

种植密度对辣椒 DU01 光合特性及产量的影响

苏丹, 胡明文, 蓬桂华, 朱文超, 廖芳芳, 宋拉拉

(贵州省农业科学院辣椒研究所 贵阳 550025)

摘要: 以适于一次性采收的辣椒新品种 DU01 为试验材料, 设置 5 个种植密度, 对 DU01 的光合特性及产量构成因素等进行研究。结果表明, 盛果期后, DU01 的叶面积、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)和蒸腾速率(T)随着密度的增加而降低, 叶绿素 a (Chla)、叶绿素 b (Chlb)、类胡萝卜素(Car)和总叶绿素(Chlt)含量随着密度的增加而升高; 单果质量随着密度的增加而减小; 鲜椒产量和经济效益随着密度的增加而增大, 且高密度处理显著高于其他处理。当 DU01 的种植密度为 51.30 万株· hm^2 时, 产量和经济效益分别为 10 539.69 kg· hm^2 、59 058.00 元· hm^2 , 均与三樱椒相当, 说明高密度种植处理下的有效株数足以弥补单株和单果质量小的劣势; 高密度处理的辣椒功能叶延缓褪绿, 可持续进行光合作用合成有机物, 并保持产量的显著增长, 说明该品种极为适合高度密植。

关键词: 辣椒; 种植密度; 光合; 产量构成因素

中图分类号: S641.3

文献标志码: A

文章编号: 1673-2871(2022)02-067-05

Effects of plant density on photosynthetic characteristics and yield of pepper cultivar DU01

SU Dan, HU Mingwen, PENG Guihua, ZHU Wenchang, LIAO Fangfang, SONG Lala

(Chili Pepper Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang 550006, Guizhou, China)

Abstract: Five plant densities were tested to study the photosynthetic characteristics and yield components of DU01, a new pepper variety suitable for one-time harvest. The results showed that after full fruit stage, the leaf area, G_s , C_i and T of DU01 decreased with the increase of density, and Chla, Chlb, Car and Chlt increased with the increase of density. Fruit weight decreased with the increase of density. The yield and economic return increased with the increase of density, and the highest density produced highest yield. High plant population was sufficient to make up for the disadvantage of small fruit weight. Yield and economic profit were the highest with plant density of 5.13 million plants· hm^2 . Plants of DU01 at population of 5.13 million plants· hm^2 , the functional leaves stayed green longer for photosynthesis, and produced high yield.

Key words: Pepper; Plant density; Photosynthesis; Yield components

辣椒 (*Capsicum annuum* L.) 属茄科辣椒属植物, 随着喜食辣椒人群的增长, 人们在日常生活中对辣椒的需求量逐年增加, 辣椒已成为我国种植面积最大的蔬菜^[1]。辣椒作为高劳动密集型作物, 特别是口感辛辣的小果型朝天椒品种, 因其边开花边结果的特性, 需多次分批采收。前人研究表明, 朝天椒 7 d 采收 1 次, 鲜椒产量较高、成本较低、收益最好, 共需采摘 2~3 次^[2], 累计采摘费用高, 占用了辣椒种植成本的很大一部分。因此, 人工采摘成本已成为朝天椒产业进一步发展的严重障碍, 能够

使用机械一次性采收的辣椒新品种和与之相适应的栽培技术成为近年的研究热点。目前, 对一次性采收的研究主要是河南的簇生三樱椒、新疆的板椒^[3]和番茄^[4-5]等, 均以当地干燥的气候条件为基础, 通过栽培措施和环境因子调控, 最大限度地降低早期成熟果实的坏果率, 待全株果实陆续脱水或红熟后, 使用机械采收。而可一次性采收簇生朝天椒新品种选育及相关研究鲜见报道。DU01 由贵州省农业科学院辣椒研究所育成, 并于 2018 年 1 月申请了植物新品种保护, 是极早熟且红熟期集中的辣椒

收稿日期: 2021-01-28; 修回日期: 2021-04-30

基金项目: 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2017]2573-1); 贵州省科技计划项目(黔科合支撑[2019]2261); 国家现代农业产业技术体系项目(CARS-24-G-24)

作者简介: 苏丹, 女, 助理研究员, 主要从事辣椒育种与营养品质研究。E-mail: 506824151@qq.com

通信作者: 胡明文, 男, 研究员, 主要从事辣椒育种研究。E-mail: 445478454@qq.com

新品种。笔者以适宜一次性采收的辣椒新品种 DU01 为试验材料,研究其在不同种植密度下的叶色和光合特性、产量等特点,以期寻找最佳的配置方式,为机械采收辣椒的高效栽培模式提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试辣椒新品种 DU01 为贵州省农业科学院辣椒研究所选育,株高 41.15 cm,主枝簇生,具上部短缩节间,自封顶性状明显,基部无侧枝萌发;叶柄极长,叶片宽大,叶色深绿;果实长指形,果皮光滑且光泽度好,青熟果深绿色,红熟果鲜红色;极早熟且熟期集中,全株果实可在 7~10 d 内成熟采收,全生育期 146 d。

1.2 方法

试验于 2019 年 4—9 月在贵州省农业科学院辣椒研究所基地和实验室进行。种植密度设 5 个处理,即 10.26 万株·hm⁻²(M1)、20.52 万株·hm⁻²(M2)、30.78 万株·hm⁻²(M3)、41.04 万株·hm⁻²(M4)、51.30 万株·hm⁻²(M5)(M1~M5 每穴种植辣椒 2 株、4 株、6 株、8 株、10 株)。试验小区长 8.0 m,宽 1.3 m,面积为 10.4 m²,3 次重复。

1 hm² 种植株数=各处理种植穴辣椒株数×3420×15。

4 月 22 日单粒种漂浮育苗,6 月 14 日定植,采用包沟开厢双行种植,其中厢面 70 cm,两厢之间的行道 60 cm,定植穴距离为 30 cm×40 cm。每小区选择 3 穴具代表性植株,分别在辣椒盛花期(7 月 10 日)、盛果期(8 月 19 日)和红熟期(9 月 12 日),测定叶片形态、叶色、光合色素和光合参数等光合特性指标;在红熟期测定果长、果横径、单果质量等产量相关指标。底肥施腐熟有机肥 12 500 kg·hm⁻²,复合肥(m_N:m_P:m_K=15:15:15)1250 kg·hm⁻²,田间统一管理,且各项管理措施在同一天内完成。施肥和田间管理标准略高于当地大田生产水平。

1.3 项目测定

1.3.1 叶片形态 采用 S-120 叶面积测量仪,每穴选取 3 片叶龄一致、叶片之间无遮掩、生长状况良好的成熟叶片,测定叶周长和叶面积。

1.3.2 光合色素含量 采用 95%乙醇提取法提取,分光光度法测定光合色素各指标含量:取新鲜叶片 0.1 g,避开叶脉部分,剪碎,分别揉入装有 25 mL 95%乙醇的离心管中,黑暗条件下浸提 3 d,以 95%

乙醇为空白,测定 OD₆₆₅、OD₆₄₉、OD₄₇₀,计算叶绿素 a (Chla)、叶绿素 b(Chlb)、类胡萝卜素(Car)及总叶绿素(Chlt)含量^[6]。

1.3.3 光合作用参数测定 采用便携式 LI-6400 光合测定^[7]系统,测定 1000 μmol·m⁻²·s⁻¹下辣椒叶片的净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂浓度(C_i)和蒸腾速率(T_r)。测量过程中参比室的空气流速为 500 mL·min⁻¹,其他条件与大气一致。每穴取 3 张成熟叶片重复测定 5 次,取平均值。

1.3.4 辣椒产量构成性状测定 在红熟期收获测产,各小区选取代表性果实 15 个,测定鲜椒果长、果横径、单果质量;按照《贵州辣椒田间测产规范》(DB 52/T 976—2014)^[8],采用 5 点取样法,调查单穴挂果数,计算单穴鲜椒产量和 667 m²产量。

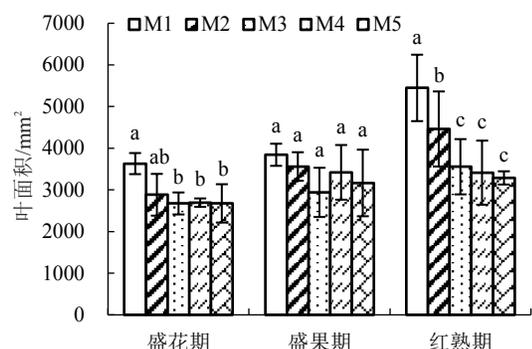
1.4 数据处理

采用 Microsoft Excel 2007 和 DPS 7.05 统计分析软件进行数据处理和分析。

2 结果与分析

2.1 不同种植密度下 DU01 叶面积比较

由图 1 可知,随着植株的生长,不同种植密度处理 DU01 的叶面积呈增长趋势,且都在红熟期达到最大值。盛果期后,DU01 各处理的叶面积增长幅度随着种植密度的增大呈降低趋势,低密度处理 M1、M2 的叶面积增长迅速,M3 的叶面积增长幅度整体较为稳定,高密度处理 M4、M5 的叶面积增长幅度极小,种植密度为 10.26 万株·hm⁻²(M1)时叶面积最大,且与其他处理呈显著差异;红熟期时,随着种植密度的增大,叶面积呈减小趋势。这可能与生育后期植株中上部生长空间竞争加剧有关。



注:图中不同小写字母表示在同时期 0.05 水平差异显著。图 2.3 同。

图 1 不同种植密度对 DU01 叶面积的影响

2.2 不同种植密度下 DU01 叶片中叶绿素和类胡萝卜素含量的比较

由图 2 可知,在辣椒的整个生育期中,低密度

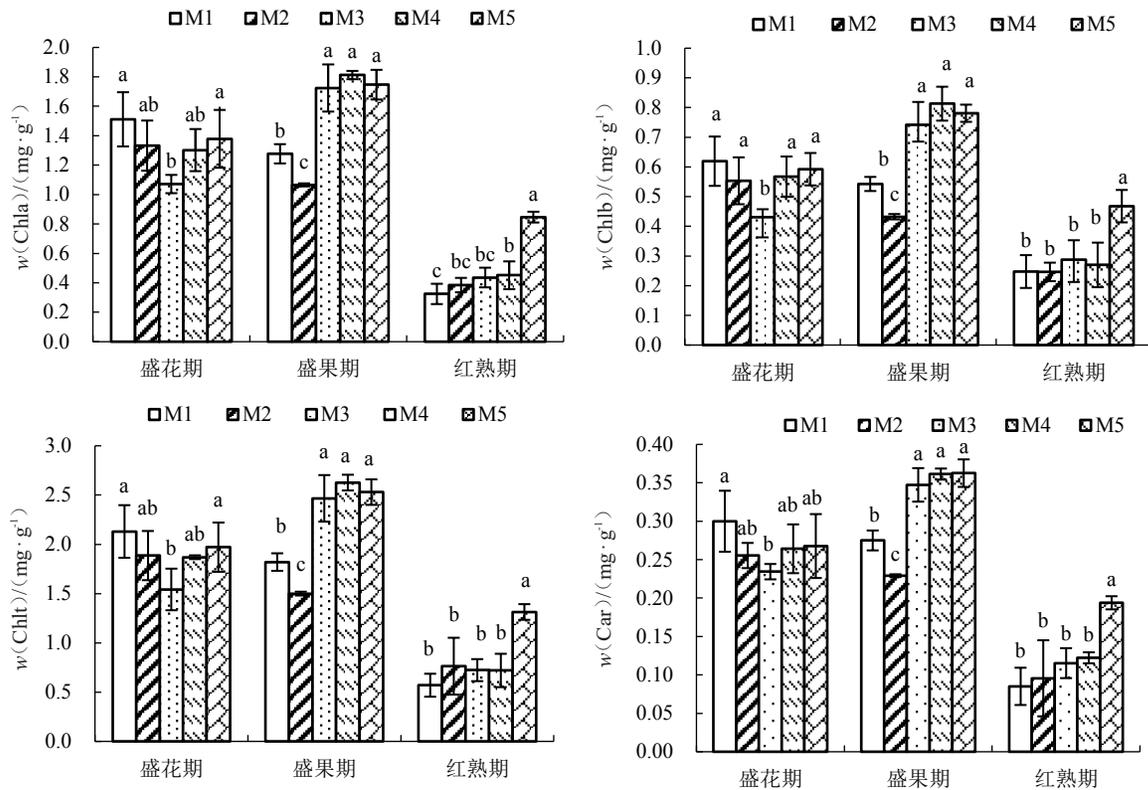


图2 不同种植密度对DU01 叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

处理 M1、M2 的叶绿素和类胡萝卜素含量呈下降趋势,高密度处理 M3、M4、M5 则呈先上升后下降趋势,在盛果期达到最大值;不同密度处理 DU01 的叶绿素和类胡萝卜素含量均在盛果期后迅速下降,至红熟期时达到最低,但种植密度为 51.30 万株·hm⁻² (M5) 时叶绿素含量和类胡萝卜素含量均显著高于其他处理。由此可知,高密度处理叶片进入衰老期较较低密度处理晚,且随着密度的增加,叶片褪绿较慢,衰老较晚。

2.3 不同种植密度下 DU01 叶片光合参数的比较

光合作用是产量形成的基础。由图 3 可知,在辣椒的整个生育期,DU01 功能叶的 P_n 呈下降变化趋势;M1 的 P_n 在盛花期和盛果期显著高于其他密度处理,在红熟期显著低于其他密度处理。说明种植密度为 10.26 万株·hm⁻² 时,在生长前期光合速率最高,在进入红熟期后最快进入衰老期,导致光合效率最低。在盛果期后,DU01 功能叶的光合参数均呈下降趋势,在红熟期降至最小值;仅低密度处理 M1 的 C_i 呈上升趋势,在红熟期达到最大值;M1 的 G_s 、 C_i 均高于其他密度处理,高密度处理 M4、M5 的 G_s 、 C_i 在盛果期后低于其他密度处理,但 M5 的 C_i 较 M4 略高;盛果期后,高密度处理 M4、M5 的 T_r

显著低于其他处理。由此可知,盛果期后,密度对 DU01 功能叶的 G_s 、 C_i 和 T_r 受密度影响较大,低密度处理 M1 的光合作用能力较强,能保证叶片良好的光合作用;随着密度的增加,光合作用效果逐渐被削弱,高密度处理 M4、M5 尤为明显,这可能与叶片间遮蔽严重、受光效果变差、阻碍了辣椒植株群体的光合能力有关。

2.4 不同种植密度下 DU01 产量及其构成因素比较

由表 1 可知,不同密度处理下,辣椒新品种 DU01 的单穴鲜椒产量和 667 m² 产量等产量指标均随着密度的增加呈增长趋势,即 M5>M4>M3>M2>M1;M5 的单穴鲜椒产量和 667 m² 产量最高,分别是 205.45 g、702.65 kg·667 m⁻²,且与其他处理均呈显著差异。从产量构成因素来看,各密度处理的果长、果横径、单果质量随着密度的增加而下降,各处理差异不显著,仅在果横径上 M1 显著大于 M5 处理;但各处理的单穴结果数随着密度的增加而迅速增大,即 M5>M4>M3>M2>M1,且 M4、M5 显著大于其他处理。M1 的单果最大、质量最高,但由于种植密度最小,每穴鲜椒产量为 58.22 g,产量最低;M5 的单果最小、质量最低,但单穴产量最高,达 205.45 g,且与其他处理呈显著差异。由此

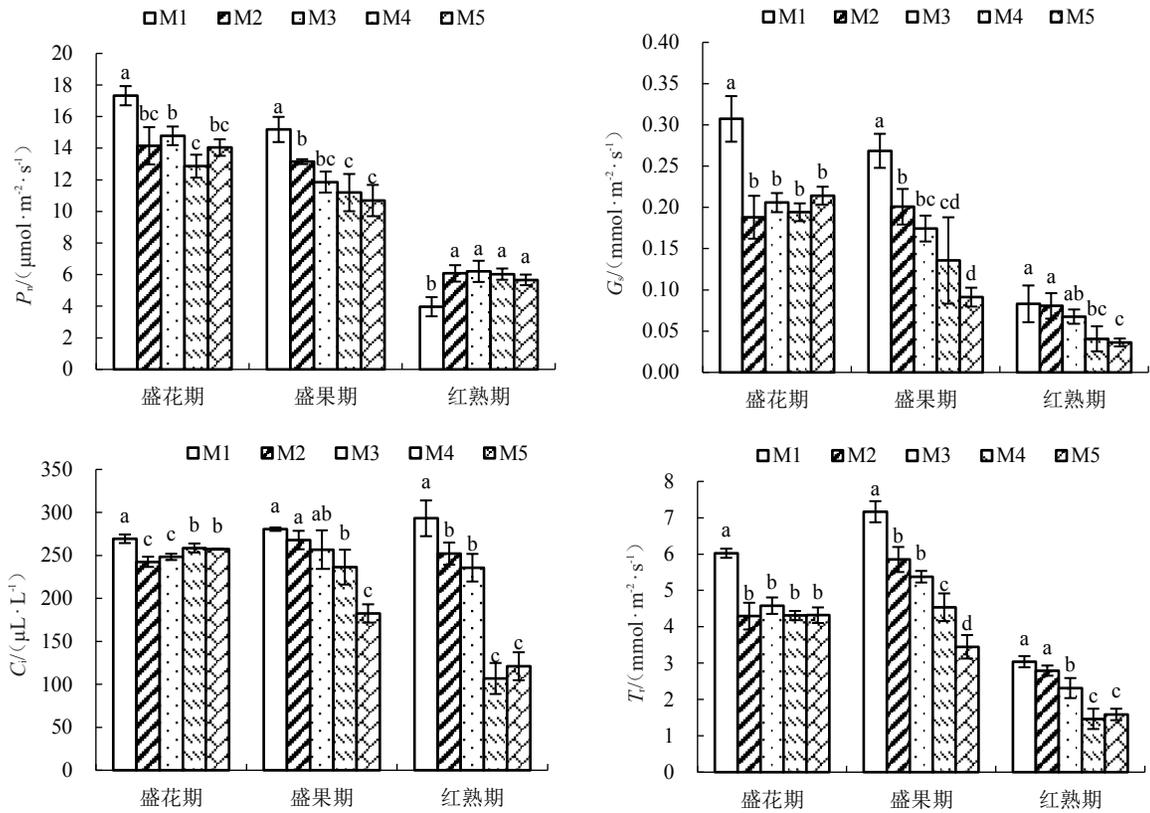


图3 不同种植密度对DU01光合参数的影响

表1 DU01不同密度处理产量及其构成因素比较

处理	果长/cm	果横径/mm	单果质量/g	单穴结果数	单穴鲜椒产量/g	667 m ² 种植密度/株	667 m ² 鲜椒产量/kg	折合产量/(kg·hm ⁻²)
M1	7.07 a	15.42 a	5.63 a	18.67 d	58.22 c	6 840	199.10 c	2 986.51 c
M2	6.19 a	14.69 ab	4.99 a	30.67 cd	85.03 c	13 680	290.80 c	4 361.96 c
M3	6.50 a	13.14 ab	4.63 a	39.67 c	99.1b c	20 520	338.92 bc	5 083.86 bc
M4	6.06 a	12.52 ab	4.46 a	54.33 b	142.72 b	27 360	488.09 b	7 321.31 b
M5	6.54 a	12.30 b	4.03 a	78.00 a	205.45 a	34 200	702.65 a	10 539.69 a

注:同列数据后不同小写字母表示在0.05水平差异显著。

表2 DU01不同密度处理产值及经济效益比较

处理	产值/(元·hm ²)	种子成本/(元·hm ²)	其他农资、人工成本/(元·hm ²)	经济效益/(元·hm ²)
M1	23 892.00	2 052.00	15 000	6 840.00 c
M2	34 896.00	4 104.00	15 000	15 792.00 c
M3	40 670.40	6 156.00	15 000	19 514.40 bc
M4	58 570.80	8 208.00	15 000	35 362.80 b
M5	84 318.00	10 260.00	15 000	59 058.00 a

可知,种植密度对辣椒新品种DU01的产量及其构成因素有较大影响,低密度种植无法发挥DU01的生产潜能;高密度种植会使辣椒的果长、果横径、单果质量下降,但单穴鲜椒产量大幅度增加,进而使667 m²产量大幅度提高。

2.5 不同种植密度下DU01的产值比较及经济效益分析

不同密度处理下,DU01仅种子用量不同,底肥、追肥量等农资投入和人工成本均相同。各密度处理的种子成本和经济效益均随着密度的增加呈增长趋势,即M5>M4>M3>M2>M1。按照2019年朝天椒鲜红椒的市场批发价格8元·kg⁻¹计算,高密度处理M4、M5的经济效益,分别是35 326.80元·hm⁻²、59 058.00元·hm⁻²,且与其他处理呈显著差异。DU01的种植密度为51.30万株·hm⁻²时,产量与常用簇生朝天椒三樱椒(鲜椒产量为10 500 kg·hm⁻²)持平^[9-11],由于用种量较大,经济效益略低于三樱椒,但其生育期仅为150 d左右,较三樱椒短30 d左右。

3 讨论与结论

合理密植是辣椒高产稳产重要的因素之一,不

同的种植密度影响着辣椒株行间的通风透光^[12],对辣椒植株的光合特性和单果质量均有较大的影响^[13]。随着种植密度的增加,辣椒群体内部环境发生变化,如叶片光合能力降低,进而使单果大小、质量下降^[13-14]。本试验结果表明,盛果期后,叶面积随着种植密度的增大逐渐减小,高密度处理 M4、M5 的光合能力显著小于低密度处理,这进一步说明了高密度群体辣椒植株上部叶片竞争加剧,导致功能叶的光合面积和光合能力下降。前人研究表明,随着密度的增加,植株功能叶的光合能力降低,本试验结果与此结论一致^[15-18]。但盛果期后,DU01 叶片的光合色素含量随着种植密度的增大逐渐增大、叶片褪绿减慢、衰老较晚,这可能与高密度处理下单穴植株结果数持续增加有关,单穴植株养分需求增加,亟需植株继续进行光合作用,使叶片保持叶绿素活性,持续进行光合作用,提供有机物,进而提高辣椒产量。红熟期时,M5 的 C_i 较 M4 略高,这可能与未褪绿叶片为吸收较多的 CO_2 持续进行光合作用有关。这与其他研究者的结论不同。种植密度对产量及其构成因数具有明显的调节作用:各处理的单果质量随着密度的增大逐渐减小,但各处理的单果长、果横径、单果质量等指标差异均未完全达到显著水平;鲜椒产量随着密度的增大逐渐增加,且高密度处理 M4、M5 的产量显著高于其他处理,由此可见产量增加是由植株数量增多导致,产量构成因数(果长、果横径、单果质量)随着密度的增加未发生显著变化,高密度种植处理下的有效株数足以弥补单果质量小的劣势。

唐瑞永等^[14]、周华等^[19]的研究结果表明,辣椒的产量随种植密度的增加表现为先升高后降低,呈抛物线变化,这与本试验的结果不同。这可能与研究材料、密度设置不同有关,前人选用的福建辣椒王、天椒 12 号、天椒 14 号等均为单生持续结果型辣椒品种,植株开展度大,密度过大会导致植株间的生长空间竞争加剧,降低产量,但 DU01 为簇生自封顶型辣椒,植株开展度小,密度为 51.30 万株· hm^{-2} 时仍可显著提高产量,这也说明 DU01 极适宜高密度种植。

综上所述,辣椒新品种 DU01 的适宜种植密度为 51.30 万株· hm^{-2} (即每穴 10 株,3400 穴·667 m^2) 时,叶面积最小、光合能力较低、果实形态和单果质量最小,但其褪绿时间最晚、叶片衰老最慢,延长了植株进行光合作用、产生有机物的时间,间接促进了产量的增加;且其有效株数最大、单穴结果数最多,其鲜椒产量最高平均达 10 539.69 $kg \cdot hm^{-2}$,显著

高于其他处理。根据田间调查,密度为 51.30 万株· hm^{-2} 时,DU01 的产量和经济效益即可与生产常用簇生朝天椒品种三樱椒持平。后续可从果实品质、肥水利用率等方面进行更高种植密度的高产栽培技术研究。

笔者所用试材仅以适于机械化采收的簇生朝天椒新品种 DU01,不能代表其他适于机械化采收的辣椒品种,须因地制宜,根据当地气候、土壤、灌溉条件等因素选择适宜机械化采收的辣椒品种,并进行合理密植以获得高产。

参考文献

- [1] 王立浩,张宝玺,张正海,等.“十三五”我国辣椒育种研究进展、产业现状及展望[J].中国蔬菜,2021(2):21-29.
- [2] 田浩,王需昌,周安韦,等.不同采收方式对朝天椒产量和效益的影响[J].辣椒杂志,2016,14(1):34-38.
- [3] 帕提古丽·阿布都维力.新疆加工型辣椒精量直播机械化采收栽培技术[J].新农业,2019(23):44-45.
- [4] 甘中祥,张勇,李倍金,等.加工番茄一次性采收研究试验[J].新疆农垦科技,2009,32(1):28-29.
- [5] 彭刚,甘中祥,张勇,等.加工番茄一次性采收研究[J].现代农业科学,2009,16(2):116-117.
- [6] 张治安,陈展宇.植物生理学实验技术[M].长春:吉林大学出版社,2008:66-68.
- [7] 蓬桂华,张爱民.辣椒不同生育期光合作用比较[J].长江蔬菜,2016(24):63-66.
- [8] 贵州省质量技术监督局,贵州省农业委员会.贵州辣椒田间测产规范:DB 52/T 976—2014[S].贵阳:贵州省市场监督管理局,2014.
- [9] 王秀芝,王平,曹凤仙,等.三樱椒喷施高效腐殖酸液肥增产效果研究[J].中国果菜,2007(1):30-31.
- [10] 何卫华.朝天椒高产栽培技术[J].河南农业,2015(3):43.
- [11] 王志强.三樱椒植保新技术示范效果分析[J].河南农业,2020(25):41.
- [12] 陈建华,姜国霞.不同密度对辣椒种植效果的影响[J].农业科技通讯,2017(4):110-113.
- [13] 彭思云,罗焱,谢挺,等.不同种植密度对遵椒 4 号产量的影响[J].辣椒杂志,2016,14(1):39-42.
- [14] 唐瑞永,梁更生,尹艳兰,等.辣椒种植密度对其农艺性状及产量的影响[J].甘肃农业科技,2019(4):32-36.
- [15] 王倩茜,崔明灼,严美玲,等.不同种植密度对烟农 173 产量及光合特性的影响[J].安徽农学通报,2019,25(23):45-47.
- [16] 崔凤娟,李岩,王振国,等.种植密度对高粱群体生理指标及产量影响[J].中国农学通报,2018,34(8):9-14.
- [17] 朱凯,张飞,柯福来,等.2 个适合机械化种植的高粱品种产量、光合特性及密植潜力比较[J].江苏农业科学,2017,45(16):73-75.
- [18] 高悦,李伟,李继洪.种植密度对高粱吉杂 137 光合特性及产量的影响[J].江苏农业科学,2020,48(7):82-86.
- [19] 周华.不同栽培密度对朝天椒植株生长及产量的影响[J].福建农业科技,2020(3):40-43.