



不同有机营养液水培番茄效果分析

辛鑫¹, 贾琪¹, 牟孙涛¹, 陈丹艳¹, 杨振超¹, 武永军²

(1. 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 生命学院, 陕西杨凌 712100)

摘要 研究 2 种不同电导率有机营养液对番茄生长发育的影响, 为有机营养液水培可以改善果实品质提供依据, 试验以番茄为试材, 番茄茎秆有氧堆制腐熟和厌氧堆制腐熟后的有机物料经浸提后所获得的 2 种浸提液作为有机营养液, 即有氧有机浸提液(T1, T2, T3)和厌氧有机浸提液(Y1, Y2, Y3), 分别稀释至电导率(EC 值)为 $1 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ (T1, Y1)、 $2 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ (T2, Y2)、 $4 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ (T3, Y3) 水培番茄, 以日本山崎营养液作为对照(CK)。结果表明, 有机营养液生物量指标与产量指标显著低于 CK; 有氧有机营养液叶绿素质量分数随 EC 值增加而增加, T1($1 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)、T2($2 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)、T3($4 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) 叶绿素质量分数显著低于 CK; 厌氧有机营养液叶绿素质量分数随 EC 值增加呈先升后降的变化趋势, Y1($1 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)、Y2($2 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$)、Y3($4 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) 叶绿素质量分数均显著高于 CK; 有氧有机营养液光合能力随 EC 值增加而增加, T1、T2、T3 光合能力显著低于 CK, 厌氧有机营养液光合能力随 EC 值增加呈先升后降的变化趋势, 其中 Y2 显著高于 CK; 厌氧有机营养液可溶性固形物、糖酸比、维生素 C 及可溶性蛋白均随 EC 值增加呈现先升后降的趋势, Y2 可溶性固形物、糖酸比、维生素 C 及可溶性蛋白均显著高于 CK, 有机营养液各处理硝酸盐显著低于 CK。利用番茄茎秆堆肥得到的厌氧有机营养液能提高番茄叶片叶绿素质量分数和光合能力, 改善番茄品质, 其中最佳的处理为厌氧有机营养液 Y2($2 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) 处理。

关键词 番茄秸秆; 有机营养液; 水培; 电导率; 番茄品质

中图分类号 S641.2

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2019)08-1294-08

水培以人工创造的作物根系环境代替了土壤环境, 可有效解决传统土壤栽培中难以解决的水分和养分矛盾^[1]。传统无机营养液水培蔬菜品质差, 且含有较高的硝酸盐, 人体直接通过食物和饮水注入的硝酸盐是无害的, 但硝酸盐在人体中会被还原为亚硝酸盐, 导致高铁血红蛋白症^[2]; 如何降低蔬菜硝酸盐已成为研究人员和生产者努力的方向。有资料报道, 人体摄入的硝酸盐 81.2% 来自于蔬菜, 植物积累硝酸盐的根本原因是, 植物对硝酸盐的吸收量超过还原同化量^[3]。有机营养液与无机营养液相比, 可以有效改善其品质^[4]。由于水培对营养液需求较大, 因此, 成本低是有机营养液应用于生产的关键^[5]。

中国是农业大国, 秸秆资源丰富, 但秸秆使用率和利用效率较低, 一大部分秸秆被焚烧或废弃, 造成严重的环境污染和资源浪费^[6]。而番茄秸秆

中含有丰富的矿质元素和有机质, 如果利用秸秆浸提液水培蔬菜, 既可以生产有机的蔬菜, 又充分利用了资源保护了环境^[7]。为验证秸秆浸提液作为水培营养液的可行性, 本试验参照无机营养液水培时浓度的设置方法, 将番茄茎秆分有氧和厌氧 2 种堆制腐熟的浸提液作为有机营养液稀释到不同的电导率(EC 值), 研究不同 EC 值的有机营养液对番茄生物量、产量、光合能力、叶绿素质量分数及品质的影响, 为今后有机营养液浓度选择标准提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验于 2018 年 3 月至 7 月完成, 试验地点为陕西杨凌。种植株距 30 cm, 试材为番茄 (*Lycopersicon esculentum*) ‘粉宴’。

收稿日期: 2018-11-24 修回日期: 2019-02-02

基金项目: 陕西省农业厅农业科技创新集成推广项目(NYKJ-2018-YL22); 国家重点研发计划(2018YFD0201205-2)。

第一作者: 辛鑫, 女, 硕士研究生, 研究方向为有机基质栽培。E-mail: 2733920190@qq.com

通信作者: 杨振超, 男, 博士后, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为设施农业环境工程。E-mail: yangzhenchao@nwsuaf.edu.cn

试验所用的营养液分为有氧与厌氧浸提液。有氧浸提液是将番茄茎秆粉碎,按照番茄茎秆(kg):清水(L)=1:2的比例,添加体积分数为3%的微生物菌剂,混合均匀堆制,堆肥过程中进行人工翻堆并保持堆肥含水率在60%左右;厌氧浸提是将粉碎的番茄茎秆按照番茄茎秆(kg):清水(L)=1:5的比例,同样添加体积分数为3%的微生物菌剂,混合均匀后密封,两者得到的浸提液为有机营养液。各营养液大量元素质量浓度见表1,不同氨基酸质量浓度见表2。

1.2 试验设计

试验设置有机营养液与山崎作为对照(CK),T(有氧有机营养液)、Y(厌氧有机营养液)各设3

个不同EC值,分别为1 mS·cm⁻¹、2 mS·cm⁻¹、4 mS·cm⁻¹,共6个处理,不同处理设置见表3。

采用浮板水培法,选取长势一致的3叶1心番茄苗为材料定植于水培槽中。单干整枝,留3穗果摘心,2018-07-10拉秧。每个处理12株,小区面积为24 m²。用海绵将根固定于泡沫板上,水培槽中加入2/3体积的营养液,每小时供氧15 min的方式间隔循环,以保证营养液通气。添加水和营养液至原始液量和浓度,并利用磷酸溶液调整营养液的pH,以pH 6.8为宜。每2 d调整营养液1次,每7 d需要更换1次营养液。

表 1 营养液硝态氮、铵态氮、速效磷和速效钾质量浓度
Table 1 Mass concentration of nitrate nitrogen, ammonium nitrogen, available phosphorus, and available potassium in nutrient solution

处 理 Treatment	硝态氮 Nitrate nitrogen	铵态氮 Ammonium nitrogen	速效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium
T1	6.646	14.060	25.616	57.883
T2	9.965	111.753	26.796	297.764
T3	13.837	105.950	22.670	406.237
Y1	5.516	24.126	47.546	79.571
Y2	10.982	108.026	96.380	317.622
Y3	12.512	130.806	96.380	409.372
CK	236.322	19.251	46.827	328.566

表 2 各营养液氨基酸质量浓度
Table 2 Mass concentration of amino acids in nutrient solution

氨基酸种类 Amino acid	有氧有机浸提液(T) Aerobic organic nutrient solution	厌氧有机营养液(Y) Anaerobic organic nutrient solution	山崎营养液(CK) Yamazaki nutrient solutions
天冬氨酸 Asp	5.79	1.6	0
苏氨酸 Thr	2.85	0.6	0
丝氨酸 Ser	5.01	0.72	0
谷氨酸 Glu	4.01	1.40	0
甘氨酸 Gly	6.93	2.98	0
丙氨酸 Ala	3.89	0.28	0
缬氨酸 Val	2.01	0.41	0
异亮氨酸 Ile	1.40	0	0
亮氨酸 Leu	2.82	0	0
酪氨酸 Tyr	1.69	0	0
苯基丙氨酸 Phe	5.00	1.33	0
赖氨酸 Lys	18.79	0.58	0
精氨酸 Arg	1.34	0.54	0

表 3 试验处理
Table 3 Test treatment

处 理 Treatment	T1	T2	T3	Y1	Y2	Y3	CK
类别 Classification	有氧 Aerobic	有氧 Aerobic	有氧 Aerobic	厌氧 Anaerobic	厌氧 Anaerobic	厌氧 Anaerobic	山崎 Yamazaki
EC/(mS·cm ⁻¹)	1	2	4	1	2	4	1.8

1.3 测定项目与方法

每个处理随机取样 4 株,处理 110 d 后采收。测番茄单株干鲜质量时,先测量单株鲜质量,再将鲜样于 60 ℃烘箱中烘干至恒量后测量植株干质量,测量结果取平均值^[8];取自生长点向下第 3 片功能叶鲜样 0.1 g 测叶绿素质量分数,用体积分数 96%乙醇浸提至白色,紫外分光光度计分别测量波长 665 nm 和 649 nm 下的吸光度值,每个样品重复测量 3 次,并计算叶绿素质量分数取平均值^[9];测量生长点向下第 3 片功能叶的光合系统参数,采用 LI-6800 便携式光合仪测量番茄叶片的光合特性^[9];果实成熟后选取 5 个番茄测量单果质量,结果取平均值;随机选取 5 株,每次采收时单独记产,统计单株产量并根据种植密度(株行距),以每株 3 穗果来估算 667 m² 产量^[10];可溶性固形物及有机酸质量分数采用 RHBO-90 型手持折光仪测量,糖酸比指可溶性固形物与有机酸的比值^[11];可溶性蛋白、维生素 C 和硝酸盐质量分数分别采用考马斯亮蓝 G-250 染色法、钼蓝比色法和水杨酸-硫酸法测定^[11];采用 ST20C-C 型电导率仪测定 EC 值;用 ST10(pen pH meter)型 pH 仪测定 pH;用氯化钾浸提-连续流动分析仪测定硝铵态氮^[12];用碳酸氢钠浸提法-连续流动分析仪测定速效磷;用醋酸铵浸提-火焰光度计法测定速效钾^[13];用 ACS2 000 高效毛细管电泳仪液相色谱一体机测定各氨基酸分量及质量浓度^[14]。

1.4 数据处理

采用 Excel 2007 软件进行数据整理,用 SPSS 20 版本中的 Duncan's 新复极差法进行数据的方差分析($P\leqslant 0.05$)。数据以“平均数±标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 不同处理对番茄生物量的影响

由表 4 可知,有机营养液番茄生物量均显著低于 CK,这是因为 CK 中硝态氮多于铵态氮,而硝态氮更容易被植物吸收,且 CK 具有更合理氮磷钾的配比,相比之下有机营养液配方单一,元素配比不合理。有机营养液相同 EC 值条件下,厌氧组 Y1 和 Y2 植株干鲜质量显著高于有氧组 T1 和 T2,鲜质量分别增加 41.84%和 83.33%,干质量分别增加 70.73%和 62.22%,有氧组 T3 鲜质量与干质量分别比厌氧组 Y3 增加 40.64%和 51.00%。

有氧组单果质量、单株产量及 3 穗果产量最高的处理是 T3,分别是对照的 95.65%、66.36%和 66.36%。厌氧组单果质量、单株产量及 3 穗果产量随着 EC 值的升高均呈现先增加后降低的变化趋势,最高的处理为 Y2,分别是 CK 的 89.57%、66.02%和 63.89%。综上,CK 最适合番茄生物量累积,有机营养液中,厌氧 Y2 最适合番茄生物量累积。

表 4 不同处理下番茄生物量及产量的变化

Table 4 Changes of different treatments on biomass and yield of tomato

处 理 Treatment	单株鲜质量/g Fresh mass per plant	单株干质量/g Dry mass per plant	单果质量/g Single-fruit mass	单株产量/g Single-plant yield	3 穗果产量/(kg·667m ⁻²) Pre-production
T1	239.333±9.866 d	41.333±1.453 d	80.912±2.944 d	432.951±40.732 c	1 298.089±113.986 c
T2	336.346±6.110 c	45.211±1.155 cd	96.331±1.931 c	771.832±53.633 b	2 315.978±178.219 b
T3	438.667±10.588 b	48.333±1.667 c	110.620±2.153 ab	996.355±36.944 b	2 988.733±99.495 b
Y1	339.667±9.770 c	70.333±1.764 b	99.160±5.939 bc	959.311±47.432 b	2 877.133±132.736 b
Y2	438.733±5.774 a	73.667±0.882 b	103.244±1.165 bc	991.162±20.654 b	2 973.131±57.605 b
Y3	260.333±3.528 d	35.321±1.155 e	46.354±5.281 e	302.224±35.178 c	906.622±98.336 c
CK	476.667±12.019 a	98.667±1.667 a	115.247±2.965 a	1 501.127±63.971 a	4 503.622±189.046 a

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P\leqslant 0.05$)。下表同。
Note: Different lowercase letters in each column indicate significant difference($P\leqslant 0.05$). The same below.

2.2 不同处理对番茄叶片叶绿素的影响

如表 5 所示,有机营养液厌氧组叶绿素质量分数显著高于 CK,有氧组叶绿素质量分数显著低于 CK。厌氧组叶绿素随着电导率的升高呈现先升高后降低的变化趋势,Y1、Y2、Y3 叶绿素 a 分别比 CK 提高 14.54%、48.44%和 10.88%;叶绿素(a+b)分别比对照高出 10.20%、43.67%和 6.67%。

有氧组叶绿素随着 EC 值增加而增加,以 T3 居高;有机营养液相同 EC 值条件下,厌氧组 Y1、Y2 和 Y3 均显著高于有氧组 T1、T2 和 T3,Y1 叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素(a+b)分别比 T1 增加 95.92%、92.68%、95.00%,Y2 分别比 T2 增加 130.77%、140.45%和 132.39%,Y3 分别比 T3 增加 72.14%、51.46%和 66.67%;综上,厌氧 Y2 最适合番茄叶片的叶绿素累积。

表 5 不同处理下番茄叶绿素质量分数的变化

Table 5 Changes of different treatments on tomato chlorophyll mass fraction

处理 Treatment	叶绿素 a/(mg·g ⁻¹) Chlorophyll a mass fraction	叶绿素 b/(mg·g ⁻¹) Chlorophyll b mass fraction	叶绿素(a+b)/(mg·g ⁻¹) Total mass fraction of chlorophyll
T1	2.385±0.188 c	0.823±0.187 c	3.209±0.003 c
T2	2.621±0.060 c	0.899±0.090 c	3.520±0.054 c
T3	2.621±0.372 c	1.038±0.274 c	3.659±0.295 c
Y1	4.663±0.057 b	1.584±0.056 b	6.247±0.048 b
Y2	6.043±0.262 a	2.145±0.278 a	8.188±0.066 a
Y3	4.514±0.186 b	1.565±0.186 b	6.079±0.001 b
CK	4.071±0.135 b	1.623±0.134 b	5.699±0.013 b

2.3 不同处理对番茄叶片光合速率的影响

如表 6 所示,有机营养液有氧组净光合速率(P_n)随着 EC 值增加呈显著上升趋势,均显著低于 CK;有氧组蒸腾速率(T_r)最快为 T1,较 CK 增加了 8.98%;胞间 CO₂ 摩尔分数(C_i)随着 EC 值增加而下降,T1、T2 的 C_i 较 CK 显著增加 30.96%和 6.41%;T1、T2、T3 气孔导度(G_s)均显著高于 CK,随着 EC 值增加呈现先降低后升高的趋势,分别比对照增加 73.87%、1.51%和 39.20%。

低的变化趋势,Y2 的 P_n 较 CK 增加 0.96%; T_r 随着 EC 值增加先升高后下降,Y2 T_r 比 CK 显著增加 23.36%; C_i 随着 EC 值增加呈现先降低后升高的变化趋势,Y1、Y3 C_i 分别比 CK 增加 5.34%和 8.90%; G_s 随着 EC 值增加呈现先升高后下降的趋势,Y1、Y2 和 Y3 的 G_s 分别较 CK 增加 39.20%、142.21%和 46.23%。有机营养液相同 EC 条件下,Y1 和 Y2 的 P_n 显著高于 T1 和 T2,Y1 的 P_n 较 T1 增加 250.21%,Y2 较 T2 增加 111.31%。综上,厌氧 Y2 番茄植株的光合能力最强。

厌氧组 P_n 随着 EC 值增加呈现先升高后降

表 6 不同处理下番茄叶片光合特性的变化

Table 6 Changes of different treatments on tomato photosynthetic characteristic of tomato leaves

处理 Treatment	P_n /($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	T_r /($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)	C_i /($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)	G_s /($\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)
T1	4.073±0.881 c	5.547±0.053 ab	368.611±5.297 a	0.346±0.091 ab
T2	9.196±0.117 bc	3.706±0.076 c	299.848±4.127 bc	0.202±0.019 b
T3	14.744±1.776 ab	4.495±0.323 b	280.698±3.82 c	0.277±0.039 ab
Y1	14.275±1.278 ab	4.911±0.327 b	296.307±9.570 bc	0.338±0.056 ab
Y2	19.232±2.412 a	6.279±0.429 a	190.888±3.447 b	0.482±0.086 a
Y3	11.559±3.345 b	4.715±0.612 bc	306.957±5.507 b	0.291±0.142 ab
CK	19.050±0.302 a	5.090±0.195 b	281.797±0.302 c	0.199±0.048 bc

2.4 不同处理对番茄品质的影响

从表 7 可以看出,有机营养液有氧组可溶性固形物随着 EC 值增加呈现先降低后升高的变化趋势,T3 可溶性固形物与 CK 无显著性差异;糖

酸比随着 EC 值升高呈现持续下降趋势,T1 糖酸比较 CK 增加 0.52%;维生素 C 质量浓度随着 EC 值增加而增加,T1、T2 和 T3 均显著低于 CK;可溶性蛋白质量分数随着 EC 值增加而增

加,显著低于 CK;硝酸盐均低于 CK。

厌氧组可溶性固形物质量分数随着 EC 值增加呈现先升高后降低的变化趋势,Y2 可溶性固形物较 CK 增加 3.16%;糖酸比随着 EC 值增加呈现先升高后降低的变化趋势,Y2 糖酸比显著高于 CK,比 CK 增加 44.89%;维生素 C 质量浓度随

着 EC 值增加呈现先升高后降低的变化趋势,均低于 CK;可溶性蛋白质量分数随着 EC 值增加呈现先升高后降低的变化趋势,Y2 可溶性蛋白质量分数比 CK 显著增加 29.39%,厌氧组硝酸盐均低于 CK。综上,厌氧 Y2 番茄品质最好。

表 7 不同处理下番茄品质的变化

Table 7 Changes of different treatments on quality of tomato

处 理 Treatment	可溶性固形物/% Soluble solar mass fraction	糖酸比/% Solar acid ratio	维生素 C/ (mg · g ⁻¹) Vitamin C mass fraction	可溶性蛋白质/ (mg · g ⁻¹) Soluble protein mass fraction	硝酸盐/(mg · kg ⁻¹) Nitrite nitrogen mass fraction
T1	5.875±0.213 ab	7.562±0.685 bc	1.145±0.095 9 cd	0.710±0.173 e	127.717±15.689 c
T2	5.350±0.104 b	6.081±0.469 cd	1.248±0.051 cd	1.090±0.046 d	182.065±7.703 b
T3	6.225±0.278 a	5.825±0.504 d	1.870±0.030 bc	1.801±0.062 c	326.992±11.533 ab
Y1	5.350±0.050 b	6.815±0.395 bcd	1.781±0.448 bc	1.351±0.262 d	136.775±19.741 c
Y2	6.525±0.292 a	10.901±0.217 a	2.455±0.479 ab	2.822±0.046 a	331.521±7.982 ab
Y3	6.050±0.225 ab	8.168±0.475 b	0.861±0.0828 d	0.692±0.062 e	349.637±15.238 ab
CK	6.325±0.381 a	7.523±0.577 bc	2.907±0.097 a	2.181±0.262 b	397.934±11.283 a

3 讨论与结论

本试验中,有机营养液厌氧组番茄的干鲜质量及产量均随着 EC 值的增加呈现先升后降的趋势,说明适当增加 EC 值有利于促进番茄营养物质的累积,但过高的 EC 值会抑制干鲜质量的增长,这与 Li 等^[15]的研究结果一致;有机营养液有氧组,番茄的干鲜质量及产量随着 EC 值的增加呈上升趋势,但整体低于厌氧组,这是因为有氧浸提液中磷偏低,营养液中缺磷会降低番茄干物质累积,这与赵九洲等^[16]、王晶等^[17]的研究结果一致。

本试验中,有机厌氧营养液与无机营养液相比可以显著提高番茄叶片叶绿素质量分数,厌氧组 EC 等于 2 mS · cm⁻¹ 时,最有利于提高番茄叶片叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素(a+b)质量分数,但 EC 等于 4 mS · cm⁻¹ 时,则会导致以上指标下降。叶绿素质量分数的增加有助于提高番茄的光合作用,进而产生更多的干物质积累^[18],从而提高番茄的品质^[11],这与前人的研究结果一致^[19]。与 CK 相比,利用厌氧有机营养液 EC 等于 2 mS · cm⁻¹ 这个处理可以提高番茄可溶性固形物、糖酸比以及可溶性蛋白质量分数,有利于提升番茄风味改善果实品质,这与徐苏萌等^[20]和马跃^[21]的有机营养液能够提升番茄品质的研究结果一致。此外,有氧组和厌氧组果实硝酸盐虽然

均随着营养液 EC 值的增加呈现上升趋势,但均低于 CK,这是因为有机营养液中硝态氮较少,可以有效降低果实中硝酸盐,这与姜慧敏等^[22]、王子臣等^[23]和刘伟等^[24]研究结果一致;同时有机营养液中含有丰富的氨基酸,可一定程度降低蔬菜的硝酸盐^[25],同时可以提高番茄中可溶性蛋白与可溶性固形物质量分数,这同氨基酸分子的直接吸收利用有关^[26]。有机营养液可以提升番茄的品质不仅是因为其含有氨基酸、蛋白质等有机氮,同时含有其他对品质有利的生物活性物质。

本研究结果表明,利用有机厌氧营养液水培番茄可以有效促进品质的提升,在不考虑产量,从番茄品质角度出发,有机营养液厌氧 Y2 处理较优。

本试验利用番茄茎秆堆制腐熟得到的浸提液作为有机营养液,分别设置不同的种类及浓度,突破了以往的研究,同时本研究量化了有机营养液浓度梯度,为今后有机营养液选择浓度的标准提供了参考依据。后续试验还需要进一步改善营养液的成分及比例,以提高番茄产量,达到优质高产的双重栽培效果。

参考文献 Reference:

- [1] 李 伟. 水培与基质培的发展现状与前景展望[J]. 中国园艺文摘, 2010, 26(5): 43-44.
LI W. The status and the prospect of water hydroponics and matrix hydroponics [J]. *Chinese Horticulture Abstracts*,

- 2010,26(5):43-44.
- [2] 宋晓晓,邹志荣,曹 凯,等.不同有机基质对生菜产量和品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2013,41(6):153-160.
SONG X X,ZOU ZH R,CAO K,*et al.* Effects of different organic substrates on the yield and quality of lettuce [J]. *Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)*,2013,41(6):153-160.
- [3] 王少先,章和珍,张保根,等.蔬菜硝酸盐污染及其防治[J].江西农业学报,1998,10(4):86-90.
WANG SH X,ZHANG H ZH,ZHANG B G,*et al.* Nitrate pollution in vegetables and its prevention[J]. *Jiangxi Agricultural Journal*,1998,10(4):86-90.
- [4] 杨晓珍,郝丹东,孟 静,等.功能性堆肥及其浸提液对设施黄瓜生长发育的影响[J].农业科学研究,2014,35(4):33-38.
YANG X ZH,HAO D D,MENG J,*et al.* The effect of compost and extracts on plant growth of cucumber in facility greenhouse[J]. *Journal of Agricultural Science*,2014,35(4):33-38.
- [5] 耿凤展,李荣华,高 波,等.番茄秸秆高温堆肥作为番茄育苗基质的循环利用研究[J].中国土壤与肥料,2016,53(1):102-106.
GENG F ZH,LI R H,GAO B,*et al.* Composting of tomato residues and cow dung under the aerobic condition and its recyclable potential in tomato nursery seedling[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*,2016,53(1):102-106.
- [6] 牛博宇.番茄茎秆废弃物浸提产物浸提液提取及在番茄上的应用技术研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2018.
NIU B Y. Study on application technology of fermentation product extract of tomato tem waste [D]. Yangling Shaanxi:Northwest A&F University,2018.
- [7] 翁 伟,杨继涛,赵青玲,等.我国秸秆资源化技术现状及发展方向[J].中国资源综合利用,2004,23(7):18-21.
WENG W,YANG J T,ZHAO Q L,*et al.* Current status and development direction of straw recycling technology in China[J]. *China Comprehensive Utilization of Resources*,2004,23(7):18-21.
- [8] 汪沛洪.基础生物化学实验指导[M].西安:陕西科学技术出版社,1986:101-103.
WANG P H. Basic Biochemistry Experiment Guide[M]. Xi'an:Shaanxi Science and Technology Press,1986:101-103.
- [9] 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,2000:105-107.
LI H SH. Plant Physiological and Biochemical Experiment Principle and Technology [M]. Beijing: Higher Education Press,2000:105-107.
- [10] 李凤巧,杨丽娟.温室番茄产量和硝酸盐含量的氮磷钾效应模式构建[J].土壤通报,2013,44(5):1178-06.
LI F Q,YANG L J. Defination of reaction model for N,P and K to tomato yield and nitrate content in greenhouse [J]. *Chinese Journal of Soil Science*,2013,44(5):1178-06.
- [11] 赵 森,吴延军,蒋桂华,等.有机营养液对梨果实品质的试验初探[J].浙江农业科学,2008,27(3):34-35.
ZHAO M,WU Y J,JIANG G H,*et al.* Preliminary study on the effect of organic nutrient solution on the quality of pear fruit [J]. *Zhejiang Agricultural Science*,2008,27(3):34-35.
- [12] 王朝辉,李生秀,田霄鸿.不同氮肥用量对蔬菜硝态氮累积的影响[J].植物营养与肥科学报,1998,4(1):22-28.
WANG ZH H,LI SH X,TIAN X H. Influence of nitrogen rates on nitrate accumulation in vegetable[J]. *Plant Nutrition and Fertilizen Science*,1998,4(1):22-28.
- [13] 生吉萍,刘 灿,申 琳.有机和常规种植条件下樱桃番茄的营养物质含量与矿物元素 ICP-AES 分析[J].光谱学与光谱分析,2009,29(8):2244-2246.
SHENG J P,LIU C,SHEN L. Analysis of some nutrients and minerals in organic and traditional cherry tomato by ICP-OES method[J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*,2009,29(8):2244-2246.
- [14] 王立华,王永利,吴 江.营养液中多种氨基酸的分离与测定[J].中国农学通报,2009,25(13):28-32.
WANG L H,WANG Y L,WU J. Separation and determination of various amino acids in nutrient solution[J]. *Chinese Agriculture Science Bulletin*,2009,25(13):28-32.
- [15] LI Y L,CECILIA S. Analysis of the effect of EC and potential transpiration on vegetative growth of tomato[J]. *Scientia Horticulturae*,2001,89(1):9-21.
- [16] 赵九洲,陈洁敏,陈松笔,等.无土基质与营养液 EC 值对切花菊生长发育的影响[J].园艺学报,1999,26(5):327-330.
ZHAO J ZH,CHEN J M,CHEN S B,*et al.* Effect of growing medium and nutrient solution electrical conductivity(EC) on the growth and development of cut Chrsanthemum[J]. *Acta Horticulturae Sinica*,1999,26(5):327-330.
- [17] 王 晶,韩晓日,战秀梅.低磷胁迫对番茄叶片膜脂过氧化及保护酶活性的影响[J].植物营养与肥科学报,2005,11(6):145-148.
WANG J,HAN X R,ZHAN X M. Influence of low-phosphorus stress on membrane lipid peroxidation and protective enzyme activities in tomato leaves[J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*,2005,11(6):145-148.
- [18] 张钧恒,马乐乐,李建明.全有机营养肥水耦合对番茄品质、产量及水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2018,51(14):2788-2798.
ZHANG J H,MA L L,LI J M. Effects of all-organic nutrient solution and water coupling on quality,yield and water use efficiency of tomato[J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2018,51(14):2788-2798.
- [19] 任凤玲,张旭博,孙 楠,等.施用有机肥对中国农田土壤微生物量影响的整合分析[J].中国农业科学,2018,

- 51(1):119-128.
- REN F L, ZHANG X B, SUN N, *et al.* A Meta-analysis of manure application impact on soil microbial biomass across China's croplands[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2018, 51(1):119-128.
- [20] 徐苏萌, 宋焕禄, 高艳明, 等. 不同基质配比对番茄风味成分的影响[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(15):3689-3691.
- XU S M, SONG H L, GAO Y M, *et al.* Effects of different substrate formulas on flavor components of tomato[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2015, 54(15):3689-3691.
- [21] 马 跃. 氮磷钾配比对温室番茄生长、产量和品质的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 2010.
- MA Y. Effects for the different proportion of nitrogen, phosphate and potassium on the growing, production and quality of greenhouse tomato[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2010.
- [22] 姜慧敏, 张建峰, 杨俊诚, 等. 不同氮肥用量对设施番茄产量、品质和土壤硝态氮累积的影响[J]. 农业环境科学学报, 2010, 29(12):2338-2345.
- JIANG H M, ZHANG J F, YANG J CH, *et al.* Effects of different treatments of nit accumulation in vegetable-greenhouse[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(12):2338-2345.
- [23] 王子臣, 管永祥, 盛 婧, 等. 水稻分蘖期沼液施灌对农田水体氮素的影响[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(12):1544-1551.
- WANG Z CH, GUAN Y X, SHENG J, *et al.* Effects of biogas slurry application on paddy field water nitrogen content at tillering stage[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2015, 23(12):1544-1551.
- [24] 刘 伟, 陈殿奎, 李式军. 氨基酸态氮对番茄产量、品质及风味的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2006, 37(3):399-403.
- LIU W, CHEN D K, LI SH J. Effect of amino-acid Nitrogen on yield, quality and flavor of tomato[J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2006, 37(3):399-403.
- [25] 艾绍英, 唐拴虎, 李生秀, 等. 氮素供应水平对蔬菜硝酸盐累计与分布的影响[J]. 华南农业大学学报, 2000, 21(2):14-17.
- AI SH Y, TANG SH H, LI SH X, *et al.* Effects of nitrogen supply levels on the accumulation and distribution of nitrate in vegetable[J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2000, 21(2):14-17.
- [26] 刘明池, 陈殿奎. 氮肥用量与黄瓜产量和硝酸盐积累的关系[J]. 中国蔬菜, 1996, 17(3):28-30.
- LIU M CH, CHEN D K. The relationship between nitrogen fertilizer and cucumber yield and nitrate accumulation[J]. *China Vegetable*, 1996, 17(3):28-30.

Effect Analysis of Hydroponic Tomato with Different Organic Nutrient Solution

XIN Xin¹, JIA Qi¹, MOU Suntao¹, CHEN Danyan¹,
YANG Zhenchao¹ and WU Yongjun²

(1. College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China;

2. College of Life Sciences, Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract For providing a basis of fructification improvement by hydroponic cultivation of organic nutrient solution, we studied the effect of two kinds of organic nutrient solutions with different electrical conductivities on the growth and development of tomato. With tomato as material and the Japanese Yamazaki nutrient solution was used as a contrast, two kinds of extracts from tomato stalk were taken as nutrition solution after fermented by aerobic fermenting and anaerobic fermenting, namely aerobic and anaerobic nutrition organic solution, it were diluted to electrical conductivity of $1 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, $2 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$, $4 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$ to culture tomato. The results showed that the biomass index and yield index of organic nutrient solution were all significantly lower than the CK. The chlorophyll mass fraction of aerobic organic nutrient solution increased with the increase of EC value, and the chlorophyll mass fraction of T1 ($1 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$), T2 ($2 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) and T3 ($4 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) were all significantly lower than that of the CK; the chlorophyll mass fraction of anaerobic organic nutrient solution increased first and then decreased with the increase of EC value. The chlorophyll mass fraction of Y1 ($1 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$), Y2 ($2 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$), Y3 ($4 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$) were significantly higher than CK. The photosynthetic capacity of aerobic organic nutrient solution increased with the increase of EC value. The photosynthetic capacity of T1, T2 and T3 were significantly lower than that of CK, and the photosynthetic ca-

capacity of anaerobic organic nutrient solution increased first and then decreased with the increase of EC value, in which Y2 was significantly higher than CK. The mass fraction of soluble solids, sugar-acid ratio, vitamin C and soluble protein in anaerobic organic nutrient solution increased first and then decreased with the increase of EC value. Y2 soluble solids, sugar-acid ratio, vitamin C and soluble protein were significantly higher. In CK, the nitrate of organic nutrient solution was significantly lower than that of CK. Anaerobic organic nutrition solution made by tomato stalk anaerobic fermenting could improve chlorophyll mass fraction of tomato leaves, the photosynthesis and quality of tomato. The best treatment was anaerobic organic nutrient solution Y2($2 \text{ mS} \cdot \text{cm}^{-1}$).

Key words Tomato straw; Organic nutrient solution; Hydroponic culture; Electrical conductivity; Quality of tomato

Received 2018-11-24

Returned 2019-02-02

Foundation item Agricultural Science and Technology Innovation Integration Promotion Project of Shaanxi Provincial Department of Agriculture(No. NYKJ-2018-YL22); National Key R&D Plan(No. 2018YFD0201205-2).

First author XIN Xin, female, master student. Research area: organic substrate cultivation. E-mail: 2733920190@qq.com

Corresponding author YANG Zhenchao, male, postdoctor, associate professor, master supervisor. Research area: Protected-land agriculture environmental engineering. E-mail: yangzhenchao@nwsuaf.edu.cn

(责任编辑:潘学燕 Responsible editor: PAN Xueyan)