
- [7] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京:高等教育出版社,2010:161-183.
- [8] 李水祥. 有机肥替代部分化肥对蜜柚树体营养及果实品质的影响[D]. 福州:福建农林大学,2019:1-49.
- [9] 戚嘉琦,吴欣欣,胡珍珠,等. 日光高温闷棚对草莓连作土壤真菌群落的影响[J]. 北方园艺,2021(15):89-96.
- [10] 宋雅欣,赵同科,安志装,等. 有机无机肥料配施对设施番茄产量及土壤养分含量的影响[J]. 华北农学报,2021,36(增刊1):306-311.
- [11] 魏建龙. 有机肥与无机肥配施对日光温室番茄生长特性及产量的影响[J]. 现代农业科技,2023(9):61-63,67.
- [12] 徐兆廷,芦倩,吴彦霖,等. 不同有机肥部分替代化肥对河西绿洲制种玉米生长动态和籽粒产量的影响[J]. 农业工程,2021,11(8):129-134.
- [13] 杨苏,李传哲,王静,等. 有机物料投入对作物产量及潮土固碳的影响[J]. 江苏农业学报,2020,36(3):569-576.
- [14] 马宜林,吴广海,申洪涛,等. 羊粪有机肥与化肥配施对烤烟生长及土壤肥力特性的影响[J]. 核农学报,2021,35(10):2423-2430.

- [15] 林治安,赵秉强,袁亮,等. 长期定位施肥对土壤养分与作物产量的影响[J]. 中国农业科学,2009,42(8):2809-2819.
- [16] 刘维,司若彤,范家慧,等. 不同施肥模式对芒果产量、品质的影响[J]. 热带作物学报,2021,42(3):761-768.
- [17] 喻莹,万连杰,何瑞杰,等. 有机肥等养分替代化肥对椪柑产量品质影响的初步研究[J]. 江西农业大学学报,2023,45(5):1157-1165.
- [18] 赵佐平,高义民,刘芬,等. 化肥有机肥配施对苹果叶片养分、品质及产量的影响[J]. 园艺学报,2013,40(11):2229-2236.
- [19] 刘杏认,任建强,甄兰. 蔬菜硝酸盐累积及其影响因素的研究[J]. 土壤通报,2003,34(4):356-361.
- [20] 李俊. 亚低温及钾肥对温室番茄生理生态特性与营养吸收的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2013:1-41.
- [21] 黄惠清. 有机肥与化肥配施对锦绣黄桃生长、果实品质及产量的影响[J]. 福建农业科技,2023,54(8):45-49.
- [22] 潘瑞炽. 植物生理学[M]. 6版. 北京:高等教育出版社,2008:251-253.
- [23] 贺会强,陈凯利,邹志荣,等. 不同施肥水平对日光温室番茄产量和品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(7):135-140.
- [24] 张治安. 植物生理学学习题集[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2004:86-89.
- [25] 刘娇妹,李腾腾,张运龙,等. 短期化肥减施后玉米产量的响应及其驱动因素分析[J]. 中国土壤与肥料,2022(4):66-73.
- [26] 郭广正,康专苗,罗辉,等. 化肥减量配施羊粪对杧果产量、品质及土壤肥力的影响[J]. 经济林研究,2023,41(3):176-186.
- [27] 黄艳岚,张超凡,张道微,等. 有机肥替代化肥对马铃薯产量、氮肥利用和土壤养分的影响[J]. 湖南农业科学,2022(6):25-28.
- [28] 彭有亮,费良军,刘小刚,等. 减量施肥耦合调亏灌溉对干热区芒果产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥科学报,2022,28(3):521-531.
- [29] 吴宪,王蕊,胡荷,等. 潮土细菌及真菌群落对化肥减量配施有机肥和秸秆的响应[J]. 环境科学,2020,41(10):4669-4681.
- [30] 周晓琳,李洪杰,董艳芳,等. 有机肥部分替代化肥对麦田土壤养分和细菌群落的影响[J]. 贵州农业科学,2023,51(8):69-75.
- [31] 程尉烜,康业斌. 生物羊粪对烟株农艺性状及其根际土壤微生物与酶活性的影响[J]. 江西农业学报,2021,33(11):121-125.
- [32] Luo P Y, Han X R, Wang Y, et al. Influence of long-term fertilization on soil microbial biomass, dehydrogenase activity, and bacterial and fungal community structure in a brown soil of Northeast China[J]. Annals of Microbiology, 2015, 65(1):533-542.
- [33] 焦晓丹,吴凤芝. 土壤微生物多样性研究方法的进展[J]. 土壤通报,2004,35(6):789-792.
- [34] Rolando J L, Kolton M, Song T Z, et al. The core root microbiome of *Spartina alterniflora* is predominated by sulfur-oxidizing and sulfate-reducing bacteria in Georgia salt marshes, USA[J]. Microbiome, 2022,10(1):37.
- [35] 秦涛,刘新社. 氮钾肥配施对土壤微生物与西瓜形态建成、品质、产量的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(16):154-161.