

# 营养液配方与品种对椰糠条栽培 高糖番茄产量和质量的影响

孙一鑫,马乐乐,王文元,何佳星,李建明

(西北农林科技大学园艺学院/农业部西北设施园艺工程重点实验室,陕西 杨凌 712100)

**摘要:**为实现高糖番茄生产及筛选适宜椰糠条栽培的营养液配方与番茄品种组合,于2020年5—9月在甘肃省酒泉市玻璃温室内进行,设4种营养液配方(有机无机混合营养液配方1(F1)、有机无机混合营养液配方2(F2)、无机营养液配方1(F3)、无机营养液配方2(F4));4个番茄品种(‘飞天番茄’(V1)、『120-150’(V2)、『童年味’(V3)、『DHYZ-03’(V4)),二因素耦合,得16个处理,随机区组试验设计,研究了不同处理对番茄茎粗、光合特性、糖度及产量的影响,并采用TOPSIS法,对番茄综合品质进行评价。结果表明:有机无机混合营养液配方处理的糖度均值为11.0%,产量均值为190 380 kg·hm<sup>-2</sup>;无机营养液配方处理的糖度均值为9.6%,产量均值为157 969 kg·hm<sup>-2</sup>。与无机营养液配方相比,有机无机混合营养液可明显提高番茄的产量与可溶性糖含量。4个品种中,‘童年味’的可溶性糖含量最高,处理均值为10.9%;‘DHYZ-03’的产量最高,处理均值为180 906 kg·hm<sup>-2</sup>。糖度最高的处理为F2V3(有机无机混合营养液配方2+‘童年味’),产量最高及糖度和产量均最优的处理为F2V2(有机无机混合营养液配方2+120-150)。本试验条件下,F2V3和F2V2组合较适合在甘肃地区进行推广。

**关键词:**番茄;无土栽培;营养液配方;品种;产量;糖度

**中图分类号:**S641.2;S627 **文献标志码:**A

## Effect of nutrient solution formulas and varieties on yield and quality of high sugar tomato cultivated with coconut bran strips

SUN Yixin, MA Lele, WANG Wenyuan, HE Jiaying, LI Jianming

(Key Laboratory of Protected Horticulture Engineering in Northwest China, Ministry of Agriculture, College of Horticulture, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** To select nutrient solution formula for different tomato variety under coconut bran cultivation, 4 kinds of nutrient solution formulas (organic and inorganic mixed nutrient solution 1 (F1), organic and inorganic mixed nutrient solution 2 (F2), inorganic nutrient solution 1 (F3), inorganic nutrient solution 2 (F4)) and 4 tomato varieties ‘Feitian’ (V1), ‘120-150’ (V2), ‘Tongnianwei’ (V3), ‘DHYZ-03’ (V4) were set in glasshouse of Gansu Province in 2020. Bivariate design was coupled to 16 treatments. The stem thickness, photosynthetic characteristics, sugar and yield of different treated tomatoes were studied, and the comprehensive quality of tomato was evaluated by TOPSIS method. The mean soluble sugar content of organic and inorganic mixed nutrient solution was 11.0% and the mean yield was 190 380 kg·hm<sup>-2</sup>. The mean soluble sugar content of inorganic nutrient solution was 9.6% and the mean yield was 157 969 kg·hm<sup>-2</sup>. It showed that the organic and inorganic mixed nutrient solution significantly increased the tomato yield and soluble sugar content compared with the inorganic nutrient solution formula. Among the four varieties, the soluble sugar content of ‘Tongnianwei’ was the highest, the mean content was 10.9% the yield of ‘DHYZ-03’ was the highest, and the mean yield was 180 906 kg·hm<sup>-2</sup>. The highest soluble sugar content sugar treatment was F2V3 (organic and inorganic mixed nutrient solution 2+ ‘Tongnianwei’), the highest yield treatment and the best treatment with both the highest sugar content and yield

was F2V2 (organic and inorganic mixed nutrient solution 2+ '120-150'). Under the experimental conditions, F2V3 and F2V2 were more suitable for promotion in Gansu region.

**Keywords:** tomato; soilless culture; nutrient solution formulas; varieties; yield; soluble sugar content

番茄是目前世界上种植面积最广、最受欢迎的蔬菜作物之一,全球年总产量达1.7亿t,在蔬菜作物中位居首位<sup>[1]</sup>。我国是鲜食和加工番茄生产大国,也是世界上最大的番茄种子市场。甘肃地区光照条件好,气候条件优良,近几年,随着甘肃地区强力推进戈壁农业产业振兴,番茄种植面积不断增加<sup>[2-3]</sup>。椰糠在温室栽培中应用广泛,利用椰糠条栽培技术生产的番茄产量高、品质好,可实现周年生产,并能克服土壤连作障碍<sup>[4]</sup>。随着生活水平的提高,口感好、糖度高(可溶性糖含量 $\geq 7\%$ )番茄的市场需求逐年递增<sup>[5]</sup>,但如何实现番茄的高糖栽培,提升番茄果实口感,一直是困扰番茄生产的难题。

传统蔬菜生产用肥一般以无机肥为主<sup>[6]</sup>,在蔬菜基质栽培中施用的营养液也主要是无机态营养液<sup>[7]</sup>。但近年来有机肥在蔬菜生产中的作用越来越受关注<sup>[8]</sup>,已有研究发现,有机肥替代化肥在作物上施用,可明显改善土壤pH值、有机质含量,可促进微生物的多样性,降低诱发植物产生病况的微生物数量<sup>[9]</sup>。在无土栽培中施用有机营养液还可达到改善蔬菜品质、提高产量的效果<sup>[10-11]</sup>。但有机营养液常常因肥力不足造成作物产量降低,不具备无机营养液肥力吸收快、作物产量高的特点。因此,兼顾番茄品质和产量的有机、无机混合营养液可作为番茄栽培营养液的新选择。

农业品种是重要的生产资料,可以作为优良作物性状的载体,但优良的遗传性状和特定的栽培环境相互作用才能表现出优良特征的表型。不同地区的生态环境、栽培技术和管理方法均不同,因此选择品种要因地制宜<sup>[12]</sup>。近年来,已有多位学者进行了温室内不同条件下的番茄比较试验,并确定了对应的番茄品种与营养液配方<sup>[3,13-14]</sup>,但有机、无机混合营养液应用下进行的高糖番茄品种筛选仍有待研究。本研究通过在4种营养液配方条件下种植4个番茄品种,从中筛选适合栽培高糖果实的营养液配方和品种,以期为甘肃地区番茄的高糖优质生产提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地点与试验材料

试验于2020年5—9月在甘肃省酒泉市敦煌种业的文化型玻璃温室内进行,温室占地面积约0.87

hm<sup>2</sup>。酒泉属大陆性干旱气候,干燥寒冷,夏季较短促,温室夏季生产时仅采用通风与高温时段喷雾加湿即可。

4个供试品种分别为‘飞天番茄’、‘120-150’、‘童年味’、‘DHZY-03’,由敦煌种业公司提供,其中‘飞天番茄’、‘DHZY-03’为常用品种,‘120-150’、‘童年味’为新引进的高糖品种,4种番茄均为无限生长型。采用椰糠条栽培,定植前椰糠条需灌入清水浸泡、冲洗,至流出液的EC值达1.0 mS·cm<sup>-1</sup>以下<sup>[15]</sup>。试验所用有机肥从当地同一家动物养殖场一次性采购,该养殖场采用天然饲料,没有任何人工添加抗生素与激素物质。

### 1.2 试验方法

试验共设4种营养液配方:F1(有机无机混合营养液配方1)、F2(有机无机混合营养液配方2)、F3(无机高糖营养液配方1)、F4(无机高糖营养液配方2);种植4个番茄品种:V1(‘飞天番茄’)、V2(‘120-150’)、V3(‘童年味’)、V4(‘DHZY-03’)。将营养液配方与番茄品种二因素耦合,共得16个处理(F1V1、F1V2、F1V3、F1V4、F2V1、F2V2、F2V3、F2V4、F3V1、F3V2、F3V3、F3V4、F4V1、F4V2、F4V3、F4V4),每处理种植番茄60株,3次重复,随机区组试验设计,小区长25 m,宽15 m,种植密度为3.2株·m<sup>-2</sup>。

试验所用的有机无机混合营养液是由本课题组试验筛选的较优配方改良而成<sup>[16]</sup>,设置了两种有机无机混合营养液配方,F1(猪粪、牛粪、羊粪浸提液按2:1:1混合,再与山崎营养液混合);F2(猪粪、牛粪、羊粪浸提液按1:2:1混合,再与山崎营养液混合)。2种无机营养液配方为市面上的番茄营养液高糖配方改良而成,见表1和表2。

制备不同粪肥浸提液时,将腐熟后的粪肥分别与水按1:10(质量比)混合后搅拌,在在有氧条件下浸提72 h后取上清液,经过滤得到腐熟粪肥浸提液。为保证每次施用的营养液成分稳定,用于有机营养液浸提的有机粪肥为同一批次一次性采购,经统一腐熟发酵后分批次使用,每次浸提时间、水肥比及人工操作等因素均控制一致,最大限度消除不确定因素的影响。

于2020年6月2日(幼苗5叶1心)定植,单干整枝。采用水肥一体化管理模式,在开花坐果期营养液灌溉时间间隔为1 h,每天灌溉11次。果实

成熟期,在正午时灌溉时间间隔为 40 min(12:00—14:00),每天灌溉 12 次。在番茄开花坐果期营养液 EC 值设置为 2.8,果实成熟期时 EC 值设置为 3.0,之

后随着植株生长,逐渐将营养液 EC 值升高至 3.2,营养液 pH 值始终设置在 5.8~6.2 内。除试验处理因素外,其他田间管理措施相同。

表 1 无机营养液配方 1  
Table 1 Inorganic nutrient solution 1

分类 Classification	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	开花坐果期 Blossom and fruit period /(mg·L <sup>-1</sup> )	果实成熟期 Frutescence /(mg·L <sup>-1</sup> )
大量元素 Macro-element	硝酸钙 Calcium nitrate	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	888.9	2081.7
	硫酸镁 Magnesium sulfate	MgSO <sub>4</sub>	334.7	
	硝酸钾 Potassium nitrate	KNO <sub>3</sub>	181.6	456.4
	硫酸钾 Potassium sulfate	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	512.0	708.5
	磷酸二氢铵 Ammonium dihydrogen phosphate	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	204.3	285.6
微量元素 Trace element	乙二胺四乙酸二钠铁 EDTA, disodium ferric salt	[-CH <sub>2</sub> N(CH <sub>2</sub> COONa)CH <sub>2</sub> COO] <sub>2</sub> Fe	23.1	23.1
	硫酸锰 Manganese sulfate	MnSO <sub>4</sub>	2.5	2.5
	硼酸 Boric acid	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	1.7	1.7
	硫酸铜 Copper sulfate	CuSO <sub>4</sub>	0.3	0.3
	钼酸钠 Sodium molybdate	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub>	0.1	0.1
	硫酸锌 Zinc sulfate	ZnSO <sub>4</sub>	0.3	0.3

表 2 无机营养液配方 2  
Table 2 Inorganic nutrient solution 2

分类 Classification	化合物 Compound	分子式 Molecular formula	开花坐果期 Blossom and fruit period /(mg·L <sup>-1</sup> )	果实成熟期 Frutescence /(mg·L <sup>-1</sup> )
大量元素 Macro-element	四水硝酸钙 Calcium nitrate tetrahydrate	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	1286.9	1143.8
	硝酸钾 Potassium nitrate	KNO <sub>3</sub>	532.5	613.5
	磷酸二氢钾 Potassium dihydrogen phosphate	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	38.5	54.5
	磷酸二氢铵 Ammonium dihydrogen phosphate	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	139.5	139.5
	七水硫酸镁 Magnesium sulfate heptahydrate	MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	597.5	548.5
	硫酸钾 Potassium sulfate	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	352.5	360.5
微量元素 Trace element	乙二胺四乙酸二钠铁 EDTA, disodium ferric salt	[-CH <sub>2</sub> N(CH <sub>2</sub> COONa)CH <sub>2</sub> COO] <sub>2</sub> Fe	66.3	66.3
	乙二胺四乙酸锰钠 Manganese disodium EDTA trihydrate	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> O <sub>8</sub> N <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> Mn·2H <sub>2</sub> O	42.8	42.8
	硼酸 Boric acid	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	18.7	18.7
	乙二胺四乙酸锌钠 EDTA-ZnNa <sub>2</sub>	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ZnNa <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	21.9	21.9
	乙二胺四乙酸铜钠 EDTA-CuNa <sub>2</sub>	C <sub>10</sub> H <sub>12</sub> N <sub>2</sub> O <sub>8</sub> CuNa <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	3.2	3.2
	二水钼酸钠 Sodium molybdate dihydrate	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	1.2	1.2

### 1.3 测定项目与方法

1.3.1 番茄茎粗 茎粗测量时间为番茄开花结果期与成熟期,测定部位为从茎基部往上第 3~4 叶之间的茎节,由于茎的形状不是标准的圆柱形,分别在水平旋转 90°方向各测定 1 次,取平均值。

1.3.2 番茄光合指标 在番茄成熟期,于晴天上午的 9:00—12:00 使用美国 LI-COR 公司生产的 Li-6800 便携式光合仪测定番茄叶片的光合指标,包括净光合速率、蒸腾速率、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度和气孔导度。每个小区选 3 株,选取生长点往下第 4 片生长叶中部叶位的小叶进行测定,分别选取 3 个晴天的上午进行测定,取最优数据。

1.3.3 番茄糖度 采用日本爱宕 PAL-1 数显糖度

计测定番茄可溶性糖含量,每处理 3 个重复。

1.3.4 番茄产量 在番茄成熟期,每次采摘时统计各处理番茄的产量、结果数以及单果质量。

### 1.4 基于 TOPSIS 法的番茄各测定指标综合分析

TOPSIS 法计算步骤<sup>[17]</sup>如下:

(1) 构建原始评价参数矩阵:设有  $n$  个评价对象, $m$  个评价指标,第  $i$  行第  $j$  列的数据记为  $X_{ij}$ ,原始数据可写为矩阵  $X = (X_{ij})_{nm}$ ,本试验中共有 16 个处理,选取了 2 个指标,所以  $n = 16, m = 2$ ,对指标进行归一化,即:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum X_{ij}} \quad (1)$$

归一化后第  $i$  行第  $j$  列的数据记为  $Z_{ij}$ ,得到归一

化矩阵  $Z = (Z_{ij})_{nm}$ , 其各列最大值最小值构成的最优、最劣向量分别记为:

$$Z^+ = (Z_{\max 1}, Z_{\max 2}, \dots, Z_{\max m}) \quad (2)$$

$$Z^- = (Z_{\min 1}, Z_{\min 2}, \dots, Z_{\min m}) \quad (3)$$

(2) 第  $i$  个评价对象与最优、最劣方案的距离分别为:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_{\max j} - Z_{ij})^2} \quad (4)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (Z_{\min j} - Z_{ij})^2} \quad (5)$$

(3) 第  $i$  个评价对象与最优方案的接近程度  $C_i$  为:

$$C_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (6)$$

由于贴近度分值取值为 0 ~ 1, 当评价对象指标的向量为最优解向量时,  $C_i = 1$ ; 当评价对象指标向量为最劣解值时,  $C_i = 0$ 。  $C_i$  越接近 1 则表示相应的评价目标越接近最优水平, 相应的评价对象排序越靠前; 反之,  $C_i$  越接近 0, 表示评价目标越接近最劣水平。评价结果最靠近最优解同时又最远离最劣解时为最好。

### 1.5 数据处理

采用 SPSS 23.0 统计分析软件进行数据处理与聚类分析, Duncan 多重比较法进行差异显著性分析 ( $P < 0.05$ ); 采用 Excel 2017 进行图表绘制以及 TOPSIS 法的综合评价。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同营养液配方对不同品种番茄茎粗的影响

各处理番茄茎粗为 11.09 ~ 13.82 mm, F3V2 的茎最粗, 为 13.82 mm; F1V2 次之, 为 13.75 mm;

F2V3 最低, 为 11.09 mm。营养液配方对番茄茎粗的影响不显著, 其茎粗主要受品种影响, ‘童年味’ (V3) 茎粗最小, 在生长上弱于其他 3 个品种 (图 1)。

### 2.2 不同营养液配方对不同品种番茄光合作用的影响

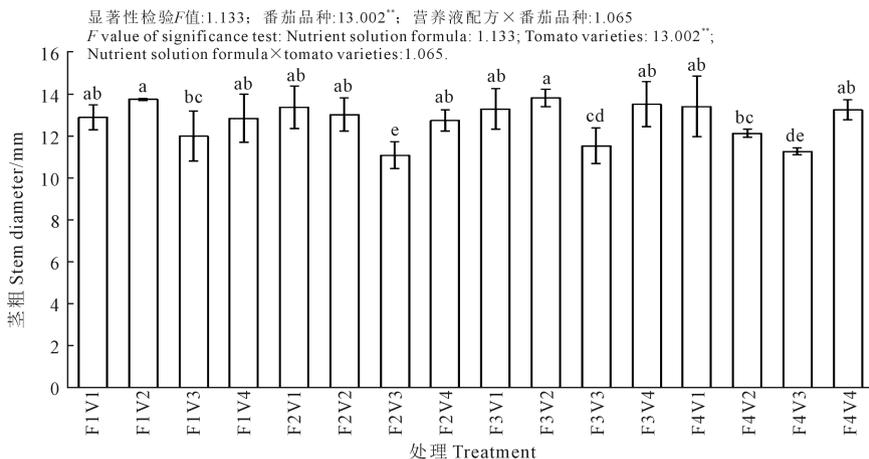
由表 3 可见, 各处理番茄净光合速率为 5.47 ~ 13.55  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 其中 F4V3 处理番茄净光合速率最高, 为 13.55  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; F4V2 处理次之, 为 12.00  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; F1V3 处理最低, 为 5.47  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。V2(120-150) 在无机营养液种植下的净光合速率高于有机无机混合营养液。方差分析结果显示, 营养液配方对 4 个光合指标的影响均达极显著水平, 番茄品种仅对气孔导度的影响达极显著水平, 其他 3 个指标不显著, 二者的交互作用除对胞间  $\text{CO}_2$  浓度影响不显著外, 其他均达显著水平。

### 2.3 不同营养液配方对不同品种番茄糖度的影响

各处理可溶性糖含量为 8.9% ~ 12.3%, F2V3 处理番茄可溶性糖含量最高, 为 12.3%; F2V1 处理次之, 为 11.5%; F4V2 处理最低, 为 8.9%。同无机营养液配方相比, 有机无机混合营养液配方可有效提高番茄的可溶性糖含量。在 F2 条件下, V3(童年味) 的可溶性糖含量显著高于 V2(120-150) 和 V4(DHYZ-03)。方差分析显示, 营养液配方与番茄品种对可溶性糖含量的影响极显著 (图 2)。

### 2.4 不同营养液配方对不同品种番茄产量的影响

由表 4 可见, 各处理番茄的产量在 126 269 ~ 233 324  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。其中 F2V2 处理产量最高, 为 233 324  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ; F1V3 处理次之, 为 207 734  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;



注: 不同小写字母表示不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ); \* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )。下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences among treatments ( $P < 0.05$ ). \* indicates significant difference ( $P < 0.05$ ), \*\* indicates extremely significant difference ( $P < 0.01$ ). The same as blow.

图 1 不同营养液配方对不同品种番茄茎粗的影响

Fig.1 Effects of different nutrient solution formulas on different cultivars of tomato stem diameter

表 3 不同营养液配方对不同品种番茄光合作用的影响

Table 3 Effects of different nutrient solution formulas on different cultivars of tomato photosynthesis

处理 Treatment	净光合速率 Net photosynthetic rate $/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	蒸腾速率 Transpiration rate $/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 Intercellular $\text{CO}_2$ concentration $/(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	气孔导度 Stomatal conductance $/(\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$
F1V1	6.48cd	2.27d	357.97a	0.27fg
F1V2	5.78cd	2.64cd	357.22a	0.25g
F1V3	5.47d	2.27cd	357.22a	0.25g
F1V4	5.70cd	2.43cd	349.67ab	0.24g
F2V1	7.04cd	3.50cd	348.99ab	0.35cd
F2V2	7.57cd	3.35cd	346.46ab	0.34cd
F2V3	6.64cd	4.09bc	344.87ab	0.38bc
F2V4	11.53ab	3.95bcd	340.56bc	0.34cd
F3V1	5.93cd	3.39cd	338.15bcd	0.30de
F3V2	8.74bcd	2.89cd	337.58bcd	0.29ef
F3V3	7.46cd	2.14cd	336.29bcd	0.32de
F3V4	11.35ab	4.59ab	335.65bcd	0.41b
F4V1	6.16cd	3.42cd	335.59bcd	0.33cd
F4V2	12.00ab	5.04ab	335.46bcd	0.41b
F4V3	13.55a	5.89a	326.35cd	0.50a
F4V4	9.18bc	3.62ab	324.71d	0.33cd
显著性检验 $F$ 值 $F$ value of significance test				
营养液配方 Nutrient solution formula (N)	15.314 **	30.079 **	24.642 **	55.329 **
番茄品种 Tomato varieties (V)	1.128	1.595	2.421	6.926 **
品种×营养液配方 V×N	4.724 **	2.732 *	0.299	10.493 **

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ ); \* 表示差异显著( $P<0.05$ ), \*\* 表示差异极显著( $P<0.01$ ),下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences among treatments ( $P<0.05$ ). \* and \*\* indicate significant differences at the level of  $P<0.05$  and  $P<0.01$ , respectively. The same as blow.

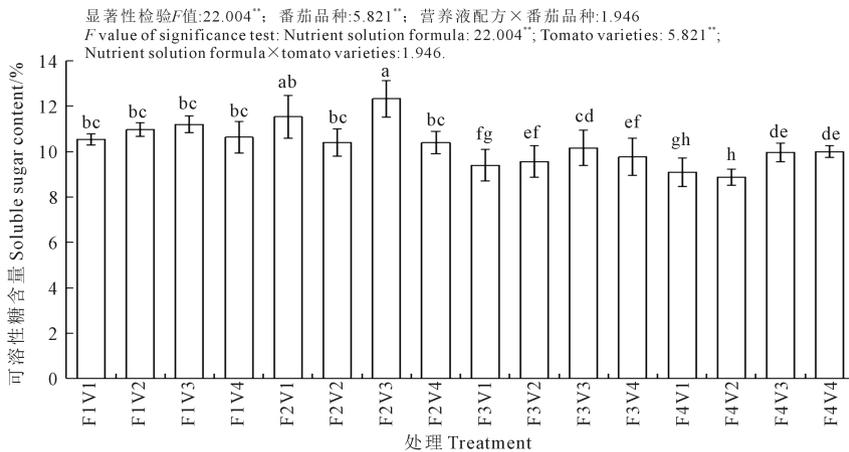


图 2 不同营养液配方对不同品种番茄糖度的影响

Fig.2 Effects of different nutrient solution formulas on different cultivars of tomato soluble sugar content

F4V2 处理最低,为  $126\ 269\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。方差分析显示,营养液配方对番茄产量的影响极显著,除飞天番茄外,有机无机混合配方可有效提高同品种番茄产量。番茄品种对产量的影响极显著,‘童年味’在有机无机混合营养液配方 1 下产量最高;‘120-150’

更适合有机无机混合营养液配方 2;‘飞天番茄’更适合于无机配方 1,‘DHZY-03’更适合于无机配方 2。方差分析显示,营养液配方对单株结果数影响显著,对单果质量影响不显著,单果质量主要受品种影响,F4V4 的单果质量最大。

表 4 不同营养液配方对番茄产量的影响

Table 4 Effects of different nutrient solution formulas on tomato yield

处理 Treatment	单果质量/g Single fruit weight	单株结果数 Fruit number per plant	产量/(kg·hm <sup>-2</sup> ) Yield
F1V1	49.43d	13.67ab	195209cd
F1V2	40.59d	16.00a	193064cd
F1V3	40.77b	11.67bc	207734b
F1V4	49.53ef	13.33ab	181769ef
F2V1	47.36h	11.00bc	152984i
F2V2	45.03a	11.00bc	233324a
F2V3	37.38g	13.00bc	171674gh
F2V4	54.72e	12.67bc	187289de
F3V1	50.78c	13.00bc	204704bc
F3V2	51.29i	10.00de	133574j
F3V3	46.43i	11.00bc	131939j
F3V4	44.09f	12.00bc	177179fg
F4V1	43.68h	10.33cd	150689i
F4V2	36.17j	9.67e	126 269j
F4V3	38.98g	12.00bc	162014hi
F4V4	61.07f	10.67bc	177389fg

显著性检验 *F* 值 *F* value of significance test

营养液配方 N	0.502	7.805 **	92.824 **
番茄品种 V	5.954 **	0.212	7.427 **
品种×营养液配方 V×N	2.134	2.758 *	60.270 **

### 2.5 不同营养液配方与番茄品种的聚类分析

将各处理番茄的所有指标使用欧氏距离法进行聚类分析,结果(图 3)表明,在欧式距离为 5 的水平上可将所有处理归为 4 个类群。第 1 类群包括 F1V1、F1V4、F3V1、F1V2、F1V3、F2V2、F2V3 共 7 个处理;第 2 类群包括 F3V2、F3V3、F2V1、F4V1 共 4 个处理;第 3 类群包括 F4V2 和 F4V3 共 2 个处理;第 4 类群包括 F2V4、F3V4 和 F4V4 共 3 个处理。其中第 1 类群主要代表了有机无机混合营养液配方的特性;第 2 类群与第 3 类群主要代表了无机营养液配方的特性;第 4 类群主要代表了品种 V4(‘DHYZ-03’)的特性。

### 2.6 基于 TOPSIS 法的番茄各测定指标综合分析

根据通过 TOPSIS 法得到的 *C<sub>i</sub>* 值,将各处理番茄按照 *C<sub>i</sub>* 值的大小进行排序,筛选出综合考虑糖度和产量的最优处理。结果(表 5)表明,F2V2 处理的综合价值最高,F1V3 处理次之,比较适合在甘肃地区进行推广;F4V2 处理评价价值最低,综合效果最

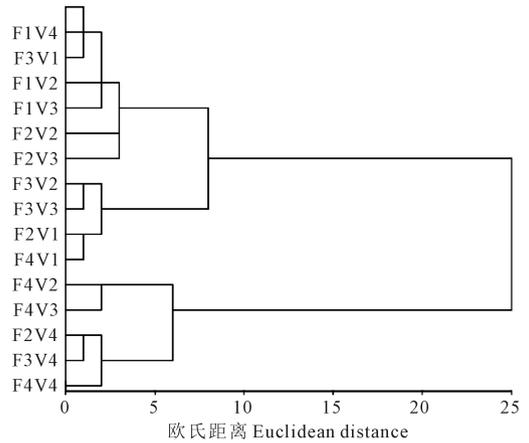


图 3 不同营养液配方与番茄品种处理的聚类分析图

Fig.3 Cluster analysis diagram of tomato treated with different nutrient solution formulations

表 5 基于 TOPSIS 法的番茄指标综合分析排序

Table 5 Tomato fruit comprehensive quality index and sorting in different nutrient solution formulas by TOPSIS

处理 Treatment	产量 Yield	糖度 Soluble sugar content	<i>D<sub>i</sub><sup>+</sup></i>	<i>D<sub>i</sub><sup>-</sup></i>	<i>C<sub>i</sub></i>	排序 Sorting
F1V1	0.0700	0.0639	0.0175	0.0267	0.6043	4
F1V2	0.0693	0.0665	0.0167	0.0271	0.6197	3
F1V3	0.0745	0.0679	0.0115	0.0325	0.7390	2
F1V4	0.0652	0.0645	0.0212	0.0226	0.5164	8
F2V1	0.0549	0.0700	0.0292	0.0188	0.3914	11
F2V2	0.0837	0.0631	0.0117	0.0395	0.7712	1
F2V3	0.0616	0.0748	0.0221	0.0266	0.5460	6
F2V4	0.0672	0.0631	0.0203	0.0238	0.5401	7
F3V1	0.0735	0.0570	0.0205	0.0283	0.5796	5
F3V2	0.0479	0.0580	0.0395	0.0050	0.1121	15
F3V3	0.0473	0.0617	0.0387	0.0081	0.1739	14
F3V4	0.0636	0.0593	0.0255	0.0191	0.4282	10
F4V1	0.0541	0.0552	0.0356	0.008 9	0.1998	13
F4V2	0.0453	0.0538	0.0438	0.0000	0.0000	16
F4V3	0.0581	0.0605	0.0293	0.0145	0.3301	12
F4V4	0.0637	0.0607	0.0246	0.0196	0.4437	9
<i>Z<sup>+</sup></i>	0.0837	0.0748				
<i>Z<sup>-</sup></i>	0.0453	0.0538				

注:*Z<sup>+</sup>*和*Z<sup>-</sup>*分别表示理想解与负理想解;*D<sub>i</sub><sup>+</sup>*和*D<sub>i</sub><sup>-</sup>*分别表示各处理与理想解和负理想解的加权距离;*C<sub>i</sub>*表示相对贴近度。

Note: *Z<sup>+</sup>* and *Z<sup>-</sup>* respectively represent the ideal solution and the negative ideal solution; *D<sub>i</sub><sup>+</sup>* and *D<sub>i</sub><sup>-</sup>* respectively represent the weighted distance between each process and the ideal solution and the negative ideal solution; *C<sub>i</sub>* indicates the relative closeness degree.

差。聚类分析结果可一定程度上说明 F2V2、F1V3 等有机无机混合营养液配方的处理具有共同特性且优于无机营养液处理。说明相比于无机营养液,有机无机营养液可以有效提高番茄的综合品质。

### 3 讨 论

目前蔬菜生产中仍以无机肥为主,但随着相关有机肥研究的增加,人们逐渐意识到有机肥具有改善品质、提高产量等优点,这使有关有机肥替代化肥的研究成为热点。已有研究表明使用有机肥替代化肥,可有效提高玉米的水分利用效率和经济效益,且随着有机肥替代氮肥的比例升高,茶叶的产量、品质均呈递增趋势<sup>[18-19]</sup>。但传统有机肥存在着施用不便、不易吸收、肥效释放缓慢等缺点。堆肥浸提液是通过有机肥腐熟发酵、浸提得来的液体肥。其不仅含有大量植物生长发育所必需的矿质元素,也含有许多有益微生物及代谢产物,具有生产成本低、制作方法简单、养分含量高、兼具生防和肥效等优点,且便于实施滴灌<sup>[16]</sup>,相较于传统有机肥更适合于现代化连栋温室内的无土栽培生产模式。

营养液配方的研究对于椰糠条栽培至关重要。椰糠栽培植物生长所需的养分和水分大部分都通过营养液提供<sup>[20]</sup>,不同营养液配方会直接影响作物的品质和产量<sup>[21-23]</sup>。本试验结果表明,与无机营养液配方相比,有机无机混合营养液配方可显著提高番茄的产量和可溶性糖含量,与前人研究结论一致。与无机营养液相比,有机营养液对番茄具有明显的增产效果,同时可改善番茄营养及风味品质<sup>[9]</sup>,施用蚯蚓有机液肥后果菜的产量品质均显著提高<sup>[24]</sup>,有机浸提液也能提高黄瓜果实的品质产量<sup>[25]</sup>。这可能是由于有机营养液中含有大量无机营养液中所没有的水溶性有机物、微量元素、抗生素、有益微生物和腐植酸<sup>[26-27]</sup>等物质,这些物质可直接促进作物生长,其对土壤和番茄植株的长久作用可提供更大的生产效益<sup>[28]</sup>,还可起到增强土壤肥力、增加土壤有机碳、改善土壤质地的作用<sup>[29]</sup>。

有机无机混合营养液对比全有机营养液也更具优势。与无机营养液相比,有机营养液在实际制备过程中易受有机粪肥的种类、质量、纯度以及各种不稳定因素的影响,造成氮、磷、钾等无机养分含量偏低且不易控制。这就导致了有机营养液在植株生长后期易出现肥力不足的问题,没有无机营养液肥效吸收快。已有研究表明,堆肥与无机肥的配合施用,可在提高产量的同时改善果实品质<sup>[30]</sup>,在实际生产中,采用有机营养液和无机营养液结合的方式进行施肥,可以有效提高番茄果实糖度并避免养分不足造成的脱肥,同时实现番茄的高糖与高产。有机无机混合营养液兼具有机营养液与无机

营养液的优点,具有应用价值。

本研究发现有有机无机混合营养液提升番茄光合作用的效果不明显。这与前人得到的施用有机营养液可提高作物光合速率的结论<sup>[9,25]</sup>不一致。这可能与本研究测定光合指标的时间设定有关,营养液配方可能改变了成熟期之前其他生长期的光合,因此应在生长发育的每个关键时期进一步研究营养液配方对番茄光合作用产生的影响。光合作用受营养液配方的影响效应显著,但受品种的影响效应不显著,而糖度和产量受营养液配方及品种的影响效应均显著,同时,光合作用对糖度与产量的贡献远低于品种特性。这也可能是由于本次试验使用的有机无机混合营养液元素成分与前人所用的全有机营养液不同所致。这也说明有机无机混合营养液配方的设计仍需完善,混合配方中的有机营养液与无机营养液的比例仍需要反复试验,并制定出一个生产标准。

优良品种是蔬菜高产稳产的基础,在基质栽培过程中也十分重要<sup>[31-32]</sup>,因地制宜地选择番茄品种,可以有效提高番茄的产量和品质<sup>[33-34]</sup>。本试验结果表明,同其他品种相比,‘DHZY-03’的产量最高,光合能力最强,可溶性糖含量仅略低于‘童年味’,具有一定的推广价值。

### 4 结 论

糖度最高的处理为 F2V3 (有机无机混合营养液配方 2+‘童年味’),产量最高及综合糖度和产量均最优处理为 F2V2 (有机无机混合营养液配方 2+‘120-150’),说明 F2V3 与 F2V2 两个组合较适合在甘肃地区进行推广,能为西北地区高糖番茄生产提供技术支持。

#### 参 考 文 献:

- [1] 李建国,潘铜华,王玲慧,等.水肥耦合对番茄光合、产量及水分利用率的影响[J].农业工程学报,2014,30(10):82-90.  
LI J M, PAN T H, WANG L H, et al. Effects of water-fertilizer coupling on tomato photosynthesis, yield and water use efficiency [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(10): 82-90.
- [2] 李君明,项朝阳,王孝宣,等.十三五"我国番茄产业现状及展望[J].中国蔬菜,2021,(2):13-20.  
LI J M, XIANG C Y, WANG X X, et al. Current situation of tomato industry in China during 'The Thirteenth Five-year Plan' period and future prospect [J]. China Vegetables, 2021, (2): 13-20.
- [3] 钱宝玲,米兴旺,李娟,等.酒泉市戈壁日光温室栽培番茄品种比较试验[J].黑龙江农业科学,2021,(3):70-73.  
QIAN B L, MI X W, LI J, et al. Comparative experiment of tomato varieties cultivated in Gobi solar greenhouse in Jiuquan City [J]. Hei-

- longjiang Agricultural Sciences, 2021, (3): 70-73.
- [4] 刘勋志,叶文华,徐玉莲.番茄椰糠条水培技术[J].长江蔬菜,2020,(9):35-36.  
LIU X Z, YE W H, XU Y L. Water culture technology of tomato coconut bran[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2020, (9): 35-36.
- [5] 孙永生,李光连,王国政,等.高糖番茄栽培关键技术[J].北方园艺,2020,(20):166-169.  
SUN Y S, LI G L, WANG G Z, et al. Key cultivation techniques of high sugar tomato[J]. Northern Horticulture, 2020, (20): 166-169.
- [6] BRUNETTI G, TRAVERSA A, DE MASTRO F, et al. Short term effects of synergistic inorganic and organic fertilization on soil properties and yield and quality of plum tomato[J]. Scientia Horticulturae, 2019, 252: 342-347.
- [7] 范兵华,马乐乐,李建明.不同配方营养液对番茄产量、品质及养分吸收的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2021,49(5):104-112, 122.  
FAN B H, MA L L, LI J M. Effects of different nutrient solutions on yield, quality and nutrient absorption of greenhouse tomatoes [J]. Journal of Northwest a&F University(Natural Science Edition), 2021, 49(5): 104-112, 122.
- [8] MOHAMED Y, MOHAMED I, ELSADEK M, et al. Improving growth, productivity, and chemical composition of *Trachyspermum ammi* L. by using organic and chemical fertilization in the presence of Boron[J]. Industrial Crops and Products, 2021, 169: 113637.
- [9] 邓红云.施用有机肥对作物生长发育的影响及抗病性的作用[J].农家参谋,2019,(36):76.  
DENG H Y. Effects of applying organic fertilizer on crop growth and development and disease resistance[J]. Adviser of Peasant Families, 2019, (36): 76.
- [10] 辛鑫,贾琪,牟孙涛,等.不同有机营养液水培番茄效果分析[J].西北农业学报,2019,28(8):1294-1301.  
XIN X, JIA Q, MOU S T, et al. Effect analysis of hydroponic tomato with different organic nutrient solution[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2019, 28(8): 1294-1301.
- [11] 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.
- [12] 高子星,马进芳,胡晓辉.高寒地区日光温室不同番茄品种产量和品质的比较[J].北方园艺,2019,(15):61-68.  
GAO Z X, MA J F, HU X H. Comparison of yield and quality of fruit tomato cultivars in solar greenhouse in high and cold area [J]. Northern Horticulture, 2019, (15): 61-68.
- [13] 沈火均,张永红,赵娟,等.樱桃番茄新品种引进及基质栽培比较试验[J].农技服务,2017,34(2):1-2.  
SHEN H J, ZHANG Y H, ZHAO J, et al. Introduction of new cherry tomato varieties and comparison of substrate cultivation[J]. Agricultural Technology Service, 2017, 34(2): 1-2.
- [14] 吴菊,鲍维巨,严中祺,等.有机基质栽培樱桃番茄品种比较试验[J].长江蔬菜,2017,(14):53-56.  
WU J, BAO W J, YAN Z Q, et al. Comparative experiment of cherry tomato cultivars under organic substrate culture [J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2017, (14): 53-56.
- [15] 钟泽,杨云云,许飞飞,等.不同施肥量对椰糠栽培番茄生长的影响[J].中国瓜菜,2018,31(12):45-48.  
ZHONG Z, YANG Y Y, XU F F, et al. Effect of dose of fertilizer on tomato growth planted under coconut-coir cultivation[J]. China Cucurbits and Vegetables, 2018, 31(12): 45-48.
- [16] 李惠,李建明,丁明,等.堆肥浸提液对番茄、黄瓜种苗生长及养分吸收的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2017,45(2):121-127.  
LI H, LI J M, DING M, et al. Effect of compost extracts on growth and nutrition absorption of tomato and cucumber seedlings [J]. Journal of Northwest a&F University(Natural Science Edition), 2017, 45(2): 121-127.
- [17] 管孝艳,王少丽,吕烨,等.基于Topsis方法的北方地区农业干旱应对能力分析[J].灌溉排水学报,2014,33(4):374-377.  
GUAN X Y, WANG S L, LYU Y, et al. Analysis of the ability to mitigate agricultural drought in China North based on topsis method [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2014, 33(4): 374-377.
- [18] 郭龙,李陈,刘佩诗,等.牛粪有机肥替代化肥对茶叶产量、品质及茶园土壤肥力的影响[J].水土保持学报,2021,35(6):264-269.  
GUO L, LI C, LIU P S, et al. Effect of replacing chemical fertilizer with cow manure organic fertilizer on tea yield, quality, and soil fertility in tea garden [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2021, 35(6): 264-269.
- [19] 陈倩,谢军红,李玲玲,等.不同比例有机肥替代化肥对玉米生长及水分利用效率的影响[J].干旱地区农业研究,2021,39(6):162-170.  
CHEN Q, XIE J H, LI L L, et al. Effects of different proportions of organic fertilizer substitutes for chemical fertilizer on growth characteristics and water use efficiency of maize [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2021, 39(6): 162-170.
- [20] 雷明帅,武占会,刘明池,等.黄瓜封闭式无机基质槽培营养液配方的筛选[J].北方园艺,2018,(3):7-15.  
LEI M S, WU Z H, LIU M C, et al. Screening formula of nutrient solution for cucumber in enclosed inorganic substrate circulation trough [J]. Northern Horticulture, 2018, (3): 7-15.
- [21] 闫思华,王雅鑫,李建设.硬水区基质培芹菜不同营养液配方筛选[J].北方园艺,2020,(3):15-21.  
YAN S H, WANG Y X, LI J S. Selection of different nutrient solution formulas for the celery of substrate culture in hard water area [J]. Northern Horticulture, 2020, (3): 15-21.
- [22] 丰锋,谢裕华,冯雅兰,等.香蕉无土育苗基质筛选及营养液配方优化[J].中国南方果树,2016,45(6):56-60.  
FENG F, XIE Y H, FENG Y L, et al. Substrate selection and nutrient solution formulation optimization of banana soilless seedling [J]. South China Fruits, 2016, 45(6): 56-60.
- [23] 唐忠建,赵宝龙,孙茉莉,等.草莓无土栽培基质与营养液配方筛选试验研究[J].陕西农业科学,2016,62(4):54-56,128.  
TANG Z J, ZHAO B L, SUN J L, et al. Selection of substrate and nutrient solution for soilless cultivation of strawberry [J]. Shaanxi Journal of Agricultural Sciences, 2016, 62(4): 54-56, 128.
- [24] 朱恩,林天杰,严瑾,等.蚯蚓有机液肥在蔬菜栽培中的应用效果初探[J].上海农业科技,2016,(1):119-121.

- ZHU E, LIN T J, YAN J, et al. Application effect of earthworm organic liquid fertilizer in vegetable cultivation [J]. Shanghai Agricultural Science and Technology, 2016, (1): 119-121.
- [25] 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 Z, 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 Sciences, 2014, 35(4): 33-38.
- [26] SIDDIQUI Y, MEON S, ISMAIL R, et al. Bio-efficiency of compost extracts on the wet rot incidence, morphological and physiological growth of okra (*Abelmoschus esculentus* [(L.) Moench]) [J]. Scientia Horticulturae, 2008, 117(1): 9-14.
- [27] SIDDIQUI Y. Bio-efficacy of compost extracts for the control of choanephora wet rot okra (*Abelmoschus Esculentus* L.) [D]. Serdang: Universiti Putra Malaysia, 2005.
- [28] BAUTISTA J, HERNÁNDEZ-MENDOZA F, GARCÍA-GAYTÁN V. Impact on yield, biomass, mineral profile, pH, and electrical conductivity of cherry tomato fruit using a nutrient solution and a silicon-based organomineral fertilizer [J]. Advances in Agriculture, 2020, 2020: 8821951.
- [29] ZIOGAS M, IPSILANTIS I, MATSI T, et al. Long-term fertilization with liquid cattle manure leaves legacy nutrients, but not organic carbon and has no effect on soil microbial and physical properties a year after last application [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2021, 52(11): 1264-1274.
- [30] HERNÁNDEZ T, CHOCANO C, MORENO J L, et al. Towards a more sustainable fertilization: combined use of compost and inorganic fertilization for tomato cultivation [J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2014, 196: 178-184.
- [31] 成艳红,武琳,黄欠如,等.控释肥配施比例对稻草覆盖红壤旱地花生产量的影响[J].土壤通报,2014,45(5):1213-1217.
- CHENG Y H, WU L, HUANG Q R, et al. Effect of controlled release fertilizer ratio on yield of peanut on upland red soil mulched with rice straw [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2014, 45(5): 1213-1217.
- [32] 陶妹宇.缓控释氮肥调控对花生产量及氮素吸收利用的影响[J].农业科技与装备,2016,(10):1-3,6.
- TAO S Y. Effect of controlled-release nitrogen fertilizer adjustment on peanut yield and nitrogen absorption and utilization [J]. Agricultural Science & Technology and Equipment, 2016, (10): 1-3, 6.
- [33] 黄海生.陕北榆林地区日光温室番茄品种引进与标准化栽培研究 [D].咸阳:西北农林科技大学,2018.
- HUANG H S. Research on introduction and standardized cultivation of tomato varieties in sunlight greenhouse at yulin area of northern Shanxi Province [D]. Xianyang: Northwest A&F University, 2018.
- [34] 赵婧,仪泽会,毛丽萍.设施基质栽培番茄品种比较试验 [J].山西农业科学,2019,47(9):1558-1560,1597.
- ZHAO J, YI Z H, MAO L P. Comparison test of tomato varieties cultivated in facility substrate [J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2019, 47(9): 1558-1560, 1597.

(上接第 145 页)

- [24] 井淑香,郑以宏,袁永胜,等.不同生育时期倒伏对夏玉米生育性状和产量的影响[J].山东农业科学,2018,50(2):61-63,67.
- JING S X, ZHENG Y H, YUAN Y S, et al. Effects of lodging at different growing stages on growing characters and grain yield of summer maize [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2018, 50(2): 61-63, 67.
- [25] 曹庆军,曹铁华,杨粉团,等.灌浆期风灾倒伏对玉米籽粒灌浆特性及品质的影响[J].中国生态农业学报,2013,21(9):1107-1113.
- CAO Q J, CAO T H, YANG F T, et al. Effect of wind damage on grain-filling characteristics, grain quality and yield of spring maize (*Zea mays* L.) [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(9): 1107-1113.
- [26] 程富丽,杜雄,刘梦星,等.玉米倒伏及其对产量的影响[J].玉米科学,2011,19(1):105-108.
- CHENG F L, DU X, LIU M X, et al. Lodging of summer maize and the effects on grain yield [J]. Journal of Maize Sciences, 2011, 19(1): 105-108.
- [27] 周强.玉米穗粒性状 QTL 的初步定位及两个百粒重 QTL 的验证 [D].郑州:河南农业大学,2012.
- ZHOU Q. OTL detection for ear-kernel traits and verification for two 100-grain weight QTLs in maize [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2012.
- [28] 徐宗贵,孙磊,王浩,等.种植密度对旱地不同株型春玉米品种光合特性与产量的影响[J].中国农业科学,2017,50(13):2463-2475.
- XU Z G, SUN L, WANG H, et al. Effects of different planting densities on photosynthetic characteristics and yield of different variety types of spring maize on dryland [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2017, 50(13): 2463-2475.
- [29] 金容,李钟,杨云,等.密度和株行距配置对川中丘区夏玉米群体光分布及雌雄穗分化的影响[J].作物学报,2020,46(4):614-630.
- JIN R, LI Z, YANG Y, et al. Effects of density and row spacing on population light distribution and male and female spike differentiation of summer maize in hilly area of central Sichuan [J]. Acta Agronomica Sinica, 2020, 46(4): 614-630.
- [30] SMITH O S, HALLAUER A R, RUSSELL W A. Use of index selection in recurrent selection programs in maize [J]. Euphytica, 1981, 30(3): 611-618.