

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

徐国益¹, 贾凤芹^{1,2}, 王平勇¹, 于会丽¹, 邵微^{1,3}, 谢宁¹, 徐志红¹, 司鹏¹

(1. 中国农业科学院郑州果树研究所 郑州 450009; 2. 河南科技学院 河南新乡 453003;
3. 河南农业大学林学院 郑州 450002)

摘要: 为进一步研究含氨基酸水溶肥对西瓜根际微生物群落的作用, 通过大田试验分析不同浓度含氨基酸水溶肥(氨基酸含量(ρ , 后同) $\geq 100 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, 钙+镁含量 $\geq 30 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$, 试验共分 4 个处理, CK: 传统均衡型水溶肥; T1: 含氨基酸水溶肥浓度(w , 后同)为 0.200%; T2: 含氨基酸水溶肥浓度为 0.125%; T3: 含氨基酸水溶肥浓度为 0.100%)对小果型西瓜根际土壤环境及果实品质的影响。结果表明, 各处理根际土壤微生物活力、群落功能多样性指数、6 大类碳源的利用强度均高于对照。微生物碳源利用偏好被改变, 其中 T2 对各种碳源的利用较为均衡。与对照相比, 各含氨基酸水溶肥处理土壤酶活性均有提高, 且蔗糖酶、 β -葡萄糖苷酶、纤维素酶、土壤脲酶、碱性磷酸酶活性均显著高于对照。各处理单果质量比对照提高 7.78%~34.73%。T2 维生素 C 含量最高, 分别比其他处理提高 27.17%~76.00%。T1、T2 可溶性糖含量显著高于 CK。综合分析, 含氨基酸水溶肥浓度为 0.125% 的处理在改善植物根际土壤微生物功能多样性、提高土壤酶活性、改善果实品质上效果最佳。

关键词: 小果型西瓜; 含氨基酸水溶肥; 微生物功能多样性; 土壤酶活性; 果实品质

中图分类号: S651 文献标志码: A 文章编号: 1673-2871(2022)03-036-07

Effects of amino acid concentration in water-soluble fertilizer on the rhizosphere soil environment and quality of small fruit watermelon

XU Guoyi¹, JIA Fengqin^{1,2}, WANG Pingyong¹, YU Huili¹, SHAO Wei^{1,3}, XIE Ning¹, XU Zhihong¹, SI Peng¹

(1. Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China; 2. Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, Henan, China; 3. College of Forestry, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, Henan, China)

Abstract: Field experiments were conducted to analyze the effects of amino acid concentration in water-soluble fertilizer on the rhizosphere soil environment and quality of small fruit watermelon. The experiment included four treatments, CK, the conventional fertilization; T1, 0.200% amino acid in water-soluble fertilizer; T2: 0.125% amino acid in water-soluble fertilizer; T3, 0.100% amino acid in water-soluble fertilizer. The results showed that microbial activity of rhizosphere soil in all three amino acid treatments was higher than that of the CK. The Shannon, Simpson and Pielou indexes of microbial community functional diversity in all treatments were also significantly higher than those of CK. The utilization intensity of the six types of carbon sources by the microorganisms in each treatment was higher than that of the CK, and the preference for the use of microbial carbon sources was changed by adding amino acid in water-soluble fertilizer. More balanced utilization of various carbon sources was observed with T2 treatment. The soil enzyme activities of all treatments were improved, and the activities of invertase, β -glucosidase and alkaline phosphatase were significantly higher than those of the control. The fruit weight of the treatment was 7.78%-34.73% higher than that of CK. T2 had the highest vitamin C content, 27.17%-76.00% higher than other treatments. The soluble solids content of T1 and T2 was significantly higher than that

收稿日期: 2021-10-08; 修回日期: 2021-12-16

基金项目: 河南省现代农业产业技术体系项目; 中国农业科学院科技创新工程专项经费项目(CAAS-ASTIP-2021-ZFRI); 南疆重点产业创新发展支撑计划(2021DB013); 郑州市科技惠民计划项目(2020kjhm0034)

作者简介: 徐国益, 男, 助理研究员, 从事果树营养与施肥技术研究。E-mail: xuguoyi@caas.cn

通信作者: 徐志红, 女, 研究员, 研究方向为西瓜新品种遗传育种。E-mail: xuzhihong@caas.cn

司鹏, 男, 副研究员, 从事果树营养与施肥技术研究。E-mail: sipeng@caas.cn

of CK. Based on all the results of this experiment the treatment containing 0.125% amino acid in water-soluble fertilizer best improved rhizosphere soil microbial functional diversity, increased soil enzyme activity and improved fruit quality.

Key words: Small fruit watermelon; Amino acid-containing water-soluble fertilizer; Microbial functional diversity; Soil enzyme activity; Fruit quality

西瓜是世界重要的水果之一,我国西瓜年栽培面积和总产量均居世界第一^[1]。小果型西瓜作为市场新宠,单果质量 1~3 kg,有“袖珍西瓜”“迷你西瓜”等称号,具有果形美观小巧、肉质细嫩多汁、含糖量高等特点,作为夏季高档礼品瓜而深受广大消费者的喜爱^[2-3]。种植小果型西瓜已经成为乡村振兴和果农增收的重要方式^[4]。但部分果农为追求经济效益,盲目施用化肥,导致土壤微生物群落结构失衡、土壤酶活性降低、土壤盐渍化加剧,严重影响到西瓜的产量与品质^[5]。为促进西瓜产业可持续发展,解决盲目施肥带来的各种问题,已有研究表明,海藻酸、氨基酸等肥料增效物质能够成为化肥减施增效的重要方案^[6]。

含氨基酸水溶肥料是由氨基酸、微量元素等组成的新型水溶肥料之一,配方多样,水溶性好,无残留,对环境及人畜安全无污染,且喷施滴灌均可,使用方便^[7]。不仅可以提高果蔬产量、改善品质,还能改良碱性土壤,适合北方盐碱地施用^[8]。董胜旗等^[9]指出,含氨基酸水溶肥可以使草莓长势、抗逆性、果实品质提高,草莓总可溶性固形物、维生素 C 和可溶性糖含量提高,还能降低可滴定酸和硝酸盐含量。王蓓等^[10]试验表明,灌施含氨基酸水溶肥料提高了辣椒和豇豆的生长量、产量和品质,同时改善了土壤的微生物活性,使土壤中磷酸酶的活性增强。王学君等^[11]在盐碱地小麦田中应用含氨基酸水溶肥,能够有效增加小麦的产量、提升经济效益。目前,在小果型西瓜上应用含氨基酸水溶肥的试验研究还未见报道,而其他作物上的含氨基酸水溶肥应用试验对作物根际土壤的影响研究不够深入。笔者以小西瓜美颜为材料,研究不同浓度下含氨基酸水溶肥对西瓜根际土壤微生物群落结构、酶活性及果实产量、品质的影响,为进一步研究含氨基酸水溶肥对西瓜根际微生物群落的调控奠定基础、为西瓜产业减肥增效提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地点与材料

试验于 2021 年 3 月在中国农业科学院郑州果树研究所新乡试验基地设施西瓜甜瓜遗传育种课题组试验大棚中进行。

供试小果型西瓜品种为美颜,由中国农业科学院郑州果树研究所选育,其果肉红黄双色,肉质酥脆,口感好,当年 5 月采收。

试验所用氨基酸水溶肥为中国农业科学院郑州果树研究所果树营养课题组研制的果树瓜类专用肥(氨基酸含量 $\geq 100 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$,钙+镁含量 $\geq 30 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$)。

土壤为砂土,初始理化性质如表 1 所示。

表 1 土壤初始理化性质

参数	w(有机质)/%	w(硝态氮)/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	w(铵态氮)/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	w(有效磷)/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	w(速效钾)/($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	pH
数值	0.85	25.33	19.31	51.30	197.80	7.97

1.2 试验设计

试验设 4 个处理,CK:传统施肥对照(使用农民习惯施用的均衡型水溶肥,20-10-20,用量为 $10 \text{ kg} \cdot 667 \text{ m}^{-2}$); T1:含氨基酸水溶肥浓度为 0.200%, $60 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$; T2:含氨基酸水溶肥浓度为 0.125%, $37.5 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$; T3:含氨基酸水溶肥浓度为 0.100%, $30 \text{ L} \cdot \text{hm}^{-2}$;每个处理 3 次重复,共设 12 个小区,各小区完全随机排列。西瓜定植株行距为 $50 \text{ cm} \times 2 \text{ m}$,每个小区 30 株,吊蔓栽培。西瓜坐果后,用施肥枪在根系注射施用。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 土壤取样方法 于西瓜成熟期,从各处理根际采集土壤并分别混匀,将各处理土壤分为 2 份,置入低温保温箱送回实验室进行分析。1 份在室内自然风干后过 100 目筛测定土壤酶活性;1 份直接用于测定微生物功能多样性特征。

1.3.2 土壤微生物功能多样性的测定 利用 BioLog-ECO 微平板测定微生物活性、微生物功能多样性^[12]。取相当于 10 g 干土的鲜土 3 份分别放入三角瓶中,每瓶混合 90 mL 灭菌生理盐水,用无菌棉密封并在恒温摇床中以 $200 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 震荡 30 min,静置 20 min 后,在超净工作台中用移液枪吸取 10 mL 上清液,加入 90 mL 无菌生理盐水混匀。采用逐步稀释法将土壤悬浮液稀释至 $10^{-3} \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。将所制备的土壤悬浮液混和后,接种于 BioLog-ECO 微平板的小孔中(每孔接种 150 μL)。将接种好的 BioLog-ECO 微平板置于 $28 \text{ }^\circ\text{C}$ 恒温培养箱中,每 24 h 测定各孔在 590 nm 处的吸光度。吸光度记录至第 192 h。

Biolog-Eco 微平板的平均每孔颜色变化率 (AWCD) 可以用来表示微生物活性以及利用单一碳源的能力^[13], 计算公式:

$$AWCD = \sum (C_i - R) / 31. \quad (1)$$

C_i 为第 i 个反应孔在 590 nm 下的吸光值; R 为对照孔 A1 的吸光值; $C_i - R$ 小于 0 的孔的吸光值均记为 0, 即 $C_i - R$ 的值均大于等于 0。

试验采用微平板 96 h 的数据进行微生物多样性指数分析, 并描述以下指数: Shannon 指数 (H')、Simpson 指数 (D)、McIntosh 指数 (U)、丰富度指数 (S) 以及 Pielou 指数 (E)^[14]。

Shannon 指数是研究群落中微生物种类及其分布的数量和分布均匀性的综合指标, 计算公式为: $H' = -\sum (P_i \cdot \log P_i)$ 。

公式中, $P_i = (C_i - R) / \sum (C_i - R)$ 。 (2)

Simpson 指数 (D) 被用来评估物种分散度, 该指数对微生物物种的分散程度敏感, 若各微生物多样性相近, 则反映不同物种的数量差, 计算公式为:

$$D = 1 - \sum P_i^2. \quad (3)$$

McIntosh 指数 (U) 被用来表征群落物种均匀性, 计算公式为:

$$U = \sqrt{\sum N_i^2}. \quad (4)$$

公式中, N_i 表示第 i 孔的相对吸光值 ($C_i - R$)。

丰富度指数 (S) 表明 Biolog 平板上 31 种碳源的利用情况。

Pielou 指数 (E) 被用来表示物种相对密度, 计算公式为:

$$E = H' / \ln S. \quad (5)$$

根据化学官能团的性质, 将 Biolog-Eco 板上的 31 种碳源分成 6 类, 即碳水化合物类、氨基酸类、羧酸类、多聚物类、多酚化合物类、多胺类, 并以各类碳源在 96 h 的相对光密度 ($C_i - R$) 平均值表示土壤微生物对这一碳源的利用强度^[15]。

1.3.3 土壤酶活性的测定 利用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定土壤蔗糖酶活性^[16], 利用磷酸苯二钠比色法测定碱性磷酸酶活性, 利用靛酚蓝比色法测定脲酶活性, 利用高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶活性^[17], 利用 Eivazi 等^[18]的方法测定 β -葡萄糖苷酶活性, 利用 Schinner 等^[19]的方法测定纤维素酶活性。

1.3.4 西瓜果实品质指标的测定 各处理随机采均匀果 12 个, 测量单果质量, 纵切后测量果皮厚度。采用手持糖度计测定西瓜中心可溶性固形物含量和边部可溶性固形物含量, 采用硫酸蒽酮法测定可溶性总糖含量, 采用酸碱滴定法测定可滴定酸

含量, 采用 2,6-二氯酚靛酚滴定法测定维生素 C 含量^[20]。

1.4 数据处理

所得数据利用 Microsoft Excel 2016 处理汇总并进行作图, 利用 IBM SPSS Statistics 23.0 进行差异显著性分析 (LSD 法)、相关性分析 (采用皮尔森系数法) 等。

2 结果与分析

2.1 不同处理对西瓜根际土壤微生物功能多样性的影响

2.1.1 不同处理对西瓜根际微生物 AWCD 的影响 由图 1 可以看出不同处理土壤微生物的平均每孔颜色变化率 (AWCD)。各处理 AWCD 均在 24 h 时较低, 随后微生物快速生长, 培养 96 h 后, 微生物生长速率发生转折, 由快速增长转变为平缓增长, 培养 192 h 后, 微生物活性由高到低为 T2 > T1 > T3 > CK。与 CK 相比, 含氨基酸水溶肥处理可以提高西瓜根际土壤微生物活性, 其中以 T2 最高。表明刚接种时微生物群落活性较低。

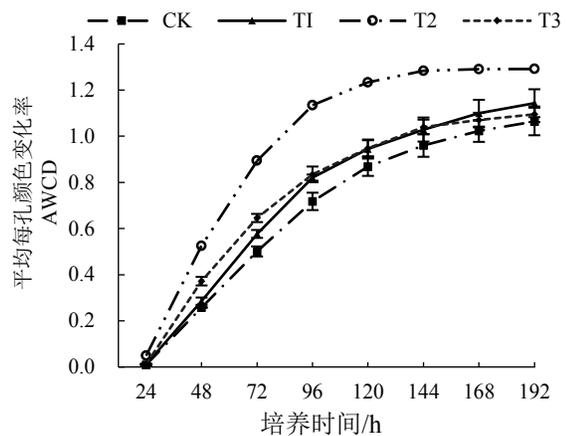


图 1 不同处理对西瓜根际微生物 AWCD 的影响

2.1.2 不同处理对土壤微生物区系特征与功能多样性的影响 由图 1 可知, AWCD 值增长曲线在 96 h 出现转折, 故选取 96 h 的 AWCD 值进行微生物功能多样性指数分析。由表 2 可知, T1、T2、T3 的 Shannon 指数分别比 CK 提高 7.67%、12.33%、6.67%, 表明含氨基酸水溶肥处理后, 微生物群落结构的多样性显著高于常规水溶肥, T2 显著高于其他处理。T1、T2、T3 的 Simpson 指数显著高于 CK, 施用含氨基酸水溶肥后根际土壤群落中微生物物种优势度增加, 其中 T2 效果最为显著。CK 和 T2 的 McIntosh 指数无显著差异, 且二者均显著高于 T1 和 T3。丰富度指数 S 表示各处理对 Biolog-Eco 平

表 2 不同处理对土壤微生物功能多样性指数的影响

处理	Shannon 指数 <i>H'</i>	Simpson 指数 <i>D</i>	McIntosh 指数 <i>U</i>	丰富度指数 <i>S</i>	Pielou 指数 <i>E</i>
CK	3.00±0.06 c	0.94±0.00 c	6.78±0.63 a	23.67±1.53 b	0.94±0.05 b
T1	3.23±0.02 b	0.96±0.00 b	5.24±0.10 b	23.67±0.58 b	1.02±0.01 a
T2	3.37±0.01 a	0.96±0.00 a	6.64±0.18 a	28.33±0.58 a	1.01±0.01 a
T3	3.20±0.07 b	0.96±0.00 b	5.36±0.24 b	23.67±1.53 b	1.01±0.00 a

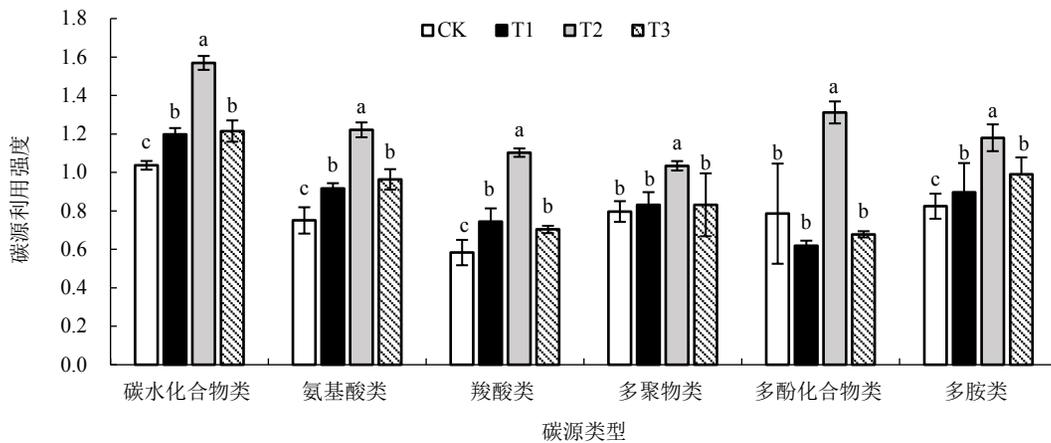
注:同列不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。下同。

板中各碳源利用情况,T2 能够利用平板中的 28 种碳源,显著高于其他各处理。T1、T2、T3 的 Pielou 指数均显著高于 CK,表明含氨基酸水溶肥处理的微生物种群密度高于对照。

2.1.3 不同处理对土壤微生物碳源利用特征的影响 由图 2 可知,T2 对各碳源的利用强度均显著高

于其他处理。除多酚化合物类外,CK 对其他碳源利用强度均低于其他处理。T1、T3 和 CK 对多聚物类、多酚化合物类的碳源利用强度差异不显著。各处理多胺类碳源的利用强度均显著高于 CK,T2 显著高于 T1、T3。

碳源相对利用率在一定程度上反映土壤微生物



注:同一类碳源不同小写字母表示处理间在 0.05 水平差异显著。

图 2 不同处理土壤微生物对 6 类碳源的利用强度的影响

物结构特征。由图 3 可知,不同浓度含氨基酸水溶肥处理下,西瓜根际土壤微生物对 6 类碳源的相对利用率有一定差异,总体以碳水化合物类相对利用率最高。各处理以 T1 对碳水化合物类碳源偏好最强。T3 对氨基酸类碳源相对利用率最高,CK 最

低。羧酸类碳源相对利用率以 T2 最高,CK 最低。多聚物类碳源相对利用率以 CK 最高,T2 最低。多酚化合物类以 T2 相对利用率最高,T1 最低。多胺类化合物以 T3 最高,T2 最低。T2 各碳源相对利用率较为接近。

2.2 不同处理对土壤酶活性的影响

土壤酶活性不仅代表土壤中养分转化能力,也是反映土壤微生物活性的重要指标。从表 4 可以看出,各含氨基酸水溶肥处理蔗糖酶活性显著高于 CK,其中以 T2 最高,T2、T1、T3 分别比 CK 提高 109.03%、39.36%、27.40%。各含氨基酸水溶肥处理 β-葡萄糖苷酶活性显著高于 CK,其中以 T1 最高,T1、T2、T3 分别比 CK 提高 92.34%、55.38%、34.40%。T2、T3 处理之间纤维素酶活性无显著差异,且二者均显著高于 T1 和 CK。T2 的过氧化氢酶活性显著高于其他处理,分别比 CK、T1、T3 提高 44.77%、24.41%、17.56%。T3 脲酶活性显著高于其他处理,分别比 CK、T1、T2 提高 28.35%、19.86%、

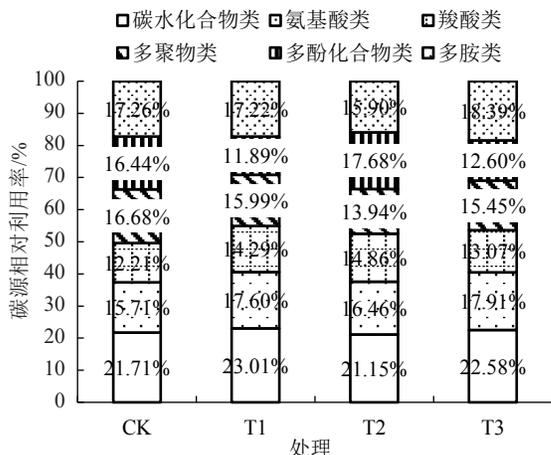


图 3 不同处理对碳源相对利用率的影响

表4 不同处理对土壤酶活性的影响

处理	蔗糖酶活性/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	β-葡萄糖苷酶活性/ (μmol·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	纤维素酶活性/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	过氧化氢酶活性/ (μmol·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	脲酶活性/ (mg·g ⁻¹ ·d ⁻¹)	碱性磷酸酶活性/ (μmol·g ⁻¹ ·d ⁻¹)
CK	23.58±8.90 c	10.96±1.68 c	8.11±1.76 c	20.35±1.33 b	0.40±0.06 c	8.22±1.83 b
T1	32.86±6.71 b	21.08±3.07 a	12.26±3.14 b	23.68±2.69 b	0.42±0.08 b	10.97±2.36 a
T2	49.29±7.21 a	17.03±0.23 b	25.65±3.82 a	29.46±1.27 a	0.45±0.09 b	10.00±1.66 a
T3	30.04±3.07 b	14.73±1.85 b	27.98±3.40 a	25.06±2.02 b	0.51±0.03 a	10.48±2.03 a

12.17%。各含氨基酸水溶肥处理之间的碱性磷酸酶活性没有显著差异,但均显著高于CK,分别比CK提高33.57%、21.68%、27.57%。

2.3 不同处理对西瓜果实品质的影响

由表5可知,各含氨基酸水溶肥处理的单果质量均高于CK,且仅T1与CK无显著差异,T1、T2、T3分别比CK提高7.78%、34.73%、17.37%。各处理果皮厚度无显著差异,T1果皮最薄。边部可溶性

固形物含量以T1最高,并显著高于其他处理,其他处理之间差异不显著。中心可溶性固形物含量仍以T1最高,各处理之间无显著差异。T1和T2的可滴定酸含量显著高于T3和CK。维生素C含量以T2最高,且显著高于其他处理,分别比CK、T1、T3提高76.00%、27.17%及42.86%。可溶性糖含量以T1含量最高,但与T2之间无显著差异,两者均显著高于CK和T3。

表5 不同处理对西瓜果实品质的影响

处理	单果质量/kg	果皮厚度/mm	w(可溶性固形物)/%		w(可滴定酸)/%	w(维生素C)/ (mg·100g ⁻¹)	w(可溶性糖)/ (mg·g ⁻¹)
			边部	中心			
CK	1.67±0.15 c	8.04±0.77 a	8.60±0.70 b	9.40±0.82 a	0.17±0.02 b	1.25±0.31 c	81.52±8.36 b
T1	1.80±0.09 bc	8.14±0.70 a	10.80±0.17 a	12.00±1.53 a	0.21±0.03 a	1.73±0.20 b	106.21±16.10 a
T2	2.25±0.34 a	8.92±0.72 a	9.50±0.35 b	11.00±1.17 a	0.21±0.05 a	2.20±0.08 a	97.13±6.86 a
T3	1.96±0.18 b	8.46±0.47 a	8.90±0.32 b	10.40±1.05 a	0.16±0.04 b	1.54±0.45 b	82.21±1.32 b

2.4 小果型西瓜根际土壤酶活性与果实品质的相关性分析

由表6可以看出,果实维生素C含量与根际土壤蔗糖酶活性(0.987*)呈显著正相关关系。土壤β-葡萄糖苷酶活性与边部可溶性固形物含量(0.960*)呈显著正相关关系,与中心可溶性固形物含量(0.990**)呈极显著正相关关系。边部可溶性

固形物含量与中心可溶性固形物含量(0.954*)呈显著正相关关系,与可溶性糖含量(0.959*)呈显著正相关关系。

2.5 不同处理对微生物功能多样性、土壤酶活性及果实品质三因素综合影响的主成分分析

由表7可知,第1主成分其特征值的贡献率为58.977%,是最主要的解释变量,前2个主成分的累

表6 碳源利用特征与果实品质的相关性分析

项目	蔗糖酶活性	β-葡萄糖苷酶活性	纤维素酶活性	过氧化氢酶活性	脲酶活性	碱性磷酸酶活性	单果质量	边部可溶性固形物含量	中心可溶性固形物含量	可溶性糖含量	可滴定酸含量	维生素C含量
蔗糖酶活性	1											
β-葡萄糖苷酶活性	0.485	1										
纤维素酶含量	0.582	0.128	1									
过氧化氢酶含量	0.185	0.929	0.105	1								
脲酶活性	0.259	0.113	0.92	0.236	1							
碱性磷酸酶活性	0.393	0.871	0.481	0.922	0.564	1						
单果质量	0.930	0.296	0.828	0.069	0.555	0.385	1					
边部可溶性固形物含量	0.321	0.960*	-0.155	0.895	-0.150	0.730	0.062	1				
中心可溶性固形物含量	0.499	0.990**	0.147	0.927	0.127	0.876	0.313	0.954*	1			
可溶性糖含量	0.532	0.933	-0.102	0.767	-0.209	0.640	0.246	0.959*	0.931	1		
可滴定酸含量	0.706	0.779	-0.076	0.505	-0.309	0.420	0.406	0.800	0.780	0.936	1	
维生素C含量	0.987*	0.618	0.558	0.338	0.268	0.519	0.894	0.460	0.631	0.643	0.769	1

注:**在0.01级别(双尾)相关性显著,*在0.05级别(双尾)相关性显著。

表7 指标总方差分解

主成分	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
F1	10.026	58.977	58.977
F2	4.120	24.238	83.215
F3	2.853	16.785	100.000

表8 不同处理对微生物功能多样性、土壤酶活性及果实品质三因素综合影响评价

处理	主成分得分(F1)	主成分得分(F2)	主成分得分(F3)	综合得分	排名
CK	-4.399	-0.021	0.955	-2.439	4
T1	2.207	-2.593	0.614	0.777	2
T2	2.409	2.361	0.953	2.153	1
T3	-0.218	0.253	-2.522	-0.491	3

计贡献率为 83.215%,表明这 2 个主成分为主要分析部分。

由表 8 可知,各处理在 3 个主成分中进行综合评价以处理 T2 得分最高,为 2.153,其次为处理 T1、T3、CK,三者得分依次为 0.777、-0.491、-2.439。这表明以微生物功能多样性、土壤酶活性、果实品质等指标综合分析 T2 处理小果型西瓜美颜的根际土壤时,效果最优。

3 讨论与结论

根际环境是一种特殊的植物-土壤-微生物系统,其变化直接影响植物的生长^[21]。土壤中微生物活性和微生物群落的改善主要取决于田间管理^[22]、施肥^[23]和作物种类^[24]。本试验各处理的土壤微生物 AWCD 值均高于 CK,表明施用含氨基酸水溶肥后土壤微生物活力得到提升^[25]。这可能是由于外源添加的水溶肥中含有的氨基酸等有机活性物质为土壤中的微生物提供了额外的碳、氮源,这与 Ku 等^[26]对猕猴桃根际土壤微生物的研究结果一致。各处理的 Shannon 指数均显著高于对照,表明土壤中微生物群落的丰富度和功能多样性提高,其结构稳定性增强^[27]。同样的,各处理 Simpson 指数均显著高于对照,可能由于含氨基酸水溶肥中的氨基酸等有机活性物质能够筛选和促进相关微生物的数量增多,在土壤中形成优势菌群^[28]。McIntosh 指数以对照 CK 最高,但和 T2 无显著差异,T1、T3 较低,表明含氨基酸水溶肥施入后可能加强了土壤中优势菌群,使原来土壤微生物群落结构的均匀度在一定程度上降低^[29]。丰富度指数表明微生物对 31 种碳源的利用情况,T2 显著高于其他处理,表明 T2 的微生物功能多样性更高,可以利用更多碳源。Pielou 指数能够反映群落实测多样性与最大多样性

的比率^[30],含氨基酸水溶肥能够提高土壤微生物群落的功能多样性。微生物群落功能多样性指标提高,微生物群落更稳定,这与柳晓磊等^[31]、齐钊等^[32]研究一致。微生物功能多样性提高也反映在微生物对不同碳源的利用强度和相对利用率上^[26]。含氨基酸水溶肥处理后,土壤微生物对不同碳源利用能力较对照提高,对碳源摄取更加均衡,这对维持土壤微生物群落结构的多样性和稳定性有一定积极作用。

本试验中,各含氨基酸水溶肥处理根际土壤酶活性提高,可能是由于其提高了微生物的活性与群落功能多样性,从而使根系土壤中主要的土壤酶活性提高^[33]。土壤蔗糖酶、 β -葡萄糖苷酶、纤维素酶可以促进土壤有机物的降解转化,促进土壤中微生物、动物等活动,进而改善根系土壤环境^[34]。很多试验也表明,添加有机物质可以提高土壤中蔗糖酶、纤维素酶、 β -葡萄糖苷酶的活性^[35-37]。各含氨基酸水溶肥处理的土壤过氧化氢酶活性高于对照,在一定程度上反映该肥可提高根际土壤对一些土传病害的抑制作用^[36,38]。土壤脲酶、碱性磷酸酶与土壤中氮、磷两大元素的转化相关且受土壤肥力影响^[39],含氨基酸水溶肥可以使这两种酶的活性较对照 CK 显著提高。这两种酶活性提高可以使土壤中氮、磷元素更容易被根系吸收,进而促进作物生长^[40]。通过相关性分析可知,果实品质与土壤中酶活性有很强相关性,特别是土壤蔗糖酶与维生素 C 含量呈显著正相关, β -葡萄糖苷酶的活性与果实品质中的可溶性固形物含量呈显著正相关。王永安等^[41]也证明施用含氨基酸水溶肥可以提高西瓜果实单果质量和平均甜度。

小果型西瓜坐果后追施含氨基酸水溶肥与施用普通化肥相比,能够提高土壤微生物群落功能多样性,提高土壤酶活性,提高果实品质,其中含氨基酸水溶肥浓度为 0.125% 处理效果最佳。含氨基酸水溶肥在促进小果型西瓜施肥提质增效上有很好的应用前景,但含氨基酸水溶肥通过调节根际微生物来促进果实生长发育的机制仍待进一步深入研究。

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] 许文默,韩志君.小果型西瓜品种比较试验[J].中国园艺文摘,2012,28(5):13-14.
- [3] 徐志红,徐永阳,赵光伟,等.小果型西瓜大棚栽培不同整枝留果方式效应比较[J].中国瓜菜,2010,23(3):32-34.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 于会丽,司鹏,邵微,等.海藻酸水溶肥对梨树生长与果实产量及品质的影响[J].果树学报,2019,36(5):603-611.
- [7] 陈清,张强,常瑞雪,等.我国水溶性肥料产业发展趋势与挑战[J].植物营养与肥料学报,2017,23(6):1642-1650.
- [8] 王连祥,刘磊,林平.含氨基酸水溶肥料在西瓜上的喷施肥效试验[J].农业科技通讯,2020(12):133-136.
- [9] 董胜旗,郭晓慧,王艳霞,等.施用氨基酸水溶肥和复合微生物菌剂对草莓生长与产量和品质的影响[J].现代农业科技,2019(23):64-65.
- [10] 王蓓,黄忠阳,徐明喜,等.含氨基酸水溶肥料在设施辣椒和豇豆上的田间效应研究[J].土壤通报,2017,48(3):683-691.
- [11] 王学君,董晓霞,董亮,等.含氨基酸水溶肥对盐碱地小麦产量和经济效益的影响[J].山东农业科学,2016,48(6):78-80.
- [12] QIAN X, GU J, SUN W, et al. Changes in the soil nutrient levels, enzyme activities, microbial community function, and structure during apple orchard maturation[J]. *Applied Soil Ecology*, 2014, 77: 18-25.
- [13] GARLAND J L, MILLS A L. Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level sole-carbon-source utilization[J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 1991, 57 (8) : 2351-2359.
- [14] CHEN X R, JIN Y H, OU B, et al. Analysis of soil microbial functional diversity of different understory planting dictyophora land based on Biolog-ECO Technology[J]. *Genomics and Applied Biology*, 2017, 36(1):370-375.
- [15] 于会丽,徐国益,路绪强,等.微生物菌剂对连作西瓜土壤微环境及果实品质的影响[J].果树学报,2020,37(7):1025-1035.
- [16] SI P, SHAO W, YU H L, et al. Rhizosphere microenvironments of eight common deciduous fruit trees were shaped by microbes in Northern China[J]. *Frontiers in Microbiology*, 2018, 9:3147.
- [17] 司鹏,邵微,于会丽,等.小分子有机物对土壤酶活性及微生物多样性的影响[J].中国土壤与肥料,2019(2):75-82.
- [18] EIVAZI F, TABATABAI M A. Glucosidases and galactosidases in soils[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1988, 20 (5) : 601-606.
- [19] SCHINNER F, MERSI W V. Xylanase-, CM-cellulase- and invertase activity in soil: an improved method[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1990, 22(4):511-515.
- [20] 曹建康,姜微波,赵玉梅.果蔬采后生理生化实验指导[M].北京:中国轻工业出版社,2007.
- [21] BRAGAZZA L, FONTANA M, GUILLAUME T, et al. Nutrient stoichiometry of a plant-microbe-soil system in response to cover crop species and soil type[J]. *Plant and Soil*, 2021, 461(1/2): 517-531.
- [22] KATSALIROU E. Microbial community and enzyme activities in prairie soil ecosystems under different management[D]. Oklahoma:Oklahoma State University, 2006.
- [23] BASTIDA F, KANDELER E, MORENO J L, et al. Application of fresh and composted organic wastes modifies structure, size and activity of soil microbial community under semiarid climate [J]. *Applied Soil Ecology*, 2008, 40(2):318-329.
- [24] YANG R Y, TANG J J, CHEN X, et al. Effects of coexisting plant species on soil microbes and soil enzymes in metal lead contaminated soils[J]. *Applied Soil Ecology*, 2007, 37 (3) : 240-246.
- [25] 张清敏,刘曼,周湘婷.微生物肥料在土壤生态修复中的作用[J].农业环境科学学报,2006,25(S1):283-284.
- [26] KU Y L, XU G Y, SU S X, et al. Effects of biological agents on soil microbiology, enzyme activity and fruit quality of kiwifruit with root rot[J]. *Soil Research*, 2021. <https://doi.org/10.1071/SR20311>.
- [27] 赵兰凤,张新明,程根,等.生物炭对菜园土壤微生物功能多样性的影响[J].生态学报,2017,37(14):4754-4762.
- [28] 孙家骏,付青霞,谷洁,等.生物有机肥对猕猴桃土壤酶活性和微生物群落的影响[J].应用生态学报,2016,27(3):829-837.
- [29] 付青霞.生物复混肥对猕猴桃果实品质及果园土壤微生态的影响[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2014.
- [30] 邵微,于会丽,张培基,等.不同落叶果树根际微生物群落代谢与组成的差异性研究[J].果树学报,2020,37(9):1371-1383.
- [31] 柳晓磊,齐钊,闫臻,等.复合微生物菌剂与氨基酸水溶肥组合施用对香蕉土壤理化性质及微生物群落的影响[J].中国土壤与肥料,2019(1):151-158.
- [32] 齐钊,张曼丽,闫臻,等.联合施用微生物菌剂和氨基酸水溶肥对哈密瓜土壤性质及细菌群落结构的影响[J].热带生物学报,2019,10(4):352-359.
- [33] 王文锋,李春花,黄绍文,等.不同施肥模式对设施菜田土壤酶活性的影响[J].应用生态学报,2016,27(3):873-882.
- [34] 贾娟,李硕,高夕彤,等.氨基酸水溶肥与菌剂配施对松花菜生长及土壤生态特征的作用效果[J].河北农业大学学报,2018,41(1):17-23.
- [35] 库永丽,徐国益,赵骅,等.微生物肥料对猕猴桃高龄果园土壤改良和果实品质的影响[J].应用生态学报,2018,29(8):2532-2540.
- [36] DEBOSZ K, RASMUSSEN P H, PEDERSEN A R. Temporal variations in microbial biomass C and cellulolytic enzyme activity in arable soils: Effects of organic matter input[J]. *Applied Soil Ecology*, 1999, 13(3):209-218.
- [37] 袁颖红,张文锋,周际海,等.改良剂对旱地红壤活性有机碳及土壤酶活性的影响[J].土壤,2017,49(5):909-918.
- [38] 林开敏,叶发茂,林艳,等.酚类物质对土壤和植物的作用机制研究进展[J].中国生态农业学报,2010,18(5):1130-1137.
- [39] 樊军,郝明德.旱地农田土壤脲酶与碱性磷酸酶动力学特征[J].干旱地区农业研究,2002,20(1):35-37.
- [40] 刘明,张爱君,陈晓光,等.秸秆还田配施化肥对土壤肥力及鲜食甘薯产量和品质的影响[J].应用生态学报,2020,31(10):3445-3452.
- [41] 王永安,龚宝梅,陈恒喜.含氨基酸水溶肥料在西瓜上的应用肥效试验初报[J].农业装备技术,2011,37(2):33-34.