

# 基于农机农艺融合的北京地区塑料大棚番茄栽培模式的优化

李治国<sup>1</sup>, 闫子双<sup>1</sup>, 王尚君<sup>2</sup>, 杨立国<sup>1</sup>, 李宗煦<sup>1</sup>, 刘晓明<sup>1</sup>

(1.北京市农业机械试验鉴定推广站 北京 100079; 2.北京市昌平区农业机械化技术推广站 北京 102200)

**摘要:**为探讨适宜北京地区的塑料大棚番茄农机农艺融合栽培模式,以普罗旺斯番茄为试验对象,设计不同密度机械定植和人工定植4个处理,与传统人工定植(CK)的番茄在生长指标、产量指标、品质指标等方面进行对比。结果表明,在667 m<sup>2</sup>种植1820~2670株的范围内,不同栽培模式的番茄在株高、茎粗、叶片数、叶面积等方面差异较小;但随着密度增大,单果质量呈变小趋势,果实品质呈变差趋势。其中,T3(机械定植,株距40 cm,行距40 cm)的单果质量最大(208.48 g),CK(人工定植,株距30 cm,行距60~70 cm)的单果质量最小(145.79 g),果实的糖酸比T3最大(10.07),T1(机械定植,株距30 cm,行距40 cm)最小(8.58)。综合各方面数据考虑,在北京地区的塑料大棚番茄栽培中,采用机械化种植的T2处理(株距35 cm,行距40 cm,667 m<sup>2</sup>定植2170株),可以实现机械化种植,并且在植株长势、果实产量和品质方面表现最优。

**关键词:**番茄;栽培;塑料大棚;农机农艺融合;机械化

中图分类号:S641.2+S233.74

文献标志码:A

文章编号:1673-2871(2022)04-097-05

## Optimization of machinery use and agronomy management for tomato production in plastic greenhouse in Beijing

LI Zhiguo<sup>1</sup>, YAN Zishuang<sup>1</sup>, WANG Shangjun<sup>2</sup>, YANG Ligu<sup>1</sup>, LI Zongxu<sup>1</sup>, LIU Xiaoming<sup>1</sup>

(1. Beijing Agricultural Machinery Test Appraisal Extension Station, Beijing 100079, China; 2. Beijing Changping District Agricultural Mechanization Technology Extension Station, Beijing 102200, China)

**Abstract:** In order to properly use machinery for agronomy management of tomato production in plastic greenhouse in Beijing area, Provence tomato were mechanically and manually transplanted with 4 different densities. The index of growth, yield and quality was compared for different methods. The results showed that in the range of 1820-2670 plants per 667 m<sup>2</sup>, no obvious differences were observed between machinery and manual transplanting for plant height, stem diameter, leaf number and leaf area. The average fruit weight was 208.48 g for T3 treatment, CK produced the smallest fruit 145.79 g, and the sugar-acid ratio of the fruit was reduced from 10.07 of T3 to 8.58 of T1. Considering all aspects of the data, machinery transplanted T2 treatment at density of 2170 plants per 667 m<sup>2</sup> was the best performer in terms of plant growth, fruit yield and quality.

**Key words:** Tomato; Cultivation; Plastic greenhouse; Use of machinery; Mechanization

塑料大棚是设施农业生产的重要形式,可以实现蔬菜春提前和秋延后种植,保障蔬菜周年供应,是实现农业提质增效、农民增产增收的重要途径。目前,北京市塑料大棚面积占设施农业面积的35%左右,约为8000 hm<sup>2</sup>[1]。番茄是塑料大棚蔬菜种植面积较大的作物之一。然而受大棚建造结构、农艺栽培模式及农机具尺寸等因素的限制,目前北京郊

区塑料大棚番茄生产仍以人工作业为主,农机装备作业效率不能得到充分发挥甚至无法使用。随着工业化、城镇化步伐加快,农业生产雇工难、用工贵等问题日益突出[2-3],迫切需要在北京地区开展农机农艺融合的塑料大棚番茄栽培模式研究,来提高番茄生产效率和效益,从而实现塑料大棚番茄生产的高产高效。此前,国内外学者就不同种植密度对番

收稿日期:2021-07-01;修回日期:2021-11-24

基金项目:北京市农业农村局科技项目(PXM2020-036231-000024)

作者简介:李治国,男,正高级农艺师,研究方向为蔬菜机械化。E-mail:li.zhiguo@126.com

通信作者:杨立国,男,推广研究员,研究方向为农业机械化。E-mail:yangliguo@vip.sohu.com

茄产量和品质的影响做过相关研究<sup>[4-11]</sup>,也就如何实现塑料大棚蔬菜生产机械化进行过探讨<sup>[12-14]</sup>。为此,特根据北京地区塑料大棚番茄栽培的农艺要求和现有主要栽培管理环节农机作业特点,开展不同密度机械定植和人工定植的对比试验,探讨适宜北京地区的塑料大棚番茄农机农艺融合栽培模式,在保证番茄产量和品质不受影响的基础上,优化大棚番茄栽培参数,为农业机械作业提供参考依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

试验于2020年3—7月在北京市大兴区庞各庄镇物阜源丰农产品专业合作社的两栋塑料大棚内进行,塑料大棚宽10.0 m,长56.0 m,棚门高2.0 m,宽2.3 m,棚肩高1.2 m,脊高2.8 m,中型农机具能够顺利进出作业。栽种番茄品种为普罗旺斯(由荷兰德澳特种业集团公司培育),由北京物阜源丰农产品专业合作社育苗,128孔穴盘苗,苗期35 d。

### 1.2 试验设计

塑料大棚宽10 m,中间有支架,分5垄种植。为充分利用土地资源,支架处设置一垄,采用传统人工方式种植,垄上支架两侧各种1行番茄。大棚两侧边缘留出约75 cm的过道。支架左右两侧,各起两垄,进行机械化种植。行距分布如图1所示。

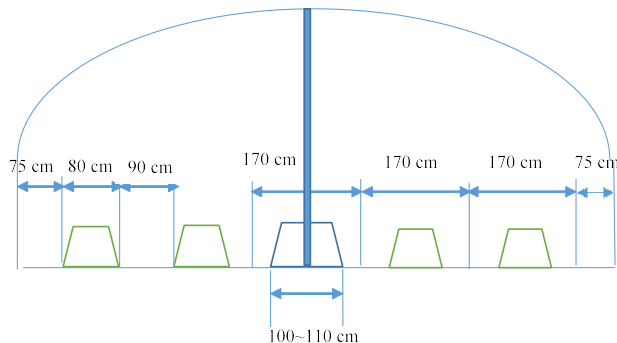


图1 塑料大棚内行距分布示意

为提高作业效率,并保证机具能够在空间受限的塑料大棚内顺利开展作业,设备均选用中小型机具。采用的设备包括354 D 拖拉机、1GQN-140 型旋耕机、YTLM-60 起垄覆膜机和2ZY-2A 垄上栽植机。根据番茄种植农艺要求,综合考虑起垄机起垄规格,移栽机栽植行距、株距的调节范围、机具轮距以及后期管理需要,确定采用窄垄面、宽垄沟的栽培模式。垄高15~20 cm,垄顶宽60 cm,垄底宽80 cm,垄沟宽90 cm,垄距170 cm。每垄种植2行,小行距40 cm。即栽植后垄上窄行距40 cm,栽培垄间宽行

距130 cm。株距分别设置为30 cm、35 cm、40 cm。机械种植和人工种植株行距如图2~3所示。

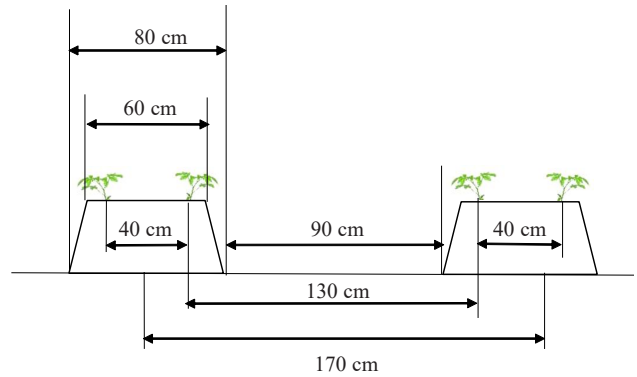


图2 机械种植行距示意

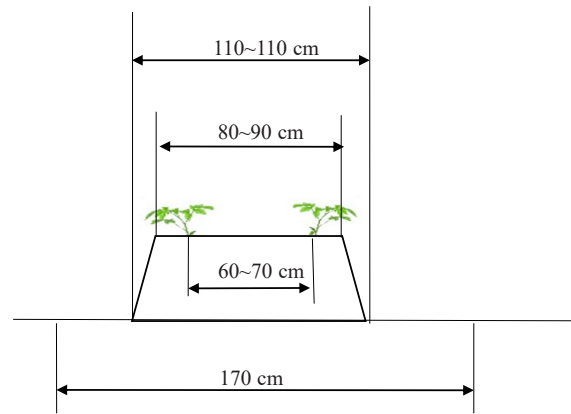


图3 传统人工种植方式行距示意

试验设置4个处理,对照为当地现有的传统人工栽培模式。CK:人工定植,株距30 cm,行距60~70 cm;T1:机械定植,株距30 cm,行距40 cm;T2:机械定植,株距35 cm,行距40 cm;T3:机械定植,株距40 cm,行距40 cm;T4:人工定植,株距35 cm,行距40 cm。每个处理分为3个小区,3次重复。

单垄长56.0 m,垄距1.7 m,每个试验小区面积为190.4 m<sup>2</sup>。按照上述设计的定植密度,T1定植苗量约为746株,T2定植苗量约为640株,T3定植苗量约为560株,T4定植苗量约为640株,CK定植苗量约为746株。2栋塑料大棚共定植苗量约3332株。

### 1.3 方 法

番茄生长指标数据的采集按照不同处理下取15株长势均匀的番茄植株测定其生长指标,取平均值进行数据统计分析。盛果期采集不同处理的成熟度一致的番茄果实5~8个,测定其果实品质指标。

1.3.1 生长指标测定 试验番茄定植时间为2020年3月30日,定植后连续测定6次,之后进行打顶

操作。定植后定期测定标记植株的株高、茎粗、叶片数,直至植株打顶。株高采用卷钢尺测量;茎粗采用游标卡尺,十字交叉法对植株基部进行测量;叶面积按叶面积公式进行计算。

叶面积=4.517 1×长+23.591 57×宽-0.045 67×长×宽-477.358×R<sup>2</sup>(R<sup>2</sup>=0.882 481)。

1.3.2 植株不同高度光分布测定 采用手持式线性光合有效辐射传感器,在晴天进行番茄植株冠层透光率的测定。测定时各处理随机选取一个不受棚室结构遮光的位置,分别测量距离土壤地表0、50、100 cm和冠层4个垂直点的透光率。

1.3.3 产量测定 进入果实采收期后,根据果实成熟度,适时采收,分小区记产。按照每个处理内标定植株第2穗果的单果质量,计算出每个处理的平均单果质量;通过测定不同处理内200株植株的小区面积,折算出667 m<sup>2</sup>定植株数;按照每个处理内标定植株第1~第5穗果平均果实数量,折算出平均坐果数;通过上述数据计算出各处理的667 m<sup>2</sup>平均产量。

1.3.4 果实品质测定 在盛果期采样,对成熟度一致的成熟番茄进行营养品质的测定。采用糖度计测定果实可溶性固形物含量,采用2,6-二氯酚靛酚滴定法测定抗坏血酸(维生素C)含量,采用蒽酮比色法测定可溶性糖含量,采用酸碱滴定法测定有机酸含量。

### 1.4 数据采集与统计分析

试验数据于Excel中整理,使用SPSS 22.0进行处理间的各处理的比较分析,多重比较采用one-way ANOVA中的Tukey多重比较方法对数据进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同处理对番茄形态指标的影响

2.1.1 不同处理对番茄株高的影响 从表1可以

表1 番茄各处理不同时期株高比较 cm

处理	测定时间					
	4月 9日	4月 16日	4月 27日	5月 8日	5月 19日	5月 30日
CK	19.36 ab	28.57 a	48.51 ab	80.38 a	102.17 a	127.78 a
T1	17.63 b	29.66 a	44.62 b	77.29 ab	100.13 ab	127.93 a
T2	20.47 ab	24.61 b	49.82 a	79.05 ab	100.83 ab	128.13 a
T3	21.75 a	27.39 ab	45.93 ab	74.17 b	93.91 b	121.73 a
T4	19.83 ab	29.03 a	47.71 ab	76.31 ab	100.27 ab	121.93 a

注:同列数字后不同小写字母表示在0.05水平差异显著。下同。

看出,番茄株高在生长过程中呈现不同的变化趋势,但在最后一次测量时,植株高度无显著性差异。不同密度机械化种植的番茄,株高在生长过程中呈现不同的变化趋势,在5月30日测定时,T1、T2、T3株高分别为127.93、128.13、121.73 cm,差异均不显著。机械化定植的T2与CK、T4进行对比,株高方面,除4月16日测量的T2株高(24.61 cm)显著低于CK(28.57 cm)和T4(29.03)外,其他各个时期均无显著差异。

2.1.2 不同处理对番茄茎粗的影响 从表2可知,密度最小的T3在4月27日测定时茎粗最小,为8.66 mm,在5月30日测定时茎粗最大,为12.40 mm。而密度最大的T1在5月30日测量时茎粗为11.18 mm,显著低于T3的12.40 mm。密度适中的T2情况较为稳定,一直保持在较高水平,且与CK、T4在4月16日之后茎粗无显著差异。由此可见,在667 m<sup>2</sup>密度1820~2530株的范围内,同行距不同株距对后期的番茄茎粗有一定影响,密度适中的T2效果最好。

表2 番茄各处理不同时期茎粗比较 mm

处理	测定时间					
	4月 9日	4月 16日	4月 27日	5月 8日	5月 19日	5月 30日
CK	4.72 bc	6.22 ab	9.40 ab	10.39 a	12.14 a	11.35 ab
T1	5.44 ab	6.84 a	10.01 a	10.37 a	10.94 a	11.18 b
T2	5.61 a	6.83 a	10.11 a	10.71 a	11.54 a	12.04 ab
T3	5.15 ab	5.87 b	8.66 b	9.93 a	12.39 a	12.40 a
T4	4.43 c	6.46 ab	9.59 ab	10.58 a	14.63 a	12.52 a

2.1.3 不同处理对番茄叶片数的影响 由表3可知,在5月30日测定时,机械化种植的T1、T2、T3叶片数分别为23.93、25.13、24.73片,差异均不显著。T2和CK、T4相比较,番茄植株各时期叶片数之间均无显著差异。可见,在667 m<sup>2</sup>密度1820~2530株的范围内,同行距不同株距对后期的番茄叶片数无显著影响。但从具体数值来看,密度适中的T2的数值相对比较稳定。

表3 番茄各处理不同时期叶片数比较

处理	测定时间					
	4月 9日	4月 16日	4月 27日	5月 8日	5月 19日	5月 30日
CK	8.07 a	10.50 ab	14.11 a	18.11 ab	21.11 a	25.11 a
T1	7.67 a	11.13 a	13.80 a	17.47 b	20.47 a	23.93 a
T2	8.20 a	10.13 ab	14.33 a	18.87 a	21.13 a	25.13 a
T3	8.08 a	10.07 b	13.60 a	17.47 b	20.60 a	24.73 a
T4	8.17 a	9.93 b	14.27 a	17.67 b	20.53 a	24.53 a

2.2 不同处理对番茄光合指标的影响

2.2.1 不同处理对番茄单株叶面积的影响 由表4可知,在定植缓苗后,4月9日T2处理叶面积最大,显著高于其他处理。T1和T2处理在后期生长较快。但在5月30日,T2的叶面积最大,但不同处理之间的叶面积无显著差异。T2和CK、T4相比较,

表4 不同处理番茄叶面积比较 cm<sup>2</sup>

处 理	测定时间					
	4月9日	4月16日	4月27日	5月8日	5月19日	5月30日
CK	19.62 b	69.90 a	227.78 a	498.23 ab	609.17 ab	541.24 a
T1	20.61 b	64.57 ab	247.30 a	537.48 a	669.66 a	592.46 a
T2	29.07 a	73.61 a	220.98 a	454.83 ab	603.20 ab	605.87 a
T3	21.25 b	47.94 b	164.09 b	471.70 ab	523.84 b	517.11 a
T4	14.31 b	54.02 ab	195.08 ab	437.39 b	553.97 ab	530.43 a

叶面积在4月9日测量时T2为29.07 cm<sup>2</sup>,显著高于CK和T4,其他时期均无显著差异。

2.2.2 不同处理对不同高度透光率的影响 由表5可知,CK对于光的遮挡较为严重,而在机械定植不同株距中,随着株距的增大,距离土壤地表高度100 cm处的透光率逐渐提高。在株距为40 cm时,即T3的冠层透光率最高。种植密度最小的T3在从地面到100 cm测量高度的透光率分别为30.97%、60.40%、89.08%,过道透光率分别为67.52%、88.17%、102.07%,均显著高于T1、T2。T2和CK相比较,T2从地面到100 cm测量高度的透光率分别为15.69%、25.64%、76.65%,显著高于CK的0.35%、1.56%、11.85%。距离土壤地表0 cm和50 cm高度时,人工种植的T4透光率显著高于机械

表5 不同处理对番茄冠层及过道光分布的影响

高度/cm	冠层透光率/%					过道透光率/%				
	CK	T1	T2	T3	T4	CK	T1	T2	T3	T4
0	0.35 d	13.34 c	15.69 c	30.97 b	50.79 a	48.39 b	35.08 c	25.61 d	67.52 a	70.03 a
50	1.56 c	37.41 b	25.64 b	60.40 a	66.84 a	61.92 b	67.69 b	37.27 c	88.17 a	85.60 a
100	11.85 c	72.21 b	76.65 ab	89.08 ab	93.62 a	81.30 b	86.28 b	82.94 b	102.07 a	88.23 b
冠层	100.00 a	100.00 a	100.00 a	100.00 a	100.00 a	100.00 a	100.00 a	100.00 a	100.00 a	100.00 a

注:同行数字后不同小写字母表示冠层或过道的不同处理在0.05水平差异显著。

种植T2,冠层透光率T2分别为15.69%、25.64%,T4分别为50.79%、66.84%,过道透光率T2分别为25.61%、37.27%,T4分别为70.03%、85.60%;但距离土壤地表100 cm高度时,T2与T4的冠层透光率差异不显著。

2.3 不同处理对番茄产量的影响

由表6可知,不同处理的平均667 m<sup>2</sup>产量无显著性差异,T2处理的产量明显高于其他处理,且单果质量较高。相同密度机械化种植(T2)与人工定植(T4)番茄产量对比,T2单果质量为199.86 g,T4单果质量为160.26 g,667 m<sup>2</sup>产量T2为7 952.98 kg,T4为5 946.48 kg,T2较T4增产2 006.5 kg;T1、T2、T3相比,667 m<sup>2</sup>的种植密度越小(T3为1820株),单果质量越大(T3为208.48 g),但三者间差异不显著。机械化定植效果最好的T2与传统人工

表6 不同处理对番茄产量的影响

处理	667 m <sup>2</sup> 定植株数	单果质量/g	667 m <sup>2</sup> 产量/kg
CK	2670	145.79 b	6 657.68 a
T1	2530	159.08 ab	7 069.93 a
T2	2170	199.86 ab	7 952.98 a
T3	1820	208.48 a	6 282.25 a
T4	2170	160.26 ab	5 946.48 a

CK种植进行对比,单果质量T2为199.86 g,明显高于CK的145.79 g,但两者之间差异不显著。667 m<sup>2</sup>定植株数CK较多(2670株),667 m<sup>2</sup>产量T2为7 952.98 kg,CK为6 657.68 kg,T2较CK增产1 295.30 kg,T2的667 m<sup>2</sup>产量明显高于CK,但差异不显著。

2.4 不同处理对番茄品质的影响

由表7可知,与CK相比,机械种植的T1、T2和T3处理的可溶性固形物含量均有显著提高,维生素C含量与CK相比,除T3处理外,也有显著提高。T2处理的果实糖酸比显著高于CK和T4处理。T2与T4相比,T2的可溶性固形物含量和可溶性糖含量明显高于T4,维生素C和可滴定酸含量

表7 不同处理番茄果实品质比较

处 理	w(可溶 性固形 物)/%	w(维生素C)/ (mg·100 g <sup>-1</sup> )	w(可滴 定酸)/ (mg·g <sup>-1</sup> )	w(可溶 性糖)/ (mg·g <sup>-1</sup> )	糖酸比
CK	5.32 c	4.52 b	4.02 b	35.57 b	8.87 bc
T1	6.14 a	5.18 a	4.45 a	37.85 ab	8.58 c
T2	6.06 ab	5.36 a	4.08 b	41.71 a	10.27 a
T3	5.81 ab	4.98 ab	4.10 ab	41.08 a	10.07 ab
T4	5.71 bc	5.55 a	4.26 ab	38.13 ab	8.96 bc



两者无显著差异,T2糖酸比为10.27,显著高于T4的8.96。可能是由于机械种植的株行距精度高,创造了更好的生长条件,更有利于果实的成长。T1、T2、T3处理的可溶性固形物、维生素C和可溶性糖含量之间无显著差异,但T2、T3处理的糖酸比显著高于T1。

### 3 讨论与结论

综上所述,通过不同栽培模式的对比,机械化种植株距35 cm、行距40 cm的T2处理,在果实产量和品质方面表现最优。随着番茄种植密度的增加,群体枝叶之间封闭性会增强,从而降低植物的透光性<sup>[15]</sup>。可溶性糖、可溶性蛋白质、维生素C含量一定程度上反映了番茄的果实品质,以及干物质积累,品质指标越高,说明番茄果实品质越好<sup>[16]</sup>。在667 m<sup>2</sup>密度1820~2670株的范围内,平均单果质量受种植密度的影响较大,随着密度的增大,平均单果质量会变小,果实的糖酸比也会降低,影响果实的口感。可能是随着栽培密度的增大,植株群体的冠层透光率降低,光照、养分、水分等有效供给不足,致使果实长势偏弱,口感变差。这与徐进等<sup>[17]</sup>的研究结果相符。在667 m<sup>2</sup>密度1820~2670株的范围内,不同栽培模式的番茄在株高、茎粗、番茄各时期的叶片数、叶面积等方面差异较小。综合评判,密度适中的机械化种植T2处理(株距35 cm,行距40 cm)相对于其他处理在植株长势、果实产量、品质等方面表现最优。

综上所述,在北京地区的塑料大棚番茄栽培中,采用机械化种植的T2处理(株距35 cm,行距40 cm),在植株长势、果实产量和品质方面表现最优,适宜进一步推广应用。

#### 参考文献

[1] 闫子双,赵景文,刘晓明,等.塑料大棚小白菜生产全程机械化

技术方案初探[J].中国蔬菜,2020(10):96-99.

- [2] 马晓媛.日光温室蔬菜生产配套机械化技术应用[J].农机科技推广,2015(10):39-40.
- [3] 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(S2):20-22.
- [4] 周怀兵,蒋芳玲,胡根金,等.定植密度和单株留果穗数对春季大棚大果型番茄植株生长及产量和品质的影响[J].江苏农业学报,2013,29(3):626-632.
- [5] SAGLAN N, YAZGAN A. The effects of planting density and the number of trusses per plant on earliness, yield and quality of tomato grow under unheated high plastic tunnel[J]. Acta Horticulturae, 1995, 412:258-267.
- [6] DAVIS J M, ESTER E A. Spacing and pruning affect growth, yield, and economic returns of staked fresh-market tomatoes[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1993, 118(6):719-725.
- [7] 李雪,冯亚楠.种植密度对不同番茄品种长势及产量的影响[J].园艺与种苗,2017(1):4-5.
- [8] 陈一鑫,陈志远,宋丽娜,等.不同密度与行距对番茄生长及产量的影响[J].北方园艺,2020(16):8-16.
- [9] 黄文,郭亮,李白娟,等.定植密度和留果穗数对春大棚番茄生长及产量和品质的影响[J].北方园艺,2018(22):79-82.
- [10] 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.
- [11] 吾建祥,程林润,周小军.高密度栽培对大棚冬春番茄生育和产量的影响[J].浙江农业科学,2008,49(5):538-539.
- [12] 刘晓明,李治国,闫子双,等.塑料大棚果菜生产机械化解决方案[J].农机科技推广,2020(5):45.
- [13] 赵真.大棚蔬菜生产过程中应用机械化技术的可行性探究[J].甘肃农业,2018(17):50-51.
- [14] 刘晓明.大棚蔬菜生产实现机械化作业的可行性[J].农机科技推广,2014(3):40.
- [15] 康洁.不同种植密度对番茄长势、果实品质及产量的影响[J].农民致富之友,2018(15):92.
- [16] 李扬丹,卢志权,白晓丽,等.不同种植密度和留果穗数对早春大棚番茄产量和品质的影响[J].北方园艺,2018(11):38-42.
- [17] 徐进,齐艳花,李红岭,等.不同栽培密度与留果数对秋大棚番茄生长发育及产量的影响[J].北京农业,2009(12):41-44.