

关中地区日光温室番茄东西垄向栽培模式探索

孙利萍, 高敏丽, 闫宝华, 杨 敏

(渭南市农业科学研究院 陕西渭南 714000)

摘 要:为探索陕西关中地区日光温室番茄宜机化栽培模式,以该地区广泛应用的 95 式日光温室为研究场景,分析了东西垄向不同株垄距配置对冠层透光率及番茄生长、产量和品质的影响。结果表明,与传统南北行垄向相比,东西垄向栽培虽然增大了同垄植株间的光照差异,但有利于南行植株获得更优光照,促进南行植株单果质量、结果数量和单株产量提高,进而形成较高的总产量。东西垄向最佳栽培模式为中心垄距 1.7 m,株距 32 cm,在此条件下,番茄单果质量和商品率最高,商品果产量比传统南北行垄向增加 19.2%。此外,研究还发现,不同株垄距对果实品质的影响不显著,但对光照分布有显著影响,增大株距有助于提升冠层上、中部北行植株的透光率,而增大垄距则有效改善了冠层底部的光照条件。研究结果可为该地区日光温室番茄宜机化栽培模式提供参考。

关键词:番茄;东西垄向;生长;透光率;产量;品质

中图分类号:S641.2

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2025)09-180-07

Exploration on east-west ridge cultivation mode of tomato in solar greenhouse in Guanzhong area

SUN Liping, GAO Minli, YAN Baohua, YANG Min

(Weinan Institute of Agricultural Sciences, Weinan 714000, Shaanxi, China)

Abstract: In order to explore the suitable mechanized cultivation mode of tomato in solar greenhouse in Guanzhong area of Shaanxi province, the 95-type solar greenhouse widely used in this area was taken as the research scene, and the effects of different plant ridge spacing configuration on canopy light transmittance, tomato growth, yield and quality were analyzed. The results showed that compared with the traditional north-south row ridge, although the east-west ridge cultivation aggravated the light difference between the plants on the same ridge, it was beneficial for the south row plants to obtain better light, promote the single fruit mass, fruit number and yield per plant of the south row plants, and then form a higher total yield. The best cultivation mode of east-west ridge was: 1.7 m center ridge spacing and 32 cm plant spacing. Under this condition, the single fruit mass and commodity rate of tomato were the largest, and the commodity fruit yield was 19.2% higher than that of the traditional north-south ridge. In addition, the study also found that different plant ridge spacing had no significant effect on fruit quality, but had significant effect on light distribution. Increasing the plant spacing helped to increase the light transmittance of the upper and middle north plants in the canopy, while increasing the ridge spacing effectively improved the light conditions at the bottom of the canopy. The research results provide a reference for the suitable mechanized cultivation mode of tomato in solar greenhouse in this area.

Key words: Tomato; East-west ridge; Growth; Light transmittance; Yield; Quality

随着现代农业技术的进步,机械化作业在农业生产中的应用日益普及,对提升劳动效率和降低劳动力成本扮演了关键角色。在设施农业领域,日光温室栽培作为一种高效的农业生产方式,机械化程度的提升已成为研究的焦点^[1]。东西垄向栽培模式,作为一种顺应机械化作业需求的栽培方法,可

提高机械化率 38.8%,降低人工成本 8.1%,在番茄种植领域逐步得到应用和推广^[2-5]。然而,垄向的改变可能会对番茄生长的温度、光照、湿度等环境造成影响^[6]。株垄距配置是协调垄向改变条件下个体通风受光条件及营养状况并最终作用于产量和品质的重要因素^[7-8]。

收稿日期:2025-03-24;修回日期:2025-05-30

基金项目:陕西省农业协同创新与推广联盟项目(LM202304)

作者简介:孙利萍,女,农艺师,主要从事蔬菜作物育种与栽培技术研究工作。E-mail:wsistescom@126.com

通信作者:高敏丽,女,高级农艺师,主要从事蔬菜作物育种与栽培技术研究工作。E-mail:568192807@qq.com

受纬度、光照及气候条件的影响,各地区适宜日光温室番茄东西垄向栽培的株垄距存在差异。在西北宁夏地区东西大垄单行种植,垄距 2.2 m,株距 15.2 cm,可获得较高的早期产量和较高的品质^[9];在唐山地区东西大垄单行种植,垄距 1.2 m,株距 17.5 cm,栽培效果优于东西垄向双行定植和南北垄向栽培^[10];在东北辽宁地区采用东西大垄单行栽培,垄距 1.1 m,株距 10 cm,中下部透光性好,产量最高^[11],或采用东西大垄双行栽培,中心垄距 1.8 m,株距 37.0 cm,行距 40 cm,光截获量和单株产量分别比南北垄向提高 11.22%和 11.17%^[12];在山东地区大垄双行栽培、中心垄距 1.8 m、株距 30 cm 模式下,番茄植株长势最好,净光合速率、叶绿素含量及根系活力最大,产量最高^[13]。而在关中地区有关日光温室东西垄向的研究较少。

陕西关中地区作为我国重要的设施蔬菜生产基地,95 式日光温室(跨度 9 m,脊高 5 m)由于良好的保温效果和番茄种植效益在该地区广泛使用^[14]。鉴于此,笔者选取 95 式日光温室作为研究场景,以传统南北垄栽培为对照,研究东西垄向不同垄距和株距对冠层透光率、番茄生长、产量和品质的影响,

以期探求关中地区东西垄向栽培模式下番茄的最佳株垄距配置,为实现机械化生产和土地科学利用提供技术指导。

1 材料与方法

1.1 材料

95 式日光温室长 90 m,跨度 9 m,脊高 5 m;供试番茄品种为北京益番京采农业科技有限公司提供的中型水果番茄京采 8 号。

1.2 方法

试验于 2023 年 9 月至 2024 年 5 月在陕西省渭南市蒲城县渭南市农业科学研究院孙镇试验站日光温室内进行。考虑到温室南侧铺设运输轨道需要预留 0.5 m 的空间,剩余 8.5 m 用于番茄种植。以传统南北行 1.5 m 垄距为对照,共设置东西行 1.7 m、1.9 m、2.1 m 3 个垄距处理(表 1),3 次重复,随机排列,东西垄每重复长 7 m,面积 59.50 m²,南北垄每重复长 7.5 m,面积 63.75 m²。所有处理番茄均采用起垄栽培,除 1.9 m 最北侧垄采用单行栽培外,其他所有处理均采用 1 垄双行栽培,垄底宽 80 cm,垄顶宽 60 cm,垄高 20 cm。

表 1 试验处理
Table 1 Experimental treatments

处理 Treatment	垄向 Direction	中心垄距 Central ridge distance/m	株距 Plant spacing/cm	行距 Row spacing/cm	种植密度 Plant density/(plant·667 m ²)	作业道宽 Road width/cm
1.7 m	东西 East-west	1.7	32	40	2500	90
1.9 m	东西 East-west	1.9	29	40	2500	110
2.1 m	东西 East-west	2.1	25	40	2500	130
CK	南北 South-north	1.5	35	40	2500	70

底肥施用腐熟的羊粪 5 m³,并配合施用中微量元素肥 60 kg、矿源腐殖酸钾 150 kg,每株留 7 穗果摘心,单干整枝,水肥一体化统一管理,冬季采用精量电动弥粉机进行病虫害防治。

1.3 测定指标及方法

各处理每垄选取有代表性的 10 株,进行番茄形态指标、产量指标和品质指标的测定,结果取平均值。

1.3.1 番茄形态指标的测定 定植后 80 d 采用常规方法测量株高、茎粗、叶片数和叶面积。采用卷尺测量株高;采用游标卡尺测量子叶部位以上 2 cm 处的茎秆直径为茎粗;采用番茄叶面活体测量法,用卷尺测量茎基部至顶端生长点间全部叶长大于 5 cm 的叶片的叶长(Ll)、叶宽(Lw),并计算番茄单

叶叶面积(S), $S/\text{cm}^2=R\times(Ll\times Lw)$ 。

式中:R 代表叶面积系数,当叶长小于 20 cm 时,R 取值为 0.378 2,当叶长大于 20 cm 时,R 取值为 0.318 4。

1.3.2 番茄产量指标的测定 结果期记录每个植株的坐果数量,在第 2 穗果实成熟时,每个植株选择 1 个果实测定单果质量,计算单株产量和总产量。

1.3.3 番茄品质指标的测定 果实成熟期每株取第 2 穗果实中果形饱满的成熟果实 1 个,采用日本爱拓果实糖酸一体机测定可溶性固形物含量、有机酸含量和糖酸比(可溶性固形物含量/有机酸含量)。

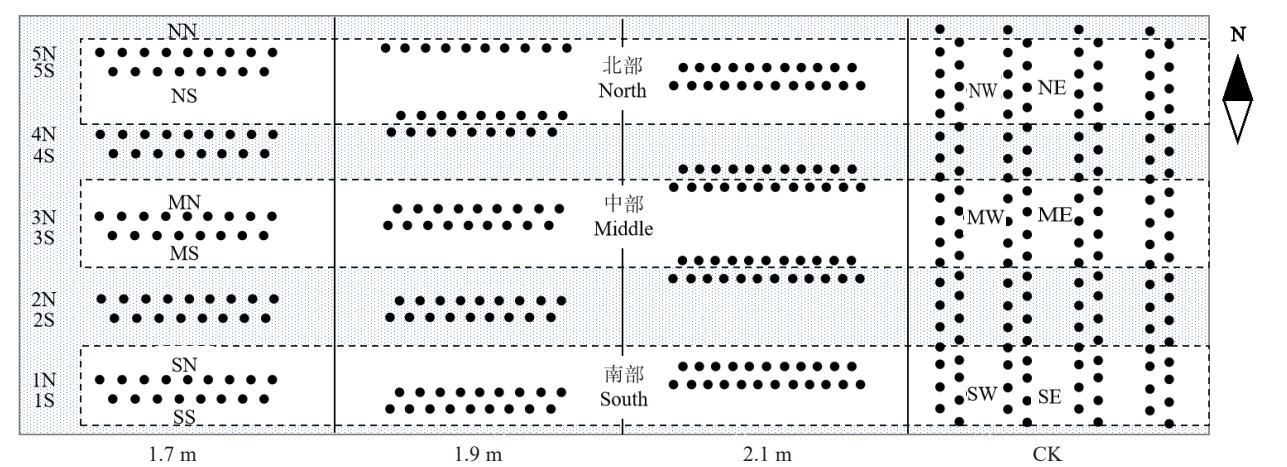
1.3.4 商品率指标测定 在结果期,各处理每行向选择 10 株成熟番茄果实称取质量,以大小均匀一致、果面无损伤的果实记为商品果。商品率/%=10

株商品果质量/10株果实总质量×100。

1.3.5 冠层透光率的测定 选择晴天(2024年12月20日)中午11:00—13:00,利用台湾泰式TES-1332型照度计进行测量。将温室由南向北平均划分为温室南部、温室中部、温室北部3部分,并在每个部分选取空间分布相对一致的植株进行测定,东西垄处理温室各部位南行(S)、北行(N)各5株,南北垄处理温室各部位东行(E)、西行(W)各5

株(详见图1)。测定时在距离番茄植株10cm圆周均匀选择5个点,测量冠层顶部、冠层上部(距地面150cm)、冠层中部(距地面100cm)、冠层下部(距地面50cm)处的光照强度,并计算透光率(R)和差异率。 $R\% = Q/Q_0 \times 100$; 差异率/%=(南行或西行透光率-北行或东行透光率)/北行或东行透光率×100。

式中:R为不同部位的透光率,Q为冠层不同部位的光照强度, Q_0 为冠层顶部的光照强度。



注:NN、NS、MN、MS、SN、SS 分别表示东西垄向温室北部的北行和南行、温室中部的北行和南行、温室南部的北行和南行;NE、NW、ME、MW、SE、SW 分别表示南北垄向温室北部的东行和西行、温室中部的东行和西行、温室南部的东行和西行。表2同。

Note: NN, NS, MN, MS, SN, SS represent north and south of the ridge in the northern part, middle part and southern part of the greenhouse under the east-west range planting pattern, respectively; NE, NW, ME, MW, SE, SW represent east and west of the ridge in the northern part, middle part and southern part of the greenhouse under the south-north range planting pattern, respectively. The same as table 2.

图1 不同处理种植模式及透光率测定点位示意图

Fig. 1 Schematic diagram of different treatment planting patterns and light transmittance measurement position

1.4 数据处理

采用 SPSS 19 软件进行数据统计分析,采用 Excel 作图。

2 结果与分析

2.1 不同垄栽培方式对番茄冠层透光率的影响

日光温室番茄栽培由传统南北垄向转为东西垄向后,不同垄之间以及同一垄南北行植株之间会产生一定的光照遮挡。本试验结果(表2)表明,南北垄向和东西垄向所有植株冠层的透光率由南向北整体上呈逐渐减弱的趋势,东西垄向的南行透光率高于北行,(在测定时刻)南北垄向的西行透光率高于东行。在冠层上部,CK 平均透光率最高,为62.08%,东西行透光差异率30.87%;1.7 m、1.9 m、2.1 m 处理透光率分别为57.62%、56.10%、55.95%,南北行透光差异率分别为41.36%、49.54%和60.26%,说明南北行栽培时冠层上部的光照环境优

于东西行,东西行栽培不同株垄距对光照影响不大,但增大株距可以减少南北行透光差异率。在冠层中部,1.7 m 处理平均透光率最高,为29.06%,其次为CK(27.52%),2.1 m 处理平均透光率仅为24.83%,同垄双行差异率相比冠层上部均有所增大,尤其是2.1 m 处理的南北行差异率达到103.35%,通过处理间对比,造成该差异的主要原因是2.1 m 处理北行植株透光率较低,说明在冠层中部较小的株距使空间枝叶密度增大,加剧了相邻植株间的光照遮挡。冠层底部以2.1 m 处理和CK透光率较高,分别为16.76%和16.36%,除1.7 m 处理的温室南部北行和1.9 m 处理的温室北部南行外,2.1 m 处理的南行、北行植株透光率均优于1.9 m 和1.7 m 处理,说明较大的垄距可以减少垄间的遮光影响,促进冠层下部进入更多光照,从而形成较好的光照条件。在所有冠层高度,1.9 m 垄距最北侧单行植株透光率均优于其他处理相同位置的植株

表 2 不同处理种植模式的冠层透光率
Table 2 The light transmittance of the canopy of different treatment planting patterns

位置 Position	冠层上部透光率 The light transmittance of the upper canopy/%				冠层中部透光率 The light transmittance of the middle canopy/%				冠层下部透光率 Light transmittance of the bottom canopy/%			
	1.7 m	1.9 m	2.1 m	CK	1.7 m	1.9 m	2.1 m	CK	1.7 m	1.9 m	2.1 m	CK
SS/SE	71.45	70.77	72.79	62.00	40.72	40.54	39.29	25.80	18.69	21.14	26.61	16.40
SN/SW	52.35	55.42	52.80	75.15	25.67	22.24	18.51	37.14	13.50	11.67	12.40	18.89
MS/ME	66.14	60.10	66.45	50.00	34.17	30.77	32.72	22.38	18.81	19.78	22.48	15.14
MN/MW	47.55	44.85	41.04	70.43	23.36	18.64	16.40	32.49	9.62	9.61	12.93	18.92
NS/NE	64.69	68.72	65.05	49.84	30.10	32.25	27.94	19.67	14.18	18.30	16.22	12.59
NN/NW	43.56	36.77	37.58	65.06	20.36	20.07	14.09	27.62	7.38	8.99	9.90	16.22
平均 Average	57.62	56.10	55.95	62.08	29.06	27.42	24.83	27.52	13.70	14.92	16.76	16.36
差异率 Variation rate/%	41.36	49.54	60.26	30.87	50.94	69.32	103.35	43.18	75.35	96.80	84.09	23.01

透光率,说明单行栽培在一定程度上改善了温室北部植株的透光率。

2.2 不同东西垄栽培方式对番茄生长指标的影响

从表 3 可以看出,定植后 80 d,株高和叶面积以 2.1 m 南行最高,茎粗和叶片数以 1.7 m 南行最高。4 种栽培模式的茎粗、叶片数及叶面积均无显著差异,除 2.1 m 南行的株高显著高于 CK 的西行外,其他处理均无显著差异。

2.3 不同东西垄栽培方式对番茄产量的影响

2.3.1 不同东西垄栽培方式对番茄产量分布的影响

图 2 反映了不同东西垄栽培方式下,番茄产量在各栽培垄南北行的分布情况,所有处理中,2-S 到 4-S 之间的 5 个栽培行是番茄高产区,但各处理间产量差异较大,2.1 m 垄距单行产量优势明显,1.7 m 垄距和 1.9 m 垄距单行产量相似;靠近温室南侧的第 1 垄和靠近温室北侧的第 4 垄北行及第 5 垄产量相对较低,除光照条件外,可能与温室上下风口的分布有关。

产量折线图波动幅度代表了同一垄南北行之间的差异大小。受冠层光环境影响,同一栽培垄南

表 3 不同东西垄栽培方式对番茄生长指标的影响
Table 3 Effects of different ridge cultivation patterns on growth indexes of tomato

处理 Treatment		株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/mm	叶片数 Leaf number/cm ²	叶面积 Leaf area/cm ²
1.7 m	南行 South of the ridge	127.00±8.80 ab	10.06±1.09 a	23.40±1.34 a	393.42±80.07 a
	北行 North of the ridge	124.00±6.20 ab	8.88±0.89 a	21.80±0.84 a	350.94±64.26 a
1.9 m	南行 South of the ridge	124.40±8.79 ab	9.75±0.45 a	21.20±0.45 a	389.83±70.42 a
	北行 North of the ridge	125.60±3.65 ab	9.25±0.88 a	20.40±1.52 a	366.10±16.67 a
2.1 m	南行 South of the ridge	128.60±6.19 a	9.15±0.31 a	21.80±0.84 a	449.90±24.16 a
	北行 North of the ridge	124.60±13.01 ab	9.38±0.68 a	21.20±1.48 a	389.85±73.29 a
CK	东行 East of the ridge	121.40±2.07 ab	9.15±0.31 a	21.40±1.52 a	393.73±27.99 a
	西行 West of the ridge	118.40±6.50 b	9.37±0.68 a	21.00±1.22 a	401.44±43.53 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。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference between treatments at 0.05 level. The same below.

行产量均高于北行。各处理中,除第 3 垄外,1.7 m 南北行产量差异最大,第 4 垄和第 5 垄的差异率分别达到 47%和 42%;相比之下,2.1 m 各垄南北行产量差异最小,差异最大的第 3 垄也仅有 23%。由此可见,较大的垄距可以缩小东西垄栽培中南北行之间的产量差异。

2.3.2 不同东西垄栽培方式对番茄总产量和产量构成的影响 单果质量和结果个数是影响单株产量的两个主要因素,进而决定了番茄总产量。由表

4 可知,不同垄距和株距对番茄产量构成产生了不同影响。东西行栽培的所有处理中,南行番茄的单果质量和结果个数均优于北行,虽然同垄双行间未产生显著差异,但在单果质量和结果个数的共同作用下,各处理南行植株的单株产量均显著高于北行;但各处理间南行植株未产生显著差异,2.1 m 处理的北行产量显著高于 1.7 m 处理的北行。在传统南北行栽培模式(CK)中,东行和西行的产量构成要素均未产生显著差异。在比较不同处理间的差异

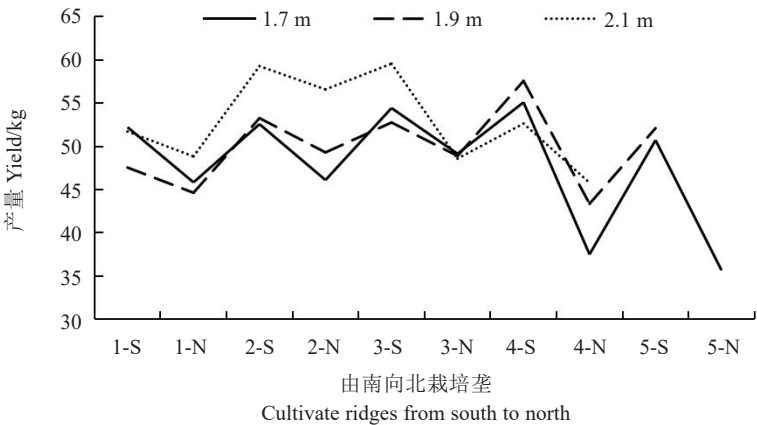


图 2 不同东西垄栽培方式对番茄产量分布的影响
Fig. 2 Effects of different ridge cultivation methods on yield distribution of tomato

时,笔者发现各处理的相同行单株结果数相当,但是单果质量随着垄距增大株距减小而逐渐减小,这表明株垄距对单株结果数的影响不大,但增加株距有助于增大单果质量。

值得注意的是,不同处理不同栽培行的商品果率也存在差异,由高到低依次为 CK>1.7 m>1.9 m>2.1 m。所有东西行栽培处理的小区产量和商品果产量均优于 CK,1.7 m 处理商品果产量最高,达到 455.01 kg,比对照增加了 19.2%;2.1 m 处理产量最低,商品果产量为 391.15 kg,但仍比对照增加了 2.5%。

2.4 不同东西垄栽培方式对番茄品质的影响

可溶性固形物含量是评价果实含糖量最常用的指标^[15],在较高的含糖量基础上有合适的糖酸比才会形成良好的风味^[16]。由表 5 可知,不同栽培模式以及不同空间分布下番茄果实的可溶性固形物含量、有机酸含量以及糖酸比发生轻微波动,但均未产生显著差异。其中 2.1 m 处理南行出现了最高可溶性固形物含量和最高糖酸比,可能与这个方位光照条件较好有关。以上结果说明,在一定株行距范围内,将南北垄向改为东西垄向不会降低番茄果

表 4 不同东西垄栽培方式对番茄总产量和产量构成的影响
Table 4 Effects of different ridge cultivation methods on total yield and yield components of tomato

处理 Treatment	单果质量 Single fruit mass/g	单株结果数 Fruit number of single plant	单株产量 Single plant yield/kg	单行产量 Single row yield/kg	小区产量 Plot yield/ kg	商品果率 Commodity fruit rate/%	商品果产量 Commodity fruit yield/kg	比 CK+ More than CK+/%
1.7 m 南行 South of the ridge	92.70±4.98 a	27.20±2.17 a	2.43±0.12 a	53.01±1.09 a	479.31±6.21 a	94.93	455.01	19.2
1.7 m 北行 North of the ridge	83.03±6.32 ab	23.80±1.64 ab	1.98±0.11 bc	42.86±2.28 c				
1.9 m 南行 South of the ridge	87.01±5.44 ab	26.20±1.64 ab	2.29±0.19 a	52.79±2.92 a	449.45±14.28 ab	93.93	422.19	10.6
1.9 m 北行 North of the ridge	81.74±3.45 b	23.60±1.95 b	1.93±0.15 c	46.55±3.13 bc				
2.1 m 南行 South of the ridge	84.04±5.67 ab	26.40±2.07 ab	2.21±0.18 ab	55.30±2.77 a	423.03±16.33 bc	92.47	391.15	2.5
2.1 m 北行 North of the ridge	78.60±4.23 b	23.80±1.64 ab	1.88±0.16 c	50.46±1.99 ab				
CK 东行 East of the ridge	83.78±5.77 ab	24.00±1.58 ab	2.00±0.16 bc		401.08±15.46 c	95.15	381.63	
CK 西行 West of the ridge	87.74±6.70 ab	23.60±1.52 b	2.03±0.16 bc					

注:1.9 m 处理最北边单行的相关数据仅在计算单行产量和小区产量时计入。
Note: The relevant data of the northernmost single row processed at 1.9 m is only taken into account when calculating the single-row yield and the plot yield.

实品质,且适当增大垄距可以提高番茄风味。

表 5 不同东西垄栽培方式对番茄品质的影响
Table 5 Effects of different ridge cultivation methods on tomato quality

处理 Treatment	w(可溶性 固形物) Soluble solids content/%	w(有机酸) Organic acid content/%	糖酸比 Sugar acid ratio
1.7 m 南行 South of the ridge	7.30±0.92 a	0.72±0.15 a	10.32±1.43 a
北行 North of the ridge	6.89±0.34 a	0.66±0.12 a	10.55±1.52 a
1.9 m 南行 South of the ridge	7.52±0.66 a	0.76±0.04 a	9.91±0.95 a
北行 North of the ridge	7.59±0.48 a	0.95±0.31 a	8.66±2.48 a
2.1 m 南行 South of the ridge	7.99±0.06 a	0.68±0.15 a	12.28±2.96 a
北行 North of the ridge	7.44±0.73 a	0.86±0.06 a	8.67±0.79 a
CK 东行 East of the ridge	7.30±0.61 a	0.76±0.17 a	9.85±1.79 a
西行 West of the ridge	7.77±0.28 a	0.75±0.10 a	10.44±1.05 a

3 讨论与结论

在日光温室栽培番茄的过程中,优化光照条件对提高作物产量和品质至关重要^[17]。为了适应现代农业机械化作业的需求,垄向调整至东西行引发了植株间光照环境的遮挡问题,对番茄生长产生不利影响。为改善番茄冠层光照条件,笔者将传统的1.5 m 垄距,增加到1.7、1.9、2.1 m,对比分析了不同垄距下的光照分布情况。研究结果表明,在东西向栽培时,温室南北空间光照分布存在差异,由南向北透光率逐渐降低^[18],且同垄南侧的透光率高于北侧,其中最北侧垄植株遮挡严重,光照条件最为不利^[19],这对南北两侧的番茄单果质量、结果数量和单株产量产生影响。且垄向改变后,随着垄距加大,株距减小,相邻植株间遮挡情况加剧,使得同垄南北行植株光照强度差异增大,与杨冬艳等^[9]的研究结果一致;这一差异在冠层中上部表现明显,可能与试验设置了较大的栽培密度有关;而随着垄距减小,相邻垄间也会产生光照遮挡,从而使冠层下部透光率逐渐降低。

伏文卓等^[20]研究表明,由于光量子通量密度截留量的增加,番茄在窄垄距条件下比宽垄距条件下产量更高,而株距过大会降低群体光能捕获率,而造成光照损失。因此合理的株垄距配置是番茄

高产的关键。陈启峰等^[12]、陈真真^[13]研究认为,东西垄向栽培中1.8 m 垄距由于单株光截获量最高,从而获得了最高的单果质量和产量。在本试验中,东西垄向栽培2500株·667 m²密度下,随着行距增大、株距减小,植株中上部冠层透光率降低,番茄单果质量和单株产量逐渐降低,其中1.7 m 垄距单果质量和单株产量最高,与陈启峰等^[12]的研究结果相似。1.9 m 和2.1 m 垄距产量相对较低,除了光环境外,还可能是过小的株距造成的植株间根系竞争和拮抗加剧^[21]。与传统南北种植模式相比,东西垄向栽培重新配置了植株光照、土壤等资源,虽然加剧了同垄双行植株间光照差异,但使南行植株获得了更优光照。同时,较大的垄距促进了温室内的空气流通,不仅有助于促进光合作用,还降低了病害发生的风险^[22]。此外,垄向的转变导致植株在温室内的空间分布发生变化,这可能促进了植株对垄沟土壤资源的更有效利用,对连续种植制度下的土壤质量改善具有积极作用。

在本研究中,不同栽培方式及东西垄栽培不同垄距和株距处理之间的茎粗、叶片数、叶面积等生长指标差异不显著,可溶性固形物含量、有机酸含量和糖酸比等品质指标差异也不显著。研究表明,加大垄距可以改善光照环境从而提升番茄果实品质^[20],而本试验中,2.1 m 处理的果实可溶性固形物含量虽有少量增加,但与其他处理间并未产生显著差异,可能与试验设置的垄距梯度较小有关。

综上所述,关中地区在95式日光温室中进行番茄东西垄宜机化栽培是可行的,中果型水果番茄最佳栽培模式为中心垄距1.7 m,株距32 cm,番茄单果质量和商品率最高,商品果产量比传统南北行栽培提高19.2%。在本研究中,1.7 m 垄距所采用的垄型规格为垄高20 cm、垄面宽60 cm、垄基底宽80 cm、作业道宽90 cm,不仅有利于提高番茄产量,还表现出良好的机械适宜性,能满足小型农机具的机械化作业需要。该垄型规格可对起垄机械幅宽、搬运车底盘的设计提供参考。

参考文献

[1] 李艳.日光温室蔬菜机械化生产的效益分析[J].中国农机化,2008(5):44-46.

[2] 刘晓明.温室蔬菜生产机械化作业的可行性[J].农业工程,2013,3(增刊2):20-22.

[3] 陶建平,陆岱鹏,吕晓兰,等.江苏地区设施茄果类蔬菜高效机械化生产模式探索[J].农业工程技术,2018,38(22):33-38.

[4] 周宇,乔春阳,刘伟,等.葫芦岛地区设施番茄机械化生产模式探索[J].中国农机装备,2023(9):56-60.

- [5] 田兴武,马丽,高艳明,等.日光温室番茄大行距高密度栽培试验研究[J].农业工程技术,2017,37(31):75-78.
- [6] 唐佳宁,陈启峰,余朝阁,等.东西垄栽方式对日光温室秋冬茬番茄生长及其温光环境的影响[J].中国农学通报,2022,38(30):65-71.
- [7] 范龙秋.密度与行距配置对耐密型春玉米品种农艺性状、产量及品质的影响[D].山西晋中:山西农业大学,2014.
- [8] 肖庆龄.不同株行距对烤烟产量和质量的影响[D].长沙:湖南农业大学,2014.
- [9] 杨冬艳,王丹,桑婷.垄距对日光温室番茄东西垄向栽培光环境的影响[J].北方园艺,2022(23):54-60.
- [10] 王春勇,闫颖,李娟,等.唐山地区日光温室番茄东西垄向栽培模式研究[J].河北农业科学,2024,28(3):35-39.
- [11] 梁子玉.日光温室东西垄向栽培越冬番茄应用效果研究[D].沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [12] 陈启峰,李星,富宏丹,等.日光温室秋冬茬番茄东西垄宜机化栽培适宜垄距参数研究[J].中国蔬菜,2024(9):104-111.
- [13] 陈真真.栽培垄向和株行距对日光温室番茄生长及产量的影响[D].山东泰安:山东农业大学,2019.
- [14] 刘彦辰.陕西关中地区不同结构日光温室光温环境分析[D].重庆:西南大学,2012.
- [15] 程远,万红建,刘超超,等.十六个樱桃番茄品种果实风味品质相关指标比较分析[J].浙江农业学报,2018,30(11):1859-1869.
- [16] 霍建勇,刘静,冯辉,等.番茄果实风味品质研究进展[J].中国蔬菜,2005(2):34-36.
- [17] 马林,王若男,郭宗凯,等.作物种植行向对农田光照条件的影响[J].现代农业科技,2015(4):238-243.
- [18] 孔云,孟利云.反光幕对日光温室光照分布和番茄形态特征的影响[J].北方园艺,2004(5):10-11.
- [19] 杨冬艳,桑婷,冯海萍,等.种植密度对日光温室东西垄向栽培番茄产量构成及光环境的影响[J].河南农业科学,2021,50(5):99-106.
- [20] 伏文卓,李涛涛,高艳明,等.基于农机农艺结合的不同株行距配置对塑料大棚番茄果型分级及冠层特性的影响[J].西北农业学报,2020,29(11):1677-1685.
- [21] 潘德怀,韦荣楷,蒙光炯,等.不同种植密度和整枝方式对番茄农艺性状的影响[J].蔬菜,2014(5):21-25.
- [22] 王强.株行距配置对日光温室黄瓜光合作用及产量的影响[D].山东泰安:山东农业大学,2017.

(上接第179页)

- [13] 牛慧婷,杨道兰,冯炜弘,等.不同因子对兰州百合组培小鳞茎诱导及膨大的影响研究[J].甘肃农业科技,2022,53(6):66-71.
- [14] 常琳,杜方,王丽婷,等.金石和伯爵百合鳞茎诱导及膨大研究[J].山西农业科学,2018,46(8):1279-1281.
- [15] 张彦妮,李兆婷,张艳波,等.毛百合试管鳞茎形成和膨大的培养优化[J].江苏农业科学,2016,44(4):74-78.
- [16] 王伟东,张睿琪,白一光,等.不同栽培深度对食用百合大花卷丹种球生长及产量的影响[J].辽宁林业科技,2024(5):9-11.
- [17] 林玉红,裴怀弟,李淑洁,等.兰州食用百合不同种植区干物质累积和粗淀粉、粗蛋白含量分析[J].新疆农业科学,2020,57(7):1295-1304.
- [18] 黄世霞,郑露杰,余晓锐,等.卷丹百合规范化种植关键技术研究[J].安徽农业大学学报,2021,48(2):286-291.
- [19] 孙慧,刘易,江应红,等.香水百合鳞片组织培养研究[J].现代农业科技,2024(5):72-75.
- [20] 朱纯瑶,孙晓刚,孙鸿桐,等.四个玉簪品种组织培养体系的建立与优化[J].北方园艺,2024(18):49-58.
- [21] 韩淞名,孟庆雪,吴彦霁,等.两种雄性不育百合组培快繁体系的建立[J].北方园艺,2021(20):67-76.
- [22] LIM S, SEON J H, PAEK K Y, et al. Development of pilot scale process for mass production of *Lilium* bulblets *in vitro* [J]. Acta Horticulturae, 1998, 461: 237-241.
- [23] 张玉江,郭周胜,周瑞雯,等.两种东方百合离体快繁体系优化的建立与优化[J].分子植物育种,1-14(2024-10-04). <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20240815.1556.004>.
- [24] 胡凤荣,席梦利,刘光欣,等.东方百合鳞茎快速增长的组培体系研究[J].分子植物育种,2006,4(6):882-886.
- [25] 彭伯阳,白瑞琴,吕艳芳,等.两种食用百合离体快繁体系的建立[J].北方农业学报,2022,50(6):88-97.
- [26] 孙琪. IAA 和 JA 途径调控郁金香种球发育和鳞茎再生的研究[D]. 武汉:华中农业大学,2021.
- [27] 张延龙,梁建丽,牛立新.东方百合试管鳞茎膨大的研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2006,34(6):75-78.