

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.2025.0602

化肥减量配施有机肥对土壤养分及甜瓜产量与品质的影响

周利利¹, 周肖瑜², 于璇³, 赵燕昊⁴, 张飞雪¹, 王丰颖¹, 沈卫新¹

(1. 湖州市农业科学研究院 浙江湖州 313000; 2. 湖州市植保检疫与耕肥管理站 浙江湖州 313000;
3. 杭州市富阳区农业农村局 杭州 310000; 4. 桐庐县农业农村局 浙江桐庐 311500)

摘要:本研究以翠雪5号甜瓜为试材,设置不施肥(CK)、单施化肥(T1,常规施肥)及有机肥替代20%化肥(T2)、有机肥替代30%化肥(T3)、有机肥替代40%化肥(T4)和有机肥替代50%化肥(T5)共6个处理,研究化肥减量配施有机肥对土壤养分及甜瓜产量与品质的影响。结果表明,与T1处理相比,T2~T5处理均能稳定土壤pH,缓解单施化肥导致的土壤酸化;土壤有机质、电导率整体上均随有机肥替代化肥比例增加呈上升趋势,其中T5处理多项肥力指标综合表现最优。在产量方面,各施肥处理间无显著差异,但T1处理产量最高。在品质方面,与T1处理相比,T2~T5处理改善了果实口感,T5处理的口感评分最高。主成分分析综合评估表明,T5处理效果最佳。在本试验条件下,有机肥替代50%化肥(T5处理)既能维持甜瓜产量,又可有效改善土壤理化性质、提升果实风味品质,是实现甜瓜生产减肥增效与品质协同提升的优化施肥方案。

关键词:甜瓜;化肥减量;有机肥;土壤养分;产量;品质

中图分类号:S652

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2026)03-055-09

Effects of reducing chemical fertilizer and combining with organic fertilizer on soil nutrients, melon yield and quality

ZHOU Lili¹, ZHOU Xiaoyu², YU Xuan³, ZHAO Yanhao⁴, ZHANG Feixue¹, WANG Fengying¹, SHEN Weixin¹

(1. Huzhou Academy of Agricultural Sciences, Huzhou 313000, Zhejiang, China; 2. Huzhou Plant Protection, Quarantine and Cultivated Fertilizer Management Station, Huzhou 313000, Zhejiang, China; 3. Hangzhou Fuyang District Agricultural and Rural Affairs Bureau, Hangzhou 310000, Zhejiang, China; 4. Tonglu County Agricultural and Rural Affairs Bureau, Tonglu 311500, Zhejiang, China)

Abstract: This study investigated the effects of reducing chemical fertilizer combined with organic fertilizer application on soil nutrients, melon yield, and fruit quality using Cuixue 5 melon as the test material through six fertilization treatments including no fertilizer(CK), conventional fertilization(T1), organic fertilizer substituting for 20% chemical fertilizer (T2), 30%(T3), 40%(T4), 50%(T5). The results demonstrated that, compared with the T1 treatment, the T2 to T5 treatments all effectively stabilized soil pH and alleviated the soil acidification caused by the application of chemical fertilizer alone. Furthermore, soil organic matter content and electrical conductivity(EC)exhibited an increasing trend with a higher proportion of organic fertilizer substitution, with the T5 treatment showing the best comprehensive performance across multiple soil fertility indicators. Regarding yield, no significant differences were observed among the fertilization treatments, although the T1 treatment(chemical fertilizer alone)recorded the highest numerical yield. In terms of fruit quality, compared with T1, the T2 to T5 treatments improved fruit taste, with the T5 treatment achieving the highest taste score. A comprehensive evaluation using principal component analysis further confirmed that the T5 treatment was the most effective. Under the conditions of this experiment, the T5 treatment(50% substitution of chemical fertilizer with organic fertilizer)maintained melon yield while effectively improving soil physicochemical properties and enhancing fruit flavor quality. Therefore, it is recommended as an optimal fertilization strategy for achieving the dual goals of reducing chemical fertilizer input, increasing efficiency, and synergistically improving quality in melon production.

Key words: Melon; Chemical fertilizer reduction; Organic fertilizer; Soil nutrient; Yield; Quality

收稿日期:2025-08-22;修回日期:2025-10-30

基金项目:湖州市重点研发项目(2024ZD2049)

作者简介:周利利,女,农艺师,研究方向为瓜菜育种。E-mail:489517268@qq.com

通信作者:沈卫新,男,研究员,研究方向为农作物病虫害防控技术及推广。E-mail:try426@163.com

甜瓜(*Cucumismelo* L.)为葫芦科黄瓜属一年生草本植物,因其外观独特,肉质香甜,营养丰富,深受人们的喜爱^[1-2]。我国是西甜瓜生产、消费和出口大国,西甜瓜产量和栽培面积均居世界首位^[3-5]。据FAO统计数据,2022年我国甜瓜种植面积为36.1万hm²,产量达1448.3万t,分别占世界甜瓜栽培面积的37.9%、产量的49.2%,种植甜瓜已成为我国广大农民增收的重要产业^[6-7]。浙江省所处的华东产区是中国西甜瓜五大优势产区之一,在过去的几年中甜瓜产业得到了快速发展^[8-9]。然而,随着设施农业的不断普及,化肥滥用导致的土壤问题日益突出,甜瓜的品质、产量也有所下降,严重影响瓜农的收益,也制约了甜瓜产业的发展。

化肥是农业生产的基础,在促进我国粮食增产和农业发展过程中发挥了重要作用,但化肥利用率低导致增产效应下降,同时化肥过量施用造成农业环境污染问题,如土壤酸化、大气氮沉降、水质下降等^[10]。如何在减少化肥投入的情况下,使作物产量和品质不受影响,有机肥替代化肥是首选方式^[11]。近年来,浙江省坚持将化肥减量增效工作作为落实农业绿色高质量发展的重要抓手,深入推进测土配方施肥措施,从而实现化肥减量增效,进一步促进果蔬生产提质增效^[12]。在此背景下,笔者开展了化肥减量配施有机肥对土壤养分含量、甜瓜产量和品质影响的试验研究,旨在探寻适用于甜瓜的科学施肥方案,为甜瓜高品质栽培及可持续生产提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试品种为翠雪5号,由浙江省农业科学院选育,为中晚熟厚皮甜瓜品种,果实发育期45d左右,适宜浙江地区越夏以及秋季大棚种植。

有机肥:羊粪[有机质含量(w,后同)约40%,湖州市农业科学研究院湖羊试验站提供],复合肥(N:P₂O₅:K₂O=15:15:15,雅苒国际有限公司),硫酸钾(K₂O含量≥52%,国投新疆罗布泊钾盐有限责任公司)。

1.2 试验设计

试验于2023年7月至10月在湖州市农业科学研究院基地连栋大棚中进行。基地地处浙北(120.19°E,30.81°N),平均海拔3m。前作植物西瓜,土壤肥力一致,参照湖州市农业科学研究院常规施肥方案,采用施足底肥后期不进行追肥的施肥方式。共设置不施肥(CK)、单施化肥(T1,常规施肥)、有机肥替代20%化肥(T2)、有机肥替代30%化肥(T3)、有机肥替代40%化肥(T4)和有机肥替代50%化肥(T5)6个处理,各处理肥料施用量和折纯量详见表1。采取随机区组设计,每个处理3次重复,每小区面积40m²,畦宽(连沟)2m,一畦双行,行距50cm,株距45cm,每小区定植89株,采用立架栽培,单蔓整枝,每株留1果。种子置于20~30℃水中浸种4h,于培养箱内30℃恒温催芽24h,待70%种子露白,于2023年7月30日直播。田间管理按照本地甜瓜生产进行。

1.3 样品采集与测定

1.3.1 土壤样本 在施肥前测定0~20cm土壤pH、电导率(EC值)以及全氮、有机质、水溶性盐、硝态氮、铵态氮、有效磷、速效钾含量^[13]。采收后再次测定各处理土样,检测指标相同。

1.3.2 植物样本 (1)生长期:系统观测并记录植物标本的关键物候期,主要包括播种期、开花期(70%植株开花)和成熟期(70%果实成熟),并计算果实发育期和全生育期。果实发育期/d=成熟期日期-开花期日期;全生育期/d=成熟期日期-播种期日期。(2)株高与茎粗测定:每小区随机调查生长正常

表1 不同处理肥料用量

Table 1 Fertilizer application amount of different treatments

处理 Treatment	化肥实物量 Fertilizer application amount/(kg·hm ⁻²)		化肥折纯量 Fertilizer equivalent pure content/(kg·hm ⁻²)			有机肥施用量 Organic fertilizer application amount/(kg·hm ⁻²)	化肥减量 Fertilizer reduction/%
	复合肥 Compound fertilizer	硫酸钾肥 Potassium sulfate fertilizer	N	P ₂ O ₅	K ₂ O		
CK	0	0	0	0	0	0	0
T1	750	210	112.50	112.50	221.70	0	0
T2	600	210	90.00	90.00	200.00	15 000	20
T3	525	210	78.75	78.75	187.95	22 500	30
T4	450	210	67.50	67.50	176.70	30 000	40
T5	375	210	56.25	56.25	165.45	37 500	50

的甜瓜 20 株,自播种后 10 d 至植株打顶期间,每隔 9 d 测定株高与茎粗,共计 3 次,分别于幼苗期(8 月 9 日,I)、伸蔓前期(8 月 18 日,II)和伸蔓后期(8 月 27 日,III)进行测定。用卷尺测定株高,从主茎基部(靠近土壤表面处)垂直向上拉至植株顶端生长点;使用游标卡尺测量植株主茎基部茎粗,统一测量位置为距土壤表面垂直向上 1 cm 处。(3)节间及叶的测定:每小区随机调查生长正常的甜瓜 20 株,测定植株结果部位前后 5 节(6 片叶之间)的长度(统计时折算成平均节间长),测定结果部位以上 1 叶的叶长、叶宽、叶柄长。(4)SPAD 值测定:于甜瓜定果后分 3 次测定 SPAD 值:SPAD 值I(9 月 14 日,约开花后 15 d)、SPAD 值II(9 月 24 日,约开花后 25 d)与 SPAD 值III(10 月 8 日,约果实成熟前 1 周)测定,每个小区随机选取 20 株,用手持式叶绿素仪(SPAD-502puls,日本柯尼卡美能达控股公司)测定坐瓜结位叶片前、中、后 3 点位置 SPAD 值,取平均值。(5)产量和质量的测定。测定每小区商品果总产量,同时每小区随机调查 9 株,测定鲜果单果质量,采用手持式糖度计(WZS-20,广州市爱宕科学仪器有限公司)测定果实中心可溶性固形物含量(中心果肉)、边部可溶性固形物含量(距果皮 0.5 cm 果肉),用直尺测定果实长、果实宽、果腔直径、果实肉厚等指标。采用品尝打分法^[14](15 人份)对甜瓜食用口感进行评定,评定标准为:>90~100 分口感最佳、酸甜适口、果香浓郁;>80~90 分口感较好、酸甜适口、有果香;70~80 分口感较差、有酸味或甜味、略有果香;<70 分口感差,味道很淡,无果香。

1.4 数据分析

采用 WPS Office 软件整理数据,采用 SPSS 23

进行相关性分析和主成分分析,采用 Duncan 新复极差法进行显著性检验($P<0.05$)。

2 结果与分析

2.1 不同肥料配施对耕作层土壤理化性质及养分含量的影响

2.1.1 土壤理化性质比较 由表 2 可知,施肥前土壤 pH 为 7.25,收获后各处理的 pH 在 6.80~7.53 之间,均处于甜瓜适宜生长范围。T1 处理 pH 最低,较施肥前显著降低 6.62%,而 T2~T5 处理 pH 与施肥前无显著差异,其中 CK 的 pH 最高。在 EC 值方面,收获后除 CK 外,其他处理的 EC 值均高于施肥前,且随有机肥替代化肥比例增加,EC 值整体上呈上升趋势,T5 处理 EC 值最高,达 $48.6 \text{ mS} \cdot \text{m}^{-1}$ 。土壤养分方面,收获后 T1 处理全氮含量最高,但各处理间均无显著差异;有机质含量 T5 处理最高,显著高于其他处理,且其他处理间差异均不显著;水溶性盐含量收获后各处理均显著高于施肥前,T5 和 T1 处理分别较施肥前提高 69.2%和 53.8%;T5 处理硝态氮和速效钾含量均最高,T1 处理有效磷含量最高,T5 次之,且 T1 处理显著高于 T5;收获后各处理铵态氮含量均显著低于施肥前,T5 处理最高。综上,与施肥前相比,T1 处理显著降低了土壤 pH,而化肥减量配施有机肥有助于维持土壤 pH 稳定;随着有机肥替代比例增加,土壤 EC 值和有机质含量整体均呈上升趋势,水溶性盐含量及大部分速效养分(铵态氮、速效钾、有效磷等)呈先降后升的趋势,T5 多项肥力指标综合表现最优。

2.2 不同肥料配施对甜瓜生长的影响

2.2.1 生育期比较 由表 3 可知,各施肥处理的全

表 2 不同施肥处理土壤理化性质比较

Table 2 Comparison of soil physicochemical properties under different fertilization treatments

处理 Treatment	pH	EC/ ($\text{mS} \cdot \text{m}^{-1}$)	w(全氮) Total nitrogen content/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	w(有机质) Organic matter content/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	w(水溶性盐) Water-soluble salt content/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	w(硝态氮) Nitrate nitrogen content/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	w(铵态氮) Ammonium nitrogen content/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	w(速效钾) Available K content/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	w(有效磷) Available P content/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
施肥前 Before fertilization	7.25 b	26.4 bc	0.133 a	21.7 b	1.3 c	4.77 d	1.670 a	505 d	118.2 d
T1	6.80 c	29.6 bc	0.193 a	20.1 b	2.0 a	9.63 b	0.395 b	853 b	355.6 a
T2	7.28 b	31.0 b	0.133 a	21.1 b	1.6 b	11.10 ab	0.355 b	640 c	142.2 cd
T3	7.28 b	30.9 b	0.183 a	22.6 b	1.7 b	7.75 c	0.397 b	853 b	174.7 c
T4	7.23 b	37.0 b	0.148 a	23.3 b	1.9 ab	12.90 ab	0.384 b	752 bc	153.9 c
T5	7.23 b	48.6 a	0.180 a	28.4 a	2.2 a	14.10 a	0.468 b	1078 a	201.3 b
CK	7.53 a	24.6 c	0.124 a	20.7 b	1.5 b	6.48 c	0.378 b	527 cd	120.8 d

注:同列数据后不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: Different small letters in the same column indicate significant difference among different treatments at 0.05 level. The same below.

生育期相差不大,果实发育期为46~47 d,全育期为77~78 d。CK甜瓜植株生长缓慢,开花期、成熟期均较晚,全生育期比其他处理长2~3 d,为80 d。

2.2.2 植株长势比较 由表4可知,在株高方面,各施肥处理中,T1处理各时期均最高,且株高II与株高III均显著高于其他处理;T2~T5处理3个时期株高均无显著差异,而CK的株高II均显著低于T1与T3。茎粗方面,茎粗I与茎粗II各施肥处理均无显著差异,随着有机肥替代化肥比例增加,茎粗III呈

先降后升再降的趋势,T4茎粗最粗,但与T1、T3处理均无显著差异。

由表5可知,T2处理的节间长最长,显著高于T3处理,但与其他处理差异不显著。各处理的叶长、叶宽及叶柄长均无显著差异,T2处理的节间长和叶柄长均最长、T3处理节间长度最短,而叶片长度和宽度均最大。综上,单施化肥(T1)较有机肥替代化肥处理(T2~T5)仅显著促进了株高生长,在茎粗与叶片指标方面与其他处理差异不显著。

表3 不同施肥处理甜瓜生育期比较

Table 3 Comparison of growth stages of melon under different fertilization treatments

处理 Treatment	播种期(月-日) Sowing period (Month-Date)	开花期(月-日) Flowering period (Month-Date)	成熟期(月-日) Maturity period (Month-Date)	果实发育期 Fruit development period/d	全生育期 Whole growth period/d
T1	07-30	08-31	10-16	47	78
T2	07-30	09-01	10-16	46	78
T3	07-30	08-31	10-15	46	77
T4	07-30	08-30	10-15	47	77
T5	07-30	09-01	10-16	46	78
CK	07-30	09-03	10-18	46	80

表4 不同施肥处理各时期株高、茎粗比较

Table 4 Comparison of plant height and stem thickness at different stages under different fertilization treatments

处理 Treatment	株高 Plant height/cm			茎粗 Stem thickness/mm		
	幼苗期 Seedling stage (I)	伸蔓前期 Vine extension early stage(II)	伸蔓后期 Vine extension late stage(III)	幼苗期 Seedling stage (I)	伸蔓前期 Vine extension early stage(II)	伸蔓后期 Vine extension late stage(III)
T1	7.99±0.10 a	38.29±0.05 a	159.43±1.28 a	3.62±0.50 a	7.52±0.15 a	9.16±0.39 a
T2	7.51±0.27 a	29.56±3.42 bc	137.47±6.58 b	3.47±0.47 a	7.55±0.17 a	8.66±0.33 bc
T3	7.68±0.08 a	32.36±0.73 b	141.51±3.26 b	3.54±0.24 a	7.58±0.27 a	8.93±0.48 ab
T4	7.68±0.10 a	30.60±0.88 bc	139.99±2.19 b	3.44±0.09 a	7.80±0.10 a	9.18±0.43 a
T5	7.60±0.12 a	30.71±1.15 bc	139.39±4.99 b	3.33±0.41 a	7.36±0.04 a	8.61±0.13 bc
CK	8.04±0.30 a	26.10±1.37 c	136.96±2.58 b	3.30±0.38 a	6.78±0.31 b	8.26±0.38 c

表5 不同施肥处理节间长及叶片相关数据比较

Table 5 Internode length and leaf data of different fertilization treatments

处理 Treatment	节间长 Internode length/cm	叶长 Leaf length/cm	叶宽 Leaf width/cm	叶柄长 Petiole length/cm
T1	9.05±0.20 ab	20.29±0.11 a	25.74±0.46 a	20.32±0.15 a
T2	9.26±0.03 a	20.35±0.29 a	26.13±0.43 a	21.17±0.43 a
T3	8.75±0.19 b	20.73±0.43 a	26.37±0.47 a	20.91±0.41 a
T4	8.94±0.30 ab	20.13±0.84 a	24.85±0.61 a	20.28±0.28 a
T5	8.88±0.24 ab	20.42±0.42 a	26.32±0.71 a	20.87±0.98 a
CK	9.15±0.33 ab	20.27±0.38 a	25.64±0.39 a	20.83±0.06 a

2.2.3 SPAD值比较 由表6可知,随着植株生长,除T2处理外,其他各处理叶片SPAD值均呈先升后降趋势,SPAD值II均最高。在不同时期,SPAD值对施肥的响应有所不同,叶片的SPAD值I与

SPAD值II各处理间均无显著差异;随着有机肥替代化肥比例增加,SPAD值III呈先增后降的趋势,其中T2处理最高,但T2处理与T3处理的差异不显著。综上,除T2处理外,其他各处理叶片SPAD值

表6 不同施肥处理各时期叶片 SPAD 值比较
Table 6 Comparison of leaf SPAD values under different fertilization treatments at different stages

处理 Treatment	测定日期 Determination time(Month-Date)		
	09-14(I)	09-24(II)	10-08(III)
T1	41.96±1.17 a	42.46±2.39 a	39.73±0.47 bc
T2	45.51±2.86 a	45.60±3.18 a	46.70±2.00 a
T3	45.85±0.69 a	48.56±2.45 a	42.94±1.50 ab
T4	43.96±0.67 a	45.47±1.07 a	41.73±1.06 bc
T5	43.02±1.00 a	45.62±0.22 a	41.28±0.77 bc
CK	41.86±1.27 a	42.44±0.55 a	38.53±1.65 c

均随时间的延长呈先增后降的变化规律;在果实成熟前,有机肥替代化肥处理(T2~T5)均可有效维持较高的叶绿素水平,其中以有机肥替代 20%化肥(T2 处理)的效果最为显著。

2.3 不同肥料配施对甜瓜产量及构成因素的影响

由表 7 可知,T1 处理的单果质量最大,但与其他施肥处理差异不显著,CK 果实个头和单果质量均最小。各处理果形指数差异均不显著。施肥处理产量均较 CK 增加,随着有机肥替代化肥比例增加,产量呈先降低后增加的趋势,各处理甜瓜产量由高到低依次为 T1>T2>T3>T5> T4>CK,T1 处理

表7 不同施肥处理产量及产量构成因素比较
Table 7 Comparison of yield and composition factors under different fertilization treatments

处理 Treatment	单果质量 Single fruit mass/kg	果实长 Fruit length/cm	果实宽 Fruit width/cm	果形指数 Fruit shape index	产量 Yield/(kg·667 m ²)
T1	1.59±0.08 a	18.40±0.11 a	13.48±0.15 a	1.36 ab	1 718.14±79.86 a
T2	1.49±0.03 ab	17.45±0.42 a	13.10±0.21 b	1.33 ab	1 645.41±132.98 ab
T3	1.50±0.10 ab	18.03±0.49 a	13.00±0.08 bc	1.39 a	1 620.47±47.87 ab
T4	1.42±0.09 ab	17.03±0.46 a	12.68±0.31 cd	1.34 ab	1 453.40±56.8 ab
T5	1.42±0.15 ab	17.20±0.72 a	12.92±0.33 bc	1.33 ab	1 538.40±52.97 ab
CK	1.38±0.05 b	17.37±0.31 a	12.50±0.08 d	1.39 a	1 397.65±21.65 b

产量达 1 718.14 kg·667 m²,但与其他施肥处理差异均不显著。说明有机肥替代化肥对甜瓜产量影响不明显。

2.4 不同肥料配施对甜瓜品质的影响

由表 8 可知,各处理甜瓜的中心可溶性固形物含量均超过了 17%,其中 T4 处理最高,达 18.24%,T5 次之,各处理间差异均不显著。T5 处

理有机肥施用量最多,大众口感评分最高。T4 处理的中心可溶性固形物含量与边部可溶性固形物含量差值最小,大众口感评分第二,为 90 分。T1 处理中心和边部可溶性固形物含量均较高,但口感评价最差,有杂味。各处理果腔直径、果肉厚差异均不显著。结果表明,有机肥配施化肥可以提升甜瓜口感,有机肥替代 40%化肥(T4 处理)时,

表8 不同施肥处理果实品质性状比较
Table 8 Comparison of fruit quality traits under different fertilization treatments

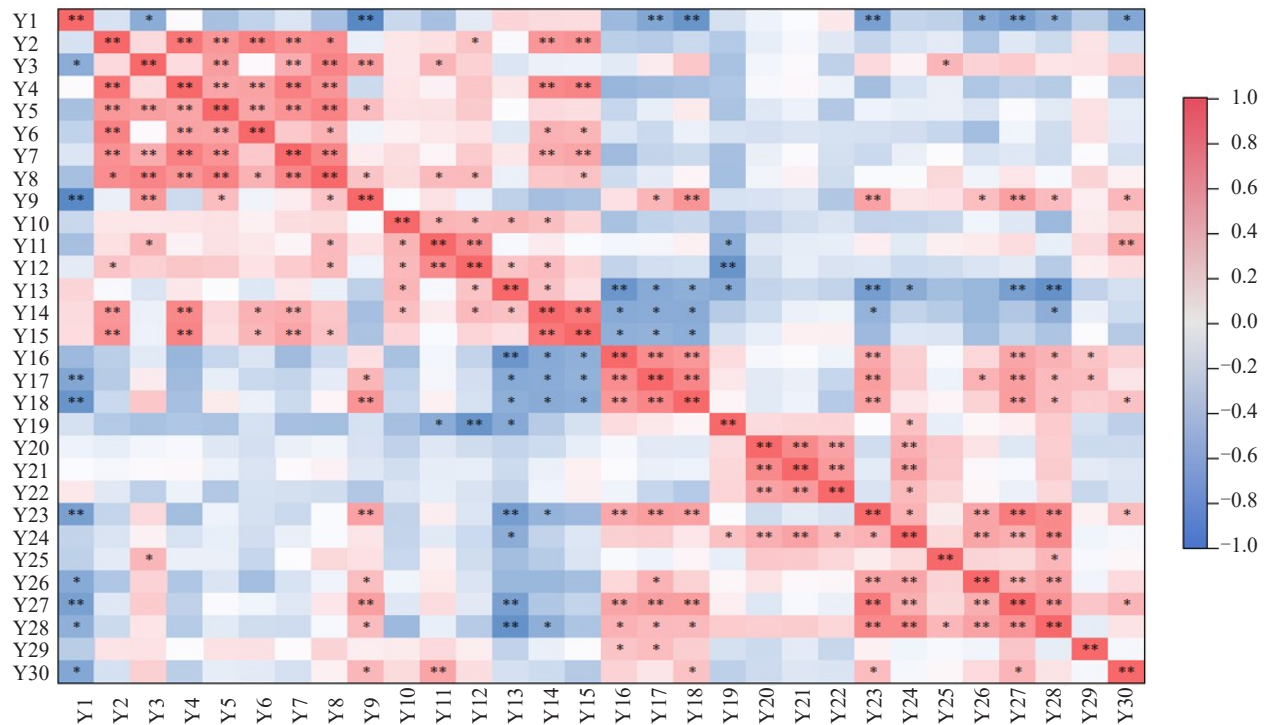
处理 Treatment	w(中心可溶性固形物) Center soluble solids content/%	w(边部可溶性固形物) Edge soluble solids content/%	果腔直径 Fruit cavity diameter/cm	果肉厚 Flesh thickness/cm	口感评分 Taste score
T1	17.88±0.89 a	10.82±0.59 ab	5.87±0.10 a	3.53±0.21 a	80
T2	17.87±0.43 a	11.33±1.15 ab	5.83±0.16 a	3.83±0.25 a	87
T3	17.16±0.38 a	9.35±0.82 b	5.90±0.32 a	3.60±0.10 a	89
T4	18.24±0.50 a	12.47±1.35 a	5.85±0.12 a	3.58±0.09 a	90
T5	18.02±0.55 a	10.39±1.22 ab	5.68±0.02 a	3.50±0.29 a	93
CK	17.39±0.38 a	9.92±0.69 ab	5.48±0.25 a	3.51±0.24 a	89

甜瓜果肉中心和边部可溶性固形物含量均最高,有机肥替代 50%化肥(T5 处理)时,大众口感评分最高。

2.5 土壤理化性质及甜瓜农艺性状指标相关性分析

各处理土壤理化性质与甜瓜各农艺性状指标

相关性分析如图 1 所示。pH 与土壤有效磷含量、SPAD 值II、SPAD 值III、单果质量、果实宽均呈极显著负相关,与土壤全氮含量、果肉厚、产量均呈显著负相关;EC 值与土壤有机质含量、水溶性盐含量、硝态氮含量、铵态氮含量、速效钾含量及株高II、株高III均呈极显著正相关,与茎粗III呈显著正相关;土



注: * 表示在 0.05 水平显著相关, ** 表示在 0.01 水平极显著相关。Y1. pH; Y2. EC 值; Y3. 全氮含量; Y4. 有机质含量; Y5. 水溶性盐含量; Y6. 硝态氮含量; Y7. 铵态氮含量; Y8. 速效钾含量; Y9. 有效磷含量; Y10. 茎粗I; Y11. 茎粗II; Y12. 茎粗III; Y13. 株高I; Y14. 株高II; Y15. 株高III; Y16. SPAD 值I; Y17. SPAD 值II; Y18. SPAD 值III; Y19. 节间长; Y20. 叶长; Y21. 叶宽; Y22. 叶柄长; Y23. 单果质量; Y24. 中心可溶性固形物含量; Y25. 边部可溶性固形物含量; Y26. 果实长; Y27. 果实宽; Y28. 果肉厚; Y29. 果腔直径; Y30. 产量。

Note: * indicates significant correlation at 0.05 level, and ** indicates extremely significant correlation at 0.01 level. Y1. pH; Y2. EC value; Y3. Total nitrogen content; Y4. Organic matter content; Y5. Water-soluble salt content; Y6. Nitrate nitrogen content; Y7. Ammonium nitrogen content; Y8. Available K content; Y9. Available P content; Y10. Stem thickness I; Y11. Stem thickness II; Y12. Stem thickness III; Y13. Plant height I; Y14. Plant height II; Y15. Plant height III; Y16. SPAD value I; Y17. SPAD value II; Y18. SPAD value III; Y19. Internode length; Y20. Leaf length; Y21. Leaf width; Y22. Petiole length; Y23. Single fruit mass; Y24. Center soluble solids content; Y25. Edge soluble solids content; Y26. Fruit length; Y27. Fruit width; Y28. Flesh thickness; Y29. Fruit cavity diameter; Y30. Yield.

图 1 不同施肥处理土壤理化性质与甜瓜农艺性状指标相关性分析

Fig. 1 Correlation analysis of soil physical and chemical properties and agronomic traits of melon under different fertilizer treatments

壤全氮含量与土壤水溶性盐含量、铵态氮含量、速效钾含量、有效磷含量均呈极显著正相关,与茎粗II、边部可溶性固形物含量均呈显著正相关;土壤有机质含量与水溶性盐含量、硝态氮含量、铵态氮含量、速效钾含量及株高II、株高III均呈极显著正相关,与茎粗III呈显著正相关;土壤水溶性盐含量与土壤硝态氮含量、铵态氮含量、速效钾含量均呈极显著正相关,与土壤有效磷含量呈显著相关;土壤硝态氮含量与土壤速效钾含量及株高II、株高III均呈显著正相关;土壤铵态氮含量与土壤速效钾含量及株高II、株高III均呈极显著正相关;土壤速效钾含量与土壤有效磷含量、茎粗II、茎粗III、株高III均呈显著性正相关;土壤有效磷含量与 SPAD 值III、单果质量、果实宽均呈极显著正相关,与 SPAD 值II、果实长、

果肉厚、产量均呈显著正相关;茎粗I与茎粗II、茎粗III、株高I、株高II均呈显著正相关;茎粗II与茎粗III、产量均呈极显著正相关,与节间长呈显著负相关;茎粗III与株高I、株高II均呈显著正相关,与节间长呈极显著负相关;株高I与株高II呈显著正相关,与 SPAD 值I、单果质量、果实宽、果肉厚均呈极显著负相关,与 SPAD 值II、SPAD 值III、节间长、中心可溶性固形物含量均呈显著负相关;株高II与株高III呈极显著正相关,与 SPAD 值I、SPAD 值II、SPAD 值III、单果质量、果肉厚均呈显著负相关;株高III与 SPAD 值I、SPAD 值II、SPAD 值III均呈显著负相关;SPAD 值I与 SPAD 值II、SPAD 值III、单果质量、果实宽均呈极显著正相关,与果肉厚、果腔直径均呈显著正相关;SPAD 值II与 SPAD 值III、单果质量、果实

宽均呈极显著正相关,与果实长、果肉厚、果腔直径均呈显著正相关;SPAD 值III与单果质量、果实宽均呈极显著正相关,与果肉厚、产量均呈显著正相关;节间长与中心可溶性固形物含量呈显著正相关;叶长与叶宽、叶柄长、中心可溶性固形物含量均呈极显著正相关;叶宽与叶柄长、中心可溶性固形物含量均呈极显著正相关;叶柄长与中心可溶性固形物含量呈显著正相关;单果质量与果实长、果实宽、果肉厚均呈极显著正相关,与中心可溶性固形物含量、产量均呈显著正相关;中心可溶性固形物含量与果实长、果实

宽、果肉厚均呈极显著正相关;边部可溶性固形物含量与果肉厚呈显著正相关;果实长与果实宽、果肉厚均呈极显著正相关;果实宽与果肉厚呈极显著正相关,与产量呈显著正相关。

2.6 不同施肥处理主成分分析

由表 9 可见,提取特征值>1 的 7 个主成分,累计贡献率达 88.993%,包含了土壤理化性质及甜瓜农艺性状的绝大部分信息。第 1 主成分的特征值为 7.023,贡献率 23.410%,载荷绝对值较高(>0.50)的性状有单果质量(0.910)、果实宽(0.893)、pH

表 9 不同施肥处理主成分分析结果

Table 9 Principal component analysis (PCA) results under different fertilizer treatments

指标 Index	主成分 Principal component						
	1	2	3	4	5	6	7
单果质量 Single fruit mass	0.910	-0.146	0.022	0.055	0.003	0.123	-0.102
果实宽 Fruit width	0.893	0.045	0.137	0.111	-0.034	0.264	-0.029
pH	-0.821	-0.016	0.190	-0.097	-0.290	-0.102	-0.028
果肉厚 Flash thickness	0.782	-0.109	0.486	-0.150	0.025	-0.016	-0.284
有效磷含量 Available P content	0.755	-0.009	-0.108	0.110	0.565	0.085	0.052
SPAD 值III SPAD value III	0.688	-0.172	-0.081	0.003	0.266	0.525	-0.161
果实长 Fruit length	0.667	-0.337	0.389	0.077	0.204	-0.011	0.262
株高I Plant height I	-0.646	0.054	-0.218	0.333	0.228	-0.219	0.464
EC 值 EC value	-0.057	0.959	0.005	0.138	0.137	0.049	-0.055
有机质含量 Organic matter content	-0.282	0.892	0.131	0.105	0.231	-0.062	0.027
硝态氮含量 Nitrate nitrogen content	0.100	0.880	-0.200	0.040	-0.101	0.143	-0.095
株高III Plant height III	-0.319	0.829	0.184	0.060	-0.122	-0.110	0.236
株高II Plant height II	-0.368	0.786	-0.012	0.222	-0.148	-0.158	0.315
铵态氮含量 Ammonium nitrogen content	-0.064	0.731	0.100	0.085	0.552	-0.089	0.153
速效钾含量 Available K content	0.227	0.719	0.113	0.319	0.543	0.072	-0.033
水溶性盐含量 Water-soluble salt content	0.159	0.669	-0.108	0.076	0.615	0.132	0.072
叶宽 Leaf width	-0.008	0.116	0.913	-0.036	0.061	0.110	-0.003
叶长 Leaf length	-0.060	-0.025	0.877	-0.106	0.126	0.015	-0.116
叶柄长 Petiole length	-0.026	0.042	0.835	0.047	-0.407	-0.168	-0.024
中心可溶性固形物含量 Center soluble solids content	0.544	0.017	0.729	-0.204	-0.020	0.071	0.126
边部可溶性固形物含量 Edge soluble solids content	0.265	-0.040	0.559	0.194	0.353	-0.125	-0.465
茎粗II Stem thickness II	0.258	0.208	0.053	0.899	0.058	0.124	0.065
茎粗III Stem thickness III	-0.126	0.357	-0.021	0.790	0.132	0.126	0.211
节间长 Internode length	0.292	-0.099	0.356	-0.711	-0.363	0.078	0.068
产量 Yield	0.603	-0.125	-0.076	0.655	-0.047	-0.030	0.038
全氮含量 Total nitrogen content	0.406	0.272	0.123	0.371	0.740	0.043	-0.034
果腔直径 Fruit cavity diameter	0.171	0.264	-0.024	0.193	0.060	0.819	0.053
SPAD 值II SPAD value II	0.621	-0.275	0.023	-0.104	0.121	0.658	0.049
SPAD 值I SPAD value I	0.560	-0.251	0.118	-0.016	-0.249	0.639	-0.280
茎粗I Stem thickness I	-0.029	0.253	-0.107	0.531	0.078	-0.043	0.702
特征值 Eigenvalue	7.023	6.035	3.955	3.304	2.764	2.136	1.481
贡献率 Contribution rate/%	23.410	20.116	13.184	11.015	9.213	7.119	4.936
累计贡献率 Cumulative contribution rate/%	23.410	43.526	56.710	67.725	76.938	84.057	88.993

(-0.821)、果肉厚(0.782)、有效磷含量(0.755)、SPAD 值III(0.688)、果实长(0.677)、株高I(-0.646)、中心可溶性固形物含量(0.544)、产量(0.603)、SPAD 值II(0.621)、SPAD 值I(0.560);第2主成分的特征值为6.035,贡献率20.116%,载荷绝对值较高的性状有EC值(0.959)、有机质含量(0.892)、硝态氮含量(0.880)、株高III(0.829)、株高II(0.786)、铵态氮含量(0.731)、速效钾含量(0.719)、水溶性盐含量(0.669);第3主成分的特征值为3.955,贡献率13.184%,载荷绝对值较高的性状有叶宽(0.913)、叶长(0.877)、叶柄长(0.835)、中心可溶性固形物含量(0.729)、边部可溶性固形物含量(0.559);第4主成分的特征值为3.304,贡献率11.015%,载荷绝对值较高的性状有茎粗II(0.899)、茎粗III(0.79)、节间长(-0.711)、产量(0.655)、茎粗I(0.531);第5主成分的特征值为2.764,贡献率9.213%,载荷绝对值较高的

性状有有效磷含量(0.565)、铵态氮含量(0.552)、速效钾含量(0.543)、水溶性盐含量(0.615)、全氮含量(0.740);第6主成分的特征值为2.136,贡献率7.119%,载荷绝对值较高的性状有果腔直径(0.819)、SPAD 值II(0.658)、SPAD 值I(0.639)、SPAD 值III(0.525);第7主成分的特征值为1.481,贡献率4.936%,载荷绝对值较高的性状有茎粗I(0.702)。

按照成分矩阵计算6个处理的7个主成分得分 $F_i = \sum(Zx_j \times A_{ij} / \sqrt{\lambda_i})$, 式中 $Zx_j (j = 1, \dots, 30)$ 为不同处理的各土壤理化性质指标及农艺性状指标的标准化值, $A_{ij} (i = 1, \dots, 7)$ 为成分矩阵中不同处理的土壤理化性质指标与农艺性状指标的主成分载荷, λ_i 为主成分特征值; 综合得分 $F_{\text{综}} = \sum(\lambda_i \times F_i / \sum \lambda_i)$ 。依据 $F_{\text{综}}$ (表10), 筛选出综合表现最好的施肥处理为有机肥替代50%化肥(T5处理)。

表10 不同施肥处理主成分得分及排序

Table 10 Principal component score and rank of different fertilizer treatments

处理 Treatment	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F	均值 Mean	排序 Rank
T1	-0.81	0.71	0.90	0.65	0.47	1.45	0.97	0.38	0.38	2
T2	-0.04	0.69	0.47	0.02	-0.04	0.66	-0.26	0.25	0.25	3
T3	-0.09	0.48	0.05	0.74	-0.02	-0.07	0.37	0.19	0.19	4
T4	0.16	-1.13	-1.11	-0.88	-0.46	-0.21	-0.67	-0.59	-0.59	5
T5	1.80	1.08	0.56	0.69	1.56	0.29	0.40	1.09	1.09	1
CK	-0.83	-1.83	-3.98	-1.21	-1.52	-2.12	-0.81	-1.74	-1.74	6

3 讨论与结论

3.1 有机肥配施对土壤理化性质的改良作用

本研究发现,单施化肥(T1处理)会导致土壤pH显著降低(酸化),这与大量研究结果一致^[15]。化学氮肥的硝化作用过程会释放H⁺,是土壤酸化的主要原因。相比之下,T2~T5处理的土壤pH稳定在施肥前水平,可能是有机肥中含有的有机质及其分解产生的有机酸可与H⁺结合,同时有机质矿化产生的NH₄⁺的硝化作用速率较化肥更慢,从而有效减缓了土壤酸化进程^[16]。随着有机肥替代化肥比例增加,土壤EC值和有机质含量整体呈上升趋势,水溶性盐含量及大部分速效养分(铵态氮、速效钾、有效磷等)含量呈先降后升的趋势,有机肥替代50%化肥(T5处理)综合表现最优。这表明有机肥的施用不仅提供了全面的矿质营养,其核心作用还在于通过有机质提升土壤系统功能:促进团粒结构形成以改善物理性状,增强阳离子交换量(CEC)以提高保肥能力,并

为微生物活动提供能源,从而驱动养分循环^[17-18]。

3.2 植株生长与养分供给模式的动态平衡

在植株生长方面,T1处理的株高III最高,显著高于其他处理,这得益于化肥养分释放快、速效性高的特点。然而,这种优势并未转化为最终的产量优势,各施肥处理产量均无显著差异。这表明了坐果前过度的营养生长并非高产的关键。SPAD值反映了叶片氮素营养和光合潜力,T2~T5处理虽然株高均低于T1,但SPAD值III均高于T1,说明有机肥缓释供肥的特性能够更有效地防止生长后期脱肥早衰,保障果实发育关键期的光合产物供应。这种“前稳后旺”的生长模式,实现了速效化肥与持效有机肥在养分供给时间上的完美协同,避免了单一化肥“猛发早衰”的风险,对获得高产优质农产品更为有利^[19]。

3.3 产量稳定与品质提升

相比于T1处理,T2~T5处理甜瓜产量并未显著下降,但增施有机肥对果实食用口感的提升效果明显,这与许多类似研究结论相一致^[20-22]。品质的

提升是多方面因素共同作用的结果。有机肥含有丰富的微量元素和有机活性物质(如氨基酸、腐殖酸),这些是合成糖分、香气和风味物质的重要前体或催化剂,而化肥往往无法提供。氮肥过量导致某些含氮化合物(如硝酸盐、某些氨基酸)异常积累的结果,印证了“产量和品质并非总是正相关”的观点,凸显了有机肥在提升果实风味等“愉悦型品质”方面不可替代的作用。

3.4 土壤-植株-果实系统的内在关联

相关性分析揭示了土壤理化性质、植株生长与果实性状间的内在联系。土壤 pH 与有效磷含量及多个果实性状均呈极显著负相关,可能与本研究土壤中性偏碱、酸化在一定范围内提高了磷的有效性有关^[23]。EC 值与多项土壤养分指标均呈极显著正相关,可以在一定程度上间接反映土壤的速效肥力水平,但需注意区分盐分胁迫与养分富集的情况。有效磷含量与单果质量、果实宽均呈极显著正相关,与 SPAD 值II、果实长、果肉厚、产量均呈显著正相关,与中心及边部可溶性固形物含量均呈正相关,这说明磷不仅影响果实细胞分裂与膨大,也可能通过参与能量代谢(如 ATP 合成)、光合产物转运与糖分转化等过程,直接或间接提升果实含糖量^[24]。同时表明,在甜瓜施肥管理中,保证充足有效的磷供应是协调产量与品质的关键。

3.5 研究局限性与展望

长期效应方面,本研究仅为 1 年期的试验。有机肥对土壤的改良作用(如有机质提升、微生物群落结构优化)具有累积效应,其长期(3~5 年)的减肥增效潜力需要持续监测。机制深度方面,本研究明确了现象,但对内在机制(如特定风味物质的合成与积累、根际微生物群落的变化等)的挖掘尚显不足。未来可结合代谢组学、微生物组学等技术进行更深入的机制性探索。此外,本研究只使用了羊粪 1 种有机肥,不同来源的有机肥(如猪粪、牛粪、商品有机肥)养分含量、矿化速率均有差异,其与化肥的最佳配比也可能不同,值得进一步筛选。

本研究结果表明,有机肥替代 20%~50%化肥后,可以改善土壤 pH,增加土壤硝态氮、速效钾、有效磷含量,促进作物稳健生长,在保障产量的前提下,有效提升果实食用口感,其中有机肥替代 50%化肥(T5 处理)土壤有机质含量与硝态氮、速效钾等含量均最高,口感评分最高,且主成分分析综合评分第一。因此,在本试验条件下,从减少化肥、增加土壤肥力及提质

的综合目标出发,T5 处理为最优施肥方案。

参考文献

- [1] 王毓洪,马二磊.甜瓜[M].北京:中国农业科技出版社,2019.
- [2] 寿伟松,沈佳,张跃建,等.浙江省甜瓜生产现状与发展趋势[J].浙江农业科学,2019,60(5):715-717.
- [3] 王志丹.中国甜瓜产业经济发展研究[D].北京:中国农业科学院,2014.
- [4] 文长存,孙玉竹,吴敬学.“十三五”时期中国西甜瓜产业形势分析[J].农业展望,2016,12(5):48-52.
- [5] 许昕阳,张跃建,沈佳,等.厚皮甜瓜新品种翠雪 6 号的选育与应用[J].浙江农业科学,2021,62(6):1110-1112.
- [6] 宋正峰,刘树森,夏连芹,等.甜瓜育种技术与方法研究进展[J].中国瓜菜,2022,35(6):1-8.
- [7] 王娟娟,李莉,尚怀国.我国西瓜甜瓜产业现状与对策建议[J].中国瓜菜,2020,33(5):69-73.
- [8] 冯玥,刘鑫.浙江省西甜瓜良种繁育推科技创新平台的建立及进展[J].浙江农业科学,2022,63(6):1174-1176.
- [9] 胡美华,汪炳良,王毓洪,等.浙江省甜瓜产业现状与发展对策[J].浙江农业科学,2015,56(12):1911-1914.
- [10] 付浩然,李婷玉,曹寒冰,等.我国化肥减量增效的驱动因素探究[J].植物营养与肥料学报,2020,26(3):561-580.
- [11] 贝凯月,向春阳,赵秋,等.有机肥替代化肥对设施蔬菜土壤有效态 Fe、Mn、Cu 含量的影响[J].华北农学报,2020,35(6):148-154.
- [12] 徐萍,王美青.浙江省农业自然资源开发利用成效、问题与思路[J].浙江农业科学,2024,65(9):2008-2013.
- [13] 郭雨浓.不同缓控释肥养分释放特性及控释肥对河套蜜瓜土壤养分和生长的效应[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2021.
- [14] 张海英,韩涛,王有年,等.桃果实品质评价因子的选择[J].农业工程学报,2006,22(8):235-239.
- [15] 丁武汉,邓婷,曾科,等.有机肥替代化肥配施镁硼锌改良广东酸性稻田土壤[J].应用生态学报,2025,36(9):2677-2684.
- [16] 刘欣欣,王慧敏,张秀,等.大棚番茄秸秆还田减施化肥对黄瓜产量、品质及养分吸收的影响[J].北方园艺,2024(14):43-50.
- [17] 王继涛,刘世伟,刘晓娇,等.不同堆肥方式有机肥对设施土壤性质、西瓜生长发育及品质的影响[J].现代园艺,2025,48(15):18-21.
- [18] 申梦雪,郝芮,刘新伟,等.化肥减量配施秸秆和有机肥对酸化土壤改良及侵蚀阻控的影响[J].水土保持学报,2024,38(6):333-342.
- [19] 王艳,杨紫桓.厚皮甜瓜生理性早衰的发生原因及预防措施[J].蔬菜,2024(5):63-66.
- [20] 乔晓琳,贺莉,满代军,等.化肥减量配施有机肥对甜瓜产量及品质的影响[J].中国果菜,2024,44(12):65-68.
- [21] 陈积豪,张浩,梁其干,等.减施化肥增施蚯蚓粪有机肥对连作甜瓜的影响[J].新疆农业科学,2024,61(8):1969-1975.
- [22] 苏光秋.有机肥施用量对西瓜产量和品质及土壤理化性状的影响[J].长江蔬菜,2023(2):63-65.
- [23] 贾兴永.土壤性质对外源磷化学有效性及吸附解吸的影响研究[D].北京:中国农业科学院,2011.
- [24] 杨修一,耿计彪,戚兴超,等.磷肥用量对盆栽甜瓜产量及光合特性的影响[J].北方园艺,2016(14):171-174.