

不同施肥处理对退砂田西瓜产量、品质及养分吸收的影响

马英¹, 刘晓彤¹, 罗健航¹, 张学军¹, 杜慧莹², 赵营¹

(1. 宁夏农林科学院农业资源与环境研究所 银川 750002; 2. 宁夏农林科学院 银川 750002)

摘要: 为筛选出适合退砂田西瓜种植的施肥措施, 采用田间大区对比试验, 以金城5号西瓜为供试作物, 研究了不施肥(CK)、大量元素水溶肥、大量元素水溶肥+生物菌肥、生物菌肥、沼液肥对西瓜产量、养分吸收和品质的影响。结果表明, 水溶肥+生物菌肥处理下西瓜经济产量最高, 为 $51.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。水溶肥或其配施生物菌肥促进了西瓜植株、果实和地上部氮吸收, 同时促进了果实和地上部钾吸收。水溶肥处理下西瓜氮肥利用率最高(31.2%), 沼液肥处理下磷(15.5%)、钾(39.2%)肥利用率较高。西瓜总糖与总酸、维生素C含量之间分别呈显著和极显著正相关。施肥处理显著提高了西瓜品质, 水溶肥+生物菌肥处理效果明显。因此, 综合考虑西瓜的产量、养分吸收和品质, 退砂田施用水溶肥或其配施生物菌肥可实现西瓜高产优质生产。

关键词: 西瓜; 退砂田; 产量; 养分吸收; 品质

中图分类号: S651

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2024)07-149-07

Effect of different fertilization practices on yield, quality and nutrients uptake of watermelon in the gravel removal field

MA Ying¹, LIU Xiaotong¹, LUO Jianhang¹, ZHANG Xuejun¹, DU Huiying², ZHAO Ying¹

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, Ningxia, China; 2. Ningxia Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, Ningxia, China)

Abstract: In order to select the suitable fertilization practices in the gravel removal field, using field comparative experiments, the effects of no fertilizers (CK), water-soluble macronutrient fertilizer, water-soluble macronutrient fertilizer + biological bacterial manure, and biogas slurry fertilizer on yield, nutrients uptake and quality of watermelon in the gravel removal field were studied using watermelon cultivar Jincheng No.5 as the test crop. The results showed that the economic yield of watermelon was the highest under the treatment of water-soluble macronutrient fertilizer + biological bacterial manure, which was $51.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$. Water-soluble macronutrient fertilizer or it combined application of biological bacterial manure improved straw, fruit, and shoot nitrogen uptake of watermelon, while also significantly increased potassium uptakes in fruit and shoot. Nitrogen utilization efficiency (31.2%) was highest by application of water-soluble macronutrient fertilizer, thus phosphorus (15.5%) and potassium (39.2%) utilization efficiencies were higher in treatment biogas slurry fertilizer. There is a significant and extremely significant positive correlation between total sugar, total acid, and vitamin C content in watermelon, respectively. Application of fertilizers improved watermelon quality, the obvious effects were in treatments water-soluble macronutrient fertilizer + biological bacterial manure. Therefore, comprehensive consideration of yield, nutrients uptake and quality of watermelon, it is high yield and quality by application of water-soluble macronutrient fertilizer or it combined application of biological bacterial manure in watermelon in the gravel removal field.

Key words: Watermelon; Gravel removal field; Yield; Nutrients uptake; Quality

收稿日期: 2023-10-24; 修回日期: 2024-04-22

基金项目: 宁夏回族自治区重点研发计划项目(2022BBF02025); 2020年度自治区青年拔尖人才培养工程项目

作者简介: 马英, 女, 研究实习员, 主要研究方向为植物营养与施肥调控。E-mail: maying202310@163.com

通信作者: 杜慧莹, 女, 研究员, 主要研究方向为西甜瓜栽培与育种。E-mail: Nkyzss2016@163.com

赵营, 男, 研究员, 主要研究方向为植物营养与施肥调控。E-mail: tony029@126.com

西瓜全球年产量约 9000 万 t, 是全球第五大水果消费品之一, 同时也是中国重要的经济水果^[1-3]。由于西瓜栽培具有较高的经济效益, 近年来栽培面积一直稳定在高位, 重茬栽培面积日益增加, 连作障碍、西瓜枯萎病等的发生日趋严重^[4-5]。全国西瓜主产区存在化肥氮、磷养分普遍过量, 钾养分过量和不足并存, 氮、磷、钾养分投入中的磷肥比例偏高等问题, 应根据目标产量控制施肥量^[6]。连续施用化肥抑制了西瓜和土壤中的有益细菌生长, 施用有机肥和生物有机肥可以抑制病原菌来缓解这些问题^[7-8]。杜少平等^[9]通过对种植年限较长的砂田西瓜喷施硒肥得出最适施加浓度以保障西瓜产量和品质; 生物菌肥配施有机肥有利于降低连作西瓜田土壤容重, 改善土壤质量^[10]。生物菌肥还能有效防治病原菌对西瓜根区的感染, 增强了西瓜对细菌性枯萎病的抗性, 在缓解西瓜连作障碍方面有很大作用^[11-14]。蔡跃台等^[15]研究表明, 在西瓜叶面喷施沼液肥可实现增产。另外, 水溶性肥料具有水肥同施、以水调肥的特点, 大大提高了作物水肥利用效率^[16]。

压砂田作为我国西北地区一种典型的保护性耕作方法, 具有蓄水保墒、增温保温、减少蒸发、抗风蚀的作用^[17-19], 也可提高土壤生物活性^[20]。经过近 20 年的发展, 宁夏硒砂瓜产业逐渐形成了区域化、规模化发展格局, 且主要分布在中卫市沙坡头区香山地区等。由于硒砂瓜长期连作造成压砂地农田生态系统相对脆弱, 生物多样性降低, 西瓜的品质和产量均呈降低趋势。随着宁夏种植业结构和产业政策的调整, 压砂地的有序退出成为地方产业发展的必然趋势。在退砂田调控根区施肥, 种植高产优质西瓜, 保持硒砂瓜品牌是当下地方产业急需解决的关键问题。因此, 笔者以金城 5 号西瓜为供试作物, 通过田间试验研究了不同施肥处理对退砂田西瓜产量、养分吸收和品质的影响, 以期筛选出合理的施肥调控手段, 为宁夏退砂田西瓜合理施肥提供科学依据。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地位于宁夏中卫市香山乡深井村, 该区域干旱少雨、光照充足, 生长季节日照时数达 1080 h, 有效积温 2 529.3 °C, 5—8 月份昼夜温差一般在 12.6~15.5 °C。平均气温 6.4 °C, 年大于 0 °C 有效积温 3210 °C, 大于 10 °C 活动积温 2 629.4 °C, 年平均日照时数 2 856.4 h, 年太阳总辐射 566.89 kJ·cm⁻²。多

年平均降水量 239 mm, 其中 7、8、9 月的降水量约为 174.7 mm, 约占全年降水量的 66%, 作物生育期 4—10 月降水量为 221.6 mm, 占全年的 95%。历年平均蒸发量为 2 368.8 mm, 平均相对湿度为 54%。退砂前为 15 a(年)以上压砂地西瓜种植, 2022 年 3 月完成清砂整地, 上层熟化土壤受破坏严重。土壤类型为灰钙土, 质地砂壤土。0~20 cm 土壤容重 1.35~1.60 g·cm⁻³, 土壤 pH 值 8.45, 全盐含量(w , 下同) 0.70 g·kg⁻¹, 有机质含量 6.60 g·kg⁻¹, 全氮含量 0.60 g·kg⁻¹, 全磷含量 0.67 g·kg⁻¹, 全钾含量 20.8 g·kg⁻¹, 碱解氮含量 32.5 mg·kg⁻¹, 有效磷含量 9.3 mg·kg⁻¹, 速效钾含量 150.9 mg·kg⁻¹。土壤肥力水平较低, 但无盐碱危害。

1.2 试验设计

1.2.1 试验处理 2022 年 5—8 月, 以金城 5 号西瓜(中卫市金城种业有限责任公司)为供试作物, 于 5 月 16 日移栽定植, 株距 75 cm, 行距 200 cm, 栽植行覆盖 120 cm 黑膜防草保墒, 膜下铺设滴灌带, 8 月 12 日收获。种植前施肥处理(CK 除外), 统一进行土壤改良培肥, 施用商品有机肥 15 t·hm⁻²[商品“稼之芯”有机肥, (N+P₂O₅+K₂O) 含量≥5.2%, 水溶性腐殖酸含量≥13.9%, 有机质含量≥73%, 高氨基酸, 银川仁达无害化处理有限公司生产]西瓜专用缓释复合肥 375 kg·hm⁻² (21-14-16), 旋耕 20 cm, 西瓜生育期进行水肥一体化滴灌追肥, 水肥运筹时期和方式参照表 1。设置 5 个施肥处理: CK-对照, 不施用任何肥料; 水溶肥-大量元素水溶肥 Water-soluble macronutrient fertilizer (WSMF), 西瓜生育前期采用 28-10-12 的高氮配方[(N+P₂O₅+K₂O) 含量≥50%], 生育中后期采用 11-6-35 [(N+P₂O₅+K₂O) 含量≥52%]的高钾配方, 总用量 375 kg·hm⁻², 云南聚合云天化肥有限公司生产; 水溶肥+生物菌肥 Water-soluble macronutrient fertilizer + biological bacterial manure (WSMF + BBM): 在水溶肥的基础上配施生物菌肥, 生物菌肥为液体型多黏类芽孢杆菌, 有效菌数≥5 亿·mL⁻¹, 总用量 75 kg·hm⁻², 宁夏九昇生物科技产业开发有限公司生产; 生物菌肥 Biological bacterial manure (BBM): 同以上生物菌肥及用量; 沼液肥 Biogas slurry fertilizer (BSF): (N+P₂O₅+K₂O) 含量≥160 g·L⁻¹ (162-1.2-2.7), 氨基酸含量≥100 g·L⁻¹, (Ca+Mg) 含量≥30 g·L⁻¹, (Fe+Zn+Si) 含量≥16 g·L⁻¹, 总用量 375 kg·hm⁻², 宁夏顺宝现代农业股份有限公司生产。为了统一水肥管理, 采用田间大区对比试验, 随机排列, 每个施肥处理面积为 300 m² (2 m×150 m)。

表1 退砂田西瓜生育期间水肥一体化运筹方案(嫁接苗)

Table 1 Drip fertigation plan during watermelon growing period in the gravel removal field (grafted seedling)

生育期 Childbearing period	时期 Time	滴灌量 Drip irrigation volume/ (m ³ ·hm ⁻²)	灌水次数 Watering times	施肥次数 Fertilization times	水溶肥或沼液肥 WSMF or BSF/ (kg·hm ⁻²)	生物菌肥 BBM/ (kg·hm ⁻²)	水溶肥配方(N-P-K) Formula of WSMF
移栽定植 Transplantation	5月中旬 Mid-May	150	1	0	0	0	
苗期 Seedling stage	5月下旬 Late May	375	1	0	0	0	
伸蔓期 Stretching stage	6月上旬 Early June	375	2	1	75	15	28-10-12
	6月中旬 Mid-June	375	2	1	75	15	28-10-12
坐果期 Fruiting period	6月下旬 Late June	450	3	1	75	15	11-6-35
果实膨大期 Fruit swelling period	7月上旬 Early July	450	6	1	75	15	11-6-35
转色期 Color transition period	7月中下旬 Mid to late July	450	2	1	75	15	11-6-35
	8月上旬 Early August	375	3	0	0	0	
合计 Total		3000	18	5	375	75	

1.2.2 样品采集与测定 在西瓜成熟期(每株坐瓜1个),每个处理随机采集30个西瓜,3次重复,测定其单瓜质量,并折算其单位面积产量。同时采集地上部植株,烘干称质量折算其干生物量。西瓜经济部分和地上部植株样采用H₂SO₄-H₂O₂消煮,半微量凯氏定氮法测定全氮含量,钼锑抗比色法测定全磷含量,火焰光度计法测定全钾含量。采用2,6-二氯酚酚滴定法(GB 5009.86—2016)测定西瓜维生素C含量;采用3,5-二硝基水杨酸比色法(NY/T 2742—2015)测定总糖含量;采用酸碱滴定法(GB/T 12456—2008)测定总酸含量。

肥料利用率/%=(施肥处理地上部养分吸收-CK地上部养分吸收)/氮磷钾纯养分量×100。

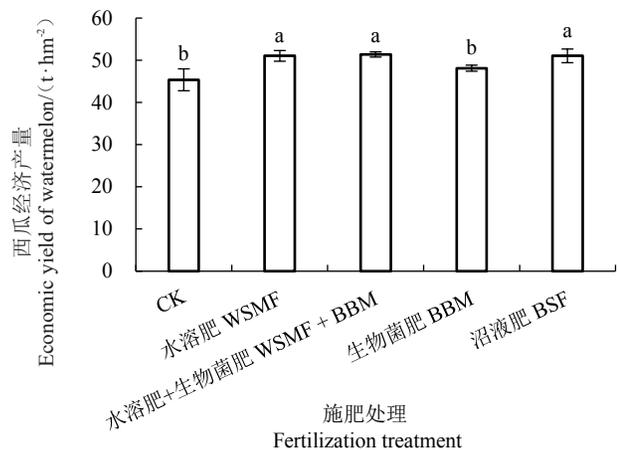
1.3 数据处理与分析

采用Excel 2010软件整理数据和作图,采用DPS 19.1软件进行统计分析,多重比较采用Duncan新复极差法,两变量采用Pearson相关分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理下退砂田西瓜经济产量

从图1可看出,不同施肥处理下西瓜经济(果实)产量为45.4~51.4 t·hm⁻²,产量表现为水溶肥+生物菌肥>水溶肥=沼液肥>生物菌肥,与CK和生物菌肥处理相比,水溶肥、水溶肥+生物菌肥和沼液肥处理均可显著提高西瓜经济产量,分别比CK增



注:不同小写字母表示不同施肥处理间差异显著($p < 0.05$)。

Note: Different small letters indicate significant differences among different fertilization treatments at 0.05 level.

图1 不同施肥处理下退砂田西瓜经济产量

Fig. 1 Economic yield of watermelon in the gravel removal field with different fertilization treatments

产12.5%、13.2%、12.5%,分别比生物菌肥处理增产了6.1%、6.8%、6.1%。水溶肥+生物菌肥、水溶肥+沼液肥处理间西瓜经济产量差异不显著,但单施生物菌肥较水溶肥+生物菌肥配施显著减产了6.3%。因此,在退砂田西瓜种植中,采用大量元素水溶肥和沼液肥可实现西瓜高产,且配施生物菌肥的效果更好。

2.2 不同施肥处理下退砂田西瓜氮、磷、钾养分的吸收利用

由表 2 可知,相对于 CK 处理,除施用生物菌肥外,其他施肥处理均可显著促进西瓜植株、果实和地上部氮吸收,植株氮吸收表现为:水溶肥+生物菌肥>水溶肥>沼液肥>生物菌肥,而果实和地上部氮吸收均表现为:水溶肥>水溶肥+生物菌肥>沼液肥>生物菌肥。相对于 CK 和生物菌肥处理,仅水溶肥+生物菌肥可显著促进植株磷吸收,分别提高了 55.9%、73.3%;与 CK 和生物菌肥处理相比,水溶肥处理显著促进了果实和地上部磷吸收,水溶肥处理果实磷吸收分别提高了 20.9%、11.8%,水溶肥处理地上部磷吸收分别提高了 25.0%、20.7%;西瓜地上部磷吸收表现为:水溶肥>沼液肥>水溶肥+生物菌

肥>生物菌肥>CK,水溶肥和沼液肥均可显著促进西瓜地上部磷吸收。不同施肥处理下,西瓜植株、果实和地上部钾吸收量各有差异。与生物菌肥处理相比,水溶肥+生物菌肥可显著促进植株钾的吸收累积提高了 61.5%,但生物菌肥处理与其他施肥处理之间无显著差异;与 CK 处理相比,水溶肥和水溶肥+生物菌肥处理果实钾吸收量分别显著提高了 19.7%、22.5%,地上部钾吸收量分别显著提高了 23.2%、26.2%,但各施肥处理间差异均不显著。总体而言,水溶肥或其配施生物菌肥对西瓜钾吸收累积具有显著提升效果。

由表 2 还可看出,西瓜果实和地上部养分氮、磷、钾吸收表现为:K>N>P,西瓜植株养分氮、磷、钾吸收表现为 N>K>P。不同施肥处理下,果实氮、磷、

表 2 不同施肥处理下退砂田西瓜氮磷钾养分吸收与肥料利用率

Table 2 Nitrogen, phosphorus and potassium nutrients uptake and fertilizers utilization efficiency of watermelon in the gravel removal field with different fertilization practices

处理 Fertilization treatment	施氮量 Nitrogen application rate/(kg·hm ⁻²)	植株氮吸收量 Plant nitrogen uptake/ (kg·hm ⁻²)	果实氮吸收量 Fruit nitrogen uptake/ (kg·hm ⁻²)	地上部氮吸收量 Aboveground nitrogen uptake/ (kg·hm ⁻²)	氮肥利用率 Nitrogen fertilizer utilization rate/%
CK	0	26.7±1.9 b	60.6±5.3 c	87.2±6.8 c	
水溶肥 WSMF	145.5	41.9±9.8 a	81.7±2.2 a	123.6±12.0 a	31.2±3.1 a
水溶肥+生物菌肥 WSMF + BBM	145.5	46.0±3.3 a	73.3±4.2 b	119.4±3.9 a	25.0±4.8 ab
生物菌肥 BBM	0	26.8±6.3 b	69.4±2.5 b	96.2±8.6 bc	
沼液肥 BSF	139.5	40.5±6.5 a	70.6±2.4 b	111.1±7.9 ab	20.8±0.5 b
处理 Fertilization treatment	施磷量 Phosphorus application rate/(kg·hm ⁻²)	植株磷吸收量 Plant phosphorus uptake/(kg·hm ⁻²)	果实磷吸收量 Fruit phosphorus uptake/(kg·hm ⁻²)	地上部磷吸收量 Aboveground phospho- rus uptake/(kg·hm ⁻²)	磷肥利用率 Phosphorus fertilizer utilization rate/%
CK	0	2.6±0.4 b	8.6±0.3 c	11.2±0.6 c	
水溶肥 WSMF	81.0	3.6±1.2 ab	10.4±0.2 a	14.0±1.1 a	7.9±3.1 b
水溶肥+生物菌肥 WSMF + BBM	81.0	4.1±1.0 a	8.7±0.6 c	12.8±1.0 abc	4.6±2.6 b
生物菌肥 BBM	0	2.3±0.7 b	9.3±0.1 bc	11.6±0.7 bc	
沼液肥 BSF	53.0	3.5±1.1 ab	10.0±0.7 ab	13.4±1.7 ab	15.5±0.8 a
处理 Fertilization treatment	施钾量 Potassium application rate/ (kg·hm ⁻²)	植株钾吸收量 Plant potassium uptake/(kg·hm ⁻²)	果实钾吸收量 Fruit potassium uptake/(kg·hm ⁻²)	地上部钾吸收量 Aboveground potassium uptake/(kg·hm ⁻²)	钾肥利用率 Potassium fertilizer utilization rate/%
CK	0	25.0±3.0 ab	98.3±7.9 b	123.3±9.7 b	
水溶肥 WSMF	156.8	34.2±11.7 ab	117.6±15.3 a	151.9±26.7 a	23.1±12.9 a
水溶肥+生物菌肥 WSMF + BBM	156.8	35.2±8.3 a	120.4±4.7 a	155.6±12.0 a	29.7±9.7 a
生物菌肥 BBM	0	21.8±1.0 b	117.7±11.2 a	139.5±11.7 ab	
沼液肥 BSF	61.0	29.3±2.5 ab	113.9±0.6 ab	143.2±2.8 ab	39.2±16.4 a

注:同一列不同小写字母表示不同处理间差异显著($p < 0.05$)。下同。

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

钾吸收量占地上部总吸收量比例分别为 61.4%~72.1%、68.0%~80.2%、77.4%~84.4%，养分累积主要在果实中。不同施肥处理下退砂田西瓜的氮、磷、钾肥利用率分别为 20.8%~31.2%、4.6%~15.5%、23.1%~39.2%，钾肥利用率相对较高，磷肥利用率最低。水溶肥有利于提高西瓜氮肥利用率，而沼液肥有利于提高磷肥和钾肥利用率。

2.3 不同施肥处理下退砂田西瓜品质分析

由表 3 可知,不同施肥处理下西瓜总糖、总酸和维生素 C 含量(w,后同)分别为 113.5~121.0 mg·g⁻¹、

0.43~0.66 g·kg⁻¹、51.3~85.0 mg·kg⁻¹。与 CK 相比,施肥处理均可显著提高西瓜总糖和维生素 C 含量;除沼液肥外,其他施肥均可显著提高西瓜总酸含量,而施肥处理之间西瓜总糖、总酸和维生素 C 含量差异均不显著。因此,通过施肥调控可显著提高退砂田西瓜品质。

从图 2 可看出,退砂田西瓜的总糖与总酸、维生素 C 含量之间均呈显著或极显著正相关,相关系数 R² 分别为 0.289 9、0.604 6,说明通过施肥处理可协同调控退砂田西瓜品质,并兼顾西瓜产量的提高。

表 3 不同施肥处理下退砂田西瓜品质指标
Table 3 Quality of watermelon in the gravel removal field with different fertilization practices

处理 Treatment	w(总糖) Total sugar content/(mg·g ⁻¹)	w(总酸) Total acid content/(g·kg ⁻¹)	w(维生素 C) Vitamin C content/(mg·kg ⁻¹)
CK	113.5±2.5 b	0.43±0.06 b	51.3±14.7 b
水溶肥 WSMF	118.5±1.5 a	0.66±0.08 a	84.1±2.4 a
水溶肥+生物菌肥 WSMF + BBM	119.3±0.6 a	0.63±0.09 a	85.0±10.0 a
生物菌肥 BBM	121.0±1.0 a	0.64±0.10 a	80.1±5.5 a
沼液肥 BSF	119.3±1.5 a	0.55±0.15 ab	83.3±5.5 a

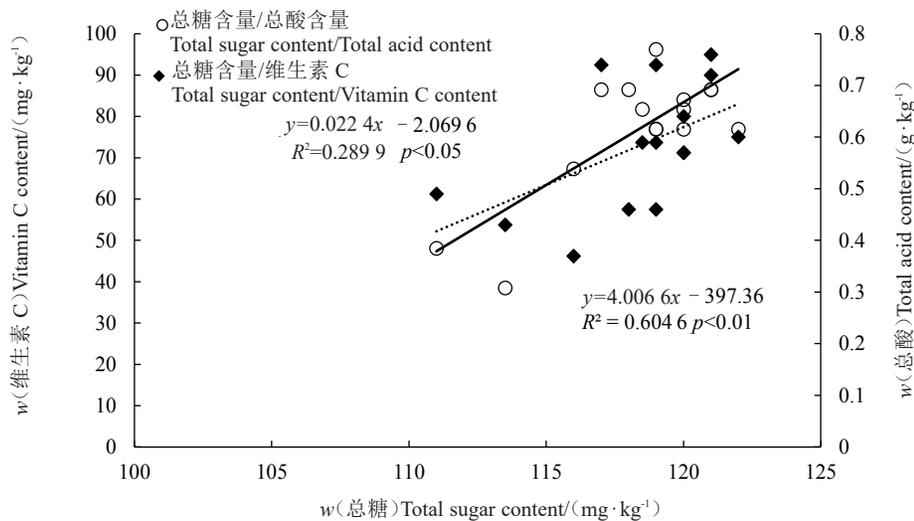


图 2 不同施肥处理下退砂田西瓜总糖与总酸、维生素 C 含量之间的相关性

Fig. 2 Correlations between total sugar, total acid and vitamin C contents in watermelon in the gravel removal field with different fertilization practices

3 讨论与结论

过量施用化肥会造成蔬菜和水果品质下降,同时降低了肥料利用率^[21]。研究表明,施肥提高了酸性磷酸酶活性和有机磷利用率,增加了西瓜侧根数^[22],有机肥还可提高设施西瓜田的土壤肥力,与菌肥配施也可有效提升拱棚西瓜的产量和品质^[23-24]。生物菌肥作为一种新型肥料,可有效提高土壤肥力

和肥料利用率、西瓜产量和品质,改善连作西瓜土壤质量,实现农业系统的可持续发展^[25-27]。水溶性肥料也可改善土壤肥力和土壤微生物群落结构^[28],海藻水溶肥可提高西瓜产量并保证其养分吸收^[29]。在本试验中,水溶肥和沼液肥的增产效果明显,且配施生物菌肥效果更好,单施生物菌肥比水溶肥+生物菌肥配施的西瓜减产 6.3%。沼液肥作为一种生物有机肥含有丰富的营养元素,也可提高作物产

量和品质^[15,30-32],还可降低根际土壤中病原菌数量,促进西瓜生长^[33],这与本研究结果基本一致。

冯敬涛等^[34]对苹果施加生物菌肥提高了植株全氮、全磷和全钾含量,对苹果的生长起到积极作用。与单施化肥相比,不同类型的有机肥也可促进西瓜养分吸收和运转,显著提高了西瓜产量、养分吸收累积量和肥料利用率^[35-36]。在本研究中,不同施肥处理均不同程度地促进了西瓜养分吸收,总体来看,西瓜 N 和 P 吸收量在水溶肥处理下相对较高,K 在水溶肥+生物肥处理下较高。尽管采用了膜下滴灌追肥技术,但西瓜氮、磷、钾肥利用率仅分别为 20.8%~31.2%、4.6%~15.5%、23.1%~39.2%,因此氮、磷、钾化肥均有较大减量优化空间,尤其是磷肥减量幅度更大。西瓜不同生长期对养分的分配和吸收比例不同,以钾最多,氮次之,磷最少,且砂地西瓜在坐果前以氮吸收为主,坐果后以钾吸收为主^[37-38]。在本试验中,不同施肥处理西瓜果实和地上部养分含量均表现为钾>氮>磷,而西瓜植株养分含量则是氮>钾>磷,说明退砂田西瓜不同器官对养分的需求量不同。

有研究表明,在番茄中添加生物肥料,可以减少无机肥用量且提高了果实品质^[39],生物菌肥在提高西瓜产量和品质、抑制病害、缓解西瓜连作障碍方面也有一定的积极作用^[11,40]。本研究结果证实,通过水溶肥、沼液肥和生物菌肥等施肥调控处理可显著提高西瓜总糖、总酸和维生素 C 含量,且总糖与总酸、维生素 C 含量之间呈显著或极显著正相关。这可能是含氨基酸水溶肥丰富了小果型西瓜土壤微生物群落功能多样性,增强了土壤酶活性,从而提升了果实品质^[41],同时施用生物有机肥和沼液肥可有效促进西瓜营养代谢均衡,提高糖分和果实维生素 C 含量,最终改善西瓜品质^[42-43]。水分也是影响西瓜产量和品质的关键因素,过多的水分会降低西瓜果实品质^[44]。研究表明,通过滴灌与 N、P、K 肥耦合可节约水资源,提高西瓜产量和品质及水肥利用效率^[45-46],本研究结果也证实水肥一体化促进了西瓜养分吸收,改善了西瓜品质。

因此,退砂田西瓜根区滴灌施肥调控可实现西瓜水肥高效利用和产量品质协同提升。综合来看,采用水溶肥处理+生物菌肥更有利于提高退砂田西瓜产量,改善西瓜品质。但根据退砂田西瓜目标产量确定其施肥总量,以及全生育期水肥运筹策略优化方面还需要深入研究。

参考文献

- [1] 李干琼,王志丹.我国西瓜产业发展现状及趋势分析[J].中国瓜菜,2019,32(12):79-83.
- [2] 冯翠娥,岳思君,简阿妮,等.硒砂瓜连作对土壤真菌群落结构的影响[J].中国生态农业学报(中英文),2019,27(4):537-544.
- [3] MANDAL M K, SUREN H, KOUSIK C. Elucidation of resistance signaling and identification of powdery mildew resistant mapping loci (*ClPMR2*) during watermelon-*Podosphaera xanthii* interaction using RNA-Seq and whole-genome resequencing approach[J]. Scientific Reports, 2022, 12(1):20464.
- [4] EVERTS K L, HIMMELSTEIN J C. *Fusarium* wilt of watermelon: Towards sustainable management of a re-emerging plant disease[J]. Crop Protection, 2015, 73:93-99.
- [5] ZHU F Y, XIAO J L, ZHANG Y, et al. Dazomet application suppressed watermelon wilt by the altered soil microbial community[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1):21668.
- [6] 包蕾,张赛峰,秦济民,等.基于西瓜产量的推荐施肥量及化肥减施潜力分析[J].植物营养与肥料学报,2022,28(9):1558-1568.
- [7] ZHANG H Q, ZHENG X Q, WANG X T, et al. Effect of fertilization regimes on continuous cropping growth constraints in watermelon is associated with abundance of key ecological clusters in the rhizosphere[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2022, 339: 108135.
- [8] DU S P, MA Z M, CHEN J, et al. Effects of organic fertilizer proportion on the distribution of soil aggregates and their associated organic carbon in a field mulched with gravel[J]. Scientific Reports, 2022, 12: 11513.
- [9] 杜少平,马忠明,薛亮.喷施硒肥对砂田西瓜产量、品质及养分吸收的影响[J].果树学报,2020,37(5):705-713.
- [10] 顾欣,孙权,王锐,等.菌肥与有机肥配施对拱棚西瓜土壤的改良效果[J].干旱地区农业研究,2017,35(3):219-225.
- [11] 凌宁,王秋君,杨兴明,等.根际施用微生物有机肥防治连作西瓜枯萎病研究[J].植物营养与肥料学报,2009,15(5):1136-1141.
- [12] 解静,杨凤丽,陈丽萍,等.施用不同微生物菌肥对设施连作西瓜农艺性状的影响[J].浙江农业科学,2014(11):1709-1711.
- [13] 张曼,郝科星,张焕,等.菌肥与生物炭配施对设施西瓜生长及土壤理化性质的影响[J].中国瓜菜,2023,36(5):72-77.
- [14] 沈婷婷,张琇,杨国平,等.生防菌剂对西瓜根际土壤微生物群落和尖孢镰刀菌属的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2023,51(7):115-125.
- [15] 蔡跃台,陈伟祥,徐象华,等.西瓜叶面喷施沼液肥效果试验[J].北方园艺,2009(10):95-97.
- [16] 冯先明,王保明,彭全,等.我国水溶肥的发展概况与建议[J].现代化工,2018,38(1):6-11.
- [17] 李艳,史舟,徐建明,等.地统计学在土壤科学中的应用及展望[J].水土保持学报,2003,17(1):178-182.
- [18] 张娟,吴宏亮,康建宏,等.不同种植模式对新压砂瓜田土壤养分和土壤酶活性的影响[J].干旱地区农业研究,2014,32(2):107-113.

- [19] 王建宇,王超,王菲,等.基于田间尺度的压砂地土壤肥力评价[J].土壤通报,2015,46(1):36-41.
- [20] LI X Y. Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid loess region of northwest China[J]. Catena, 2003, 52(2):105-127.
- [21] CHEN X H, MA L, MA W Q, et al. What has caused the use of fertilizers to skyrocket in China? [J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2018, 110(2):241-255.
- [22] WANG B S, WANG Y, SUN Y, et al. Watermelon responds to organic fertilizer by enhancing root-associated acid phosphatase activity to improve organic phosphorus utilization[J]. Journal of Plant Physiology, 2022, 279:153838.
- [23] 顾欣,何继涛,曹云娥,等.有机肥与菌肥配施对拱棚西瓜生长和品质的影响[J].北方园艺,2016(18):39-43.
- [24] 韩聪颖,马永杰,张雪艳.有机-无机肥耦合滴灌对设施西瓜产量品质及土壤肥力的影响[J].江苏农业科学,2023,51(1):161-167.
- [25] SINGH M, SINGH D, GUPTA A, et al. Plant growth promoting rhizobacteria: Application in biofertilizers and biocontrol of phytopathogens[M]//AMIT KISHORE SINGH, AJAY KUMAR, PAWAN KUMAR SINGH. PGPR Amelioration in Sustainable Agriculture: Food Security and Environmental Management. Cambridge: Woodhead Publishing, 2019:41-66.
- [26] ZHENG X Q, WEI L, LV W G, et al. Long-term bioorganic and organic fertilization improved soil quality and multifunctionality under continuous cropping in watermelon[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2024, 359:108721.
- [27] ZHAO J, WANG Y G, LIANG H, et al. The rhizosphere microbial community response to a bio-organic fertilizer: Finding the mechanisms behind the suppression of watermelon *Fusarium wilt* disease[J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2018, 40(1):17.
- [28] NIU H, PANG Z Q, FALLAH N, et al. Diversity of microbial communities and soil nutrients in sugarcane rhizosphere soil under water soluble fertilizer[J]. PLOS ONE, 2021, 16(1): e0245626.
- [29] 朱迎春,安国林,李卫华,等.海藻酸水溶肥对西瓜生长及产量的影响[J].果树学报,2020,37(12):1898-1906.
- [30] 张璘玮,伍钧,杨刚,等.猪粪沼液连续定位施用对油菜产量及菜籽品质的影响[J].农业环境科学学报,2014,33(3):562-568.
- [31] DE FRANÇA A A, VON TUCHER S, SCHMIDHALTER U. Effects of combined application of acidified biogas slurry and chemical fertilizer on crop production and N soil fertility[J]. European Journal of Agronomy, 2021, 123:126224.
- [32] TANG J, YIN J Z, DAVY A J, et al. Biogas slurry as an alternative to chemical fertilizer: Changes in soil properties and microbial communities of fluvo-aquic soil in the North China Plain[J]. Sustainability, 2022, 14:15099.
- [33] CAO Y, WANG J D, WU H S, et al. Soil chemical and microbial responses to biogas slurry amendment and its effect on *Fusarium wilt* suppression[J]. Applied Soil Ecology, 2016, 107:116-123.
- [34] 冯敬涛,于天武,吴晓娴,等.微生物菌肥对苹果土壤理化特性及养分吸收的影响[J].北方园艺,2021(2):97-102.
- [35] 杜少平,马忠明,薛亮.不同有机肥对砂田西瓜产量、品质和养分吸收的影响[J].应用生态学报,2019,30(4):1269-1277.
- [36] 蒲瑶瑶,吕秀敏,邬梦成,等.熏蒸条件下有机肥部分替代化肥对西瓜生长及养分利用的影响[J].水土保持学报,2017,31(6):306-311.
- [37] 诸海燕,蔡树美,余廷园,等.中小型西瓜不同生育期对氮磷钾的吸收分配规律研究[J].上海农业学报,2014,30(3):62-65.
- [38] 杜少平,马忠明,薛亮.砂田西瓜矿质养分吸收规律[J].中国瓜菜,2020,33(12):44-47.
- [39] SETIAWATI M R, AFRILANDHA N, HINDERSAH R, et al. The effect of beneficial microorganism as biofertilizer application in hydroponic-grown tomato[J]. Sains Tanah, 2023, 20(1):66-77.
- [40] 朱诗君,王丽丽,金树权,等.微生物菌剂菌肥对西瓜连作障碍的缓解作用[J].中国农学通报,2023,39(28):48-53.
- [41] 徐国益,贾凤芹,王平勇,等.不同浓度含氨基酸水溶肥对小果型西瓜根际土壤环境及果实品质的影响[J].中国瓜菜,2022,35(3):36-42.
- [42] 张凤英,杜芝芝,和加卫,等.生物有机肥对大棚西瓜生长特性及品质的影响[J].北方园艺,2016(14):51-57.
- [43] 张纪涛,史向远,王林,等.沼液配肥对砂培西瓜生长、品质及重金属累积的影响[J].北方园艺,2023(17):47-53.
- [44] LI H, YANG X Z, CHEN H J, et al. Water requirement characteristics and the optimal irrigation schedule for the growth, yield, and fruit quality of watermelon under plastic film mulching[J]. Scientia Horticulturae, 2018, 241:74-82.
- [45] WANG X C, LIU R, LUO J N, et al. Effects of water and NPK fertigation on watermelon yield, quality, irrigation-water, and nutrient use efficiency under alternate partial root-zone drip irrigation[J]. Agricultural Water Management, 2022, 271:107785.
- [46] BAO L, ZHANG S F, LIANG X Y, et al. Intelligent drip fertigation increases water and nutrient use efficiency of watermelon in greenhouse without compromising the yield[J]. Agricultural Water Management, 2023, 282:108278.