

加工辣椒避雨栽培优势及水肥一体化施肥方案初探

李 红^{1, 2}, 巩雪峰^{1, 2}, 陈 鑫¹, 宋占锋^{1, 2*}, 许 艺^{1, 2*}

(1. 四川省农业科学院园艺研究所 / 蔬菜种质与品种创新四川省重点实验室, 四川 成都 610066;

2. 农业农村部西南地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室, 四川 成都 610066)

摘 要: 通过露地常规栽培与避雨栽培相比, 探索避雨栽培在四川盆地加工辣椒越夏栽培中对辣椒生长发育、产量品质以及病虫害等方面的影响; 同时, 进一步研究在避雨栽培条件下, 不同 N、P₂O₅、K₂O 养分比例和总施肥量以及基肥是否增施微生物菌剂对辣椒生长发育和产量、品质的影响, 以期探索四川盆地加工辣椒在该条件下相对高效、生态的施肥方案。研究结果表明: (1) 与露地常规栽培相比, 避雨栽培配套水肥一体化施肥技术, 总施肥量即使较常规施肥量减少 30%, 其植株株高、茎粗、株幅、平均单果重、果实产量、采收期、果实品质, 以及病害发生率等方面均表现出绝对优势。(2) 在避雨栽培配套水肥一体化施肥技术中, N、P₂O₅、K₂O 总施肥量为 653.25 kg/hm², 其中 N 施用量为 261.75 kg/hm² 时, 辣椒产量最高; 当基肥增施微生物菌剂 2250 kg/hm², 化肥总施肥量较常规施肥量减少 20% (N、P₂O₅、K₂O 总施肥量为 521.4 kg/hm², 其中 N 施用量为 189.75 kg/hm²) 时, 辣椒果实产量较常规施肥量处理有所降低但差异不显著, 且辣椒素、色价等果实品质有所提高, 实现生态与加工辣椒果实品质双优。

关键词: 辣椒; 避雨栽培; 水肥一体化; 微生物菌剂

辣椒营养价值高, 用途广泛, 是四川省乃至我国重要的经济作物之一^[1]。四川盆地气候温和, 降雨充沛, 无霜期长, 有效积温高, 是四川省加工辣椒的主要种植区, 其栽培模式以夏季露地栽培为主, 从 7 月开始陆续采收红椒。但四川盆地雨热同季, 夏季 7 ~ 8 月正值多雨季节, 高温高湿, 辣椒又是浅根系作物, 极不耐水涝, 种植地积水后, 疫病、炭疽病高发, 采收期缩短, 严重影响红椒产量和品质。

避雨栽培可直接避免雨水对作物的影响, 改善作物生长小环境, 降低空气湿度, 减少病虫害发生, 提高品质, 增产增值^[2-8]; 而水肥一体化施肥技术可以改善土壤物理性质和根区环境, 提高水肥利用率, 增加作物产量和品质, 目前已由小范围试

验示范发展为大面积推广应用^[9-12]。因此, 避雨栽培配套水肥一体化施肥技术应用前景广阔。目前, 关于辣椒避雨栽培生产技术、辣椒避雨栽培产量产值优势, 以及温室大棚中水肥一体化施肥技术对辣椒生长发育、养分积累、产量品质的影响已有不少研究^[2-3, 11-21], 但有关四川盆地加工辣椒越夏避雨栽培水肥一体化施肥技术的研究鲜见报道。

本试验通过比较加工辣椒露地常规栽培和避雨栽培, 探索避雨栽培在四川盆地加工辣椒越夏栽培中对辣椒生长发育、品质产量和病虫害减少等方面的优势, 同时探索加工辣椒在避雨栽培配套水肥一体化施肥技术条件下相对高效、生态的施肥方案, 为四川盆地加工辣椒避雨栽培技术的推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验地位于四川省成都市新都区四川省农业科学院现代农业科技创新示范园内 (104.21° E, 30.77° N), 试验地块地势平坦, 土壤质地为壤土, 土壤肥力均匀适中, 于施基肥前测定 0 ~ 20 cm 土层的土壤养分基本状况, 为 pH 值 7.41、有机质

收稿日期: 2021-12-08; 录用日期: 2022-03-02

基金项目: 国家现代农业产业技术体系四川省创新团队 (scextd-2020-05); 四川省科技计划项目 (青年科技创新研究团队) (2021JDTD0006)。

作者简介: 李红 (1988-), 助理农艺师, 本科, 主要研究辣椒新品种选育及栽培技术。E-mail: 493178892@qq.com。

通讯作者: 许艺, E-mail: 763553664@qq.com; 宋占锋, E-mail: 289544274@qq.com。

19.1 g/kg、全氮 1.16 g/kg、碱解氮 87 mg/kg、有效磷 22.8 mg/kg、速效钾 103 mg/kg。试验设施为钢架避雨棚，长 48 m、宽 8 m，棚膜为塑料薄膜。试验地侧面中间位置连接水肥一体化施肥装置（施肥器），尽量保证施肥时各试验重复及处理均匀受肥，减少误差；每 2 行辣椒植株中间铺设 1 条滴灌带，并联后与施肥器相连。

供试辣椒品种为“川腾 6 号”，是四川省农业科学院园艺研究所自主选育的辣椒新品种。供试肥料有尿素、过磷酸钙，复合肥（N-P₂O₅-K₂O=15-15-15）、微生物菌剂（3.0 亿/g 有效活菌数，70% 有机质，菌种名称：枯草芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌）、高氮水溶肥（30-10-10+TE，TE 包含中微量元素 Ca、Mg、Zn、Fe，总含量为 0.2% ~ 3.0%）、高钾水溶肥（10-5-35+TE）。

辣椒于 2019 年 11 月 20 日穴盘育苗，2020 年 3 月 27 日定植，2020 年 7 月 24 日开始采收红椒，露地栽培 2020 年 8 月 18 日拉秧，避雨栽培 2020 年 10 月 20 日拉秧。

1.2 试验设计

分析前人对辣椒施肥量、施肥方式、N:P₂O₅:K₂O 施肥比例及施肥时间等的大量研究^[11, 20-30]，结合当地农户施肥习惯，共设 1 个露地常规栽培对照，6 个避雨栽培处理，每个处理 3 次重复，每个重复种植 2 垄，垄宽 70 cm，沟宽 60 cm，每垄种植辣椒 2 行，株距 40 cm，小区面积 19.24 m²（7.4 m × 2.6 m）。

CK：露地常规栽培——沟灌。T1：避雨栽培——水肥一体化，化肥总量和化肥种类均与露地常规栽培相同，但基肥和追肥方案不同。T2：避雨栽培——水肥一体化，化肥总量与 T1 处理相同，但追肥使用高钾水溶肥（10-5-35+TE）和高氮水溶肥（30-10-10+TE），调整 N、P₂O₅、K₂O 养分比例。T3：避雨栽培——水肥一体化，在 T2 处理的基础上化肥总量减少 20%。T4：避雨栽培——水肥一体化，在 T3 处理的基础上，基肥增施微生物菌剂。T5：避雨栽培——水肥一体化，化肥总量较常规施肥量减少 30%，基肥增施微生物菌剂。T6：避雨栽培——水肥一体化，化肥总量与 T5 处理相同，均为基肥增施微生物菌剂、化肥总量较常规施肥量减少 30%，但追肥种类改变，只用尿素和高钾水溶肥（10-5-35+TE），整体氮素减少，具体肥料运筹方案详见表 1。

1.3 测定项目

生长发育：辣椒定植后，每个小区选择代表性植株 6 株，于定植后 10 ~ 69 d，每 14 d 左右定点动态测定植株株高；定植 74 d 后，各处理植株株高和茎粗趋于稳定时，测量各小区代表性植株的株幅和茎粗。

产量：在辣椒红椒成熟期，各个小区分批采收计产，最后汇总。

品质：在盛果期，采收各小区长势均匀的辣椒果实 10 个，测定其品质，主要包括：总糖、维生素 C（Vc）、鲜果肉厚、干果皮厚、辣椒素、色价。

病害调查：从辣椒开花初期开始，当有处理发生疫病、炭疽病、病毒病等病害时，调查各小区植株病害发生率，并计算病情指数。病害发生率（%）= 发病植株 / 调查总株数 × 100；病情指数 = Σ （各级病株数 × 各级代表值）/（调查总株数 × 最高级代表值）× 100。

1.4 数据分析

采用 Excel 2019 和 SPSS 23.0 对试验数据进行处理和分析，多重比较采用 Duncan 法进行显著性测验。

2 结果与分析

2.1 不同处理对辣椒植株生长发育的影响

从图 1 可以看出，当植株定植 10 d 时，露地常规栽培（CK）的株高最高，且显著高于 T4 和 T6 处理，但之后 CK 的株高与避雨栽培各处理间的差异逐渐减小，在定植 24 和 40 d 时，各处理植株株高无显著性差异，在定植 54 d 之后，CK 的株高显著低于其他处理。说明 CK 的植株株高生长从缓苗后就一直慢于避雨栽培处理植株。避雨栽培不同施肥处理（T1 ~ T6）植株株高始终无显著性差异，但定植 40 d 之后，总施肥量较常规施肥量减少 30% 处理（T5 和 T6）的株高开始较其他处理低，且在定植 54 和 69 d 时差距逐渐加大，可能是因为 T5 和 T6 处理施肥总量减少较多，后期营养供应不足，难以满足植株正常生长。

当辣椒植株定植 74 d 以后，各处理植株株高和茎粗趋于稳定，此时测定各处理植株茎粗和株幅（表 2）。由表 2 可知，露地常规栽培（CK）植株茎粗和株幅显著低于其他避雨栽培水肥一体化处理（T1 ~ T6）；避雨栽培不同施肥处理间植株茎粗表现为 T4>T1>T6>T5>T2 ≈ T3，株幅横茎表现为

表 1 试验处理肥料运筹方案

处 理					基肥	追肥 次数	追施方案		(kg/hm ²)
	N、P ₂ O ₅ 、 K ₂ O 总用量	其中 N 用量	其中 P ₂ O ₅ 用量	其中 K ₂ O 用量					
CK	653.25	261.75	267.75	123.75	过磷酸钙: 1200; 尿素: 225; 复合肥: 825	1	移栽后 7 ~ 10 d: 尿素 75		
T1	653.25	261.75	267.75	123.75	过磷酸钙: 1200; 尿素: 135; 复合肥: 255	6	(1) 提苗肥 (移栽后 7 d 左右): 尿素 75; (2) 初花期: 复合肥 90; (3) 果实膨大期: 复合肥 120+ 尿素 45; (4) 果实采收期 (追肥 3 次): 第 1 次为复合肥 120; 第 2 次为复合肥 120+ 尿素 45; 第 3 次为复合肥 120		
T2	652.50	238.50	146.25	267.75	复合肥 600	6	(1) 提苗肥 (移栽后 7 d 左右): 高氮水溶肥 45; (2) 初花期: 高氮水溶肥 75 + 高钾水溶肥 45; (3) 果实膨大期: 高氮水溶肥 75 + 高钾水溶肥 75; (4) 果实采收期 (追肥 3 次): 前两次为高氮水溶肥 60+ 高钾水溶肥 105; 第 3 次为高氮水溶肥 45+ 高钾水溶肥 75		
T3	521.40	189.75	114.00	217.65	复合肥 450	6	(1) 提苗肥 (移栽后 7 d 左右): 高氮水溶肥 45; (2) 初花期: 高氮水溶肥 60+ 高钾水溶肥 45; (3) 果实膨大期: 高氮水溶肥 67.5+ 高钾水溶肥 67.5; (4) 果实采收期 (追肥 3 次): 前两次为高氮水溶肥 45+ 高钾水溶肥 90; 第 3 次为高氮水溶肥 30+ 高钾水溶肥 60		
T4	521.40	189.75	114.00	217.65	复合肥 450; 微生物菌剂 2250	6	(1) 提苗肥 (移栽后 7 d 左右): 高氮水溶肥 45; (2) 初花期: 高氮水溶肥 60+ 高钾水溶肥 45; (3) 果实膨大期: 高氮水溶肥 67.5+ 高钾水溶肥 67.5; (4) 果实采收期 (追肥 3 次): 前两次为高氮水溶肥 45+ 高钾水溶肥 90; 第 3 次为高氮水溶肥 30+ 高钾水溶肥 60		
T5	453.75	167.25	98.25	188.25	复合肥 375; 微生物菌剂 2250	6	(1) 提苗肥 (移栽后 7 d 左右): 高氮水溶肥 45; (2) 初花期: 高氮水溶肥 45+ 高钾水溶肥 45; (3) 果实膨大期: 高氮水溶肥 60+ 高钾水溶肥 60; (4) 果实采收期 (追肥 3 次): 前两次为高氮水溶肥 45+ 高钾水溶肥 75; 第 3 次为高氮水溶肥 30+ 高钾水溶肥 60		
T6	458.25	141.75	81.75	234.75	复合肥 375; 微生物菌剂 2250	6	(1) 提苗肥 (移栽后 7 d 左右): 尿素 75; (2) 初花期: 高钾水溶肥 90; (3) 果实膨大期: 高钾水溶肥 105; (4) 果实采收期 (追肥 3 次): 每次均为高钾水溶肥 105		

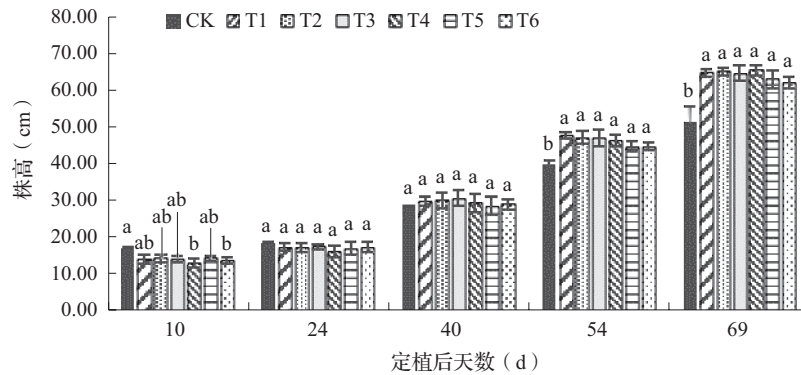


图1 不同处理对辣椒株高的影响

注：图中不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

表2 不同处理对辣椒植株茎粗和株幅的影响

指标	CK	T1	T2	T3	T4	T5	T6
茎粗 (mm)	9.34 ± 1.22b	12.00 ± 1.11a	11.18 ± 0.20a	11.18 ± 0.75a	12.18 ± 0.41a	11.41 ± 0.62a	11.66 ± 1.01a
株幅横茎 (cm)	56.85 ± 3.45b	81.51 ± 2.04a	78.67 ± 2.79a	74.91 ± 5.32a	79.86 ± 3.60a	74.30 ± 4.38a	78.80 ± 5.44a
株幅纵茎 (cm)	53.73 ± 1.21b	75.34 ± 3.38a	73.90 ± 4.65a	72.88 ± 9.44a	77.58 ± 2.18a	69.17 ± 3.26a	72.30 ± 4.43a

注：表中同行不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

T1>T4>T6>T2>T3>T5，株幅纵茎表现为 T4>T1>T2>T3>T6>T5，但差异均不显著。

2.2 不同处理对辣椒果实产量的影响

2.2.1 不同栽培模式对辣椒果实产量及采收期的影响

由表3可知，避雨栽培不同处理 (T1 ~ T6) 的总产量和平均单果鲜重、平均单果干重均显著高于露地常规栽培 (CK)，其总产量分别较 CK 增加了 1.47、1.33、1.22、1.31、1.18、1.16 倍。分析发现，CK 产量低主要是因为第 1 次采果时产量就显著低于其他处理，且第 2 次采果 (8 月 7 日) 后，四川盆地进入多雨季节，露地栽培辣椒植株长期被雨水淋洗，疫病严重，植株大量死亡，无后续产量，采收期短；但 T1 ~ T6 处理在避雨棚下，避免了雨水直接影响，且水肥一体化模式在满足作物正常生长养分需要的同时，可改善根区环境，延缓植株衰老，使采收期延长了近 2 个月，采收次数增加了 2 次。

2.2.2 不同 N、P₂O₅、K₂O 养分比例对避雨栽培辣椒产量的影响

本试验中，T1 和 T2 处理，T5 和 T6 处理为两组以 N、P₂O₅、K₂O 养分比例为变量的对照组 (表 1)。T1 和 T2 处理总施肥量均为常规施肥总量，N、P₂O₅、K₂O 养分比例分别为 1 : 1.02 : 0.47

和 1 : 0.61 : 1.12；T5 和 T6 处理总施肥量均为常规施肥总量减少 30%，N、P₂O₅、K₂O 养分比例分别为 1 : 0.59 : 1.13 和 1 : 0.58 : 1.65。养分比例的调整导致各处理间氮、磷、钾肥相对含量的变化——T2 处理的氮肥、磷肥较 T1 处理有所降低，钾肥量相应增加；T6 处理的氮肥、磷肥较 T5 处理有所降低，钾肥量相应增加。从表 3 可以看出，T1 和 T2 处理的总产量、平均单果鲜重和平均单果干重均无显著性差异，但 T2 处理各项指标均较 T1 有下降趋势。T5 与 T6 处理的总产量亦无显著性差异，但 T5 处理总产量略高于 T6，且从各处理 4 次采果的结构分析可以看出，T6 处理从第 2 次采果开始产量就较低，而 T5 处理后期产量明显提高，说明养分比例调整后 N、P₂O₅、K₂O 相对含量的变化对辣椒果实产量有一定的影响。

2.2.3 不同施肥量对避雨栽培辣椒产量的影响

本试验中，T2 和 T3 处理、T4 和 T5 处理为两组以施肥量为变量的对照组 (表 1)。从表 3 可以看出，T2 和 T3 处理的总产量无显著性差异，但 T2>T3；T4 和 T5 处理的总产量无显著性差异，但 T4>T5，均表现为随着施肥量的降低，总产量降低。且从整个试验处理来看，避雨栽培不同施肥处理 (T1 ~ T6) 平均单果鲜重和平均单果干重差异不显著，但总产量存在一定差异，表现为 T1>T2>T4>T3>T5>T6，

表 3 不同处理对辣椒产量的影响

指标	CK	T1	T2	T3	T4	T5	T6
第 1 次采果 (kg/hm ²)	5483.37 ± 585.15d	16675.33 ± 167.08a	15332.64 ± 700.70b	15116.08 ± 346.07b	15194.04 ± 287.43b	12933.13 ± 105.03c	14570.34 ± 792.66b
第 2 次采果 (kg/hm ²)	6774.08 ± 295.54a	6254.33 ± 266.72ab	6063.76 ± 555.75bc	5336.11 ± 210.05d	6029.11 ± 412.54bc	6115.73 ± 167.08b	5474.71 ± 158.79cd
第 3 次采果 (kg/hm ²)	0.00c	2044.35 ± 158.79b	1888.43 ± 210.05b	1767.15 ± 187.40b	1923.08 ± 187.40b	2581.43 ± 442.04a	1819.13 ± 226.55b
第 4 次采果 (kg/hm ²)	0.00b	5336.11 ± 432.78a	5249.48 ± 720.19a	4954.95 ± 368.74a	5214.83 ± 493.99a	5388.08 ± 216.39a	4608.45 ± 658.12a
总产量 (kg/hm ²)	12257.45 ± 826.03c	30310.12 ± 591.09a	28534.30 ± 792.94ab	27174.29 ± 540.97b	28361.05 ± 535.33ab	26671.86 ± 703.27b	26472.63 ± 694.57b
平均单果鲜重 (g)	12.63 ± 1.77b	16.08 ± 0.84a	15.86 ± 0.27a	16.07 ± 0.44a	16.83 ± 0.61a	15.38 ± 1.40a	16.03 ± 0.24a
平均单果干重 (g)	1.83 ± 0.22b	2.46 ± 0.24a	2.43 ± 0.08a	2.38 ± 0.21a	2.45 ± 0.20a	2.46 ± 0.14a	2.38 ± 0.02a

注：第 1 次采果时间为 2020 年 7 月 24 日；第 2 次采果时间为 2020 年 8 月 7 日；第 3 次采果时间为 2020 年 8 月 31 日；第 4 次采果时间为 2020 年 10 月 10 日。

其中 T1 与 T2、T4 处理无显著性差异，但显著高于 T3、T5 和 T6 处理。分析发现，本试验各处理总产量变化趋势与氮肥施用量呈正相关（各处理氮肥量高低排序为 T1>T2>T3=T4>T5>T6），说明不同氮肥施用量对辣椒产量有明显影响，同时也说明当地农户常规施肥量中，并没有因氮肥过量施用而导致减产的情况。

2.2.4 增施微生物菌剂对避雨栽培辣椒产量的影响

本试验中，T3 和 T4 处理为以微生物菌剂为变量的对照组。从表 3 可以看出，T3 与 T4 处理的总产量虽无显著性差异，但 T4>T3，且从分批采果产量结构分析可以看出，T4 处理单次采果产量均高于 T3，且第 2 次达到显著性差异。从表 3 还可以看出，T4 较 T2 处理总化肥施用量减少了 20%，但基肥增施了微生物菌剂后，T4 与 T2 处理的总产量差异不大，且 T4 处理平均单果鲜重和平均单果干

重较 T2 处理有所增加，说明微生物菌剂的添加可以降低因化肥量减少带来的产量差异，对辣椒果实产量形成有一定的促进作用。

此外，为了探索减施化肥、配施微生物菌剂对辣椒产量的影响，本试验设计了施肥量较常规施肥量减少 30%，且基肥增施微生物菌剂的处理（T5 和 T6）。从表 3 可以看出，T5 和 T6 处理的产量最低，且与 T1 处理达到显著性差异，可能是化肥总量减少过多，导致整个生育期营养供应不足，即使增施微生物菌剂也不能达到明显效果，说明微生物菌剂的施用要建立在肥量充足的基础上，才能达到更佳的效果。

2.3 不同处理对辣椒果实品质的影响

从表 4 可以看出，露地常规栽培处理（CK）除总糖含量较高外，其他品质指标含量均较低，其中维生素 C（Vc）和辣椒素含量显著低于避雨栽培

表 4 不同处理对辣椒品质的影响

指标	CK	T1	T2	T3	T4	T5	T6
总糖 (mg/g)	17.96 ± 2.72ab	12.93 ± 1.95de	11.01 ± 1.86e	16.67 ± 0.81abc	14.95 ± 2.49bcd	14.21 ± 0.69cde	19.74 ± 1.44a
Vc (mg/100 g)	33.71 ± 3.71d	57.80 ± 2.66a	58.55 ± 2.07a	47.39 ± 1.84c	54.23 ± 0.91ab	52.36 ± 1.90b	54.14 ± 3.84ab
鲜果肉厚 (mm)	12.31 ± 1.06c	15.20 ± 0.76ab	14.65 ± 0.89ab	15.14 ± 1.08ab	13.78 ± 0.56bc	14.66 ± 0.19ab	15.59 ± 1.21a
干果皮厚 (mm)	0.13 ± 0.02a	0.17 ± 0.01a	0.13 ± 0.02a	0.18 ± 0.02a	0.13 ± 0.02a	0.17 ± 0.02a	0.17 ± 0.08a
辣椒素 (g/kg)	0.63 ± 0.07c	1.01 ± 0.21b	1.02 ± 0.07ab	1.21 ± 0.12ab	1.25 ± 0.21ab	1.29 ± 0.12a	1.28 ± 0.13a
色价	16.43 ± 1.05bc	14.91 ± 0.76bc	16.64 ± 1.29bc	14.27 ± 1.34c	16.86 ± 0.96b	19.66 ± 1.42a	19.70 ± 1.92a

处理 (T1 ~ T6), 鲜果肉厚也明显较其他处理低, 说明辣椒避雨栽培水肥一体化模式有助于提高辣椒果实品质。

从表 4 可以看出, 除 T6 处理总糖含量显著高于 T5 外, T1 和 T2 处理, T5 和 T6 处理两两对比, 其品质指标均无显著性差异, 说明本试验中不同养分比例对辣椒果实品质影响不大。从整个避雨栽培处理 (T1 ~ T6) 来看, 常规化肥施用总量处理的 (T1 和 T2) Vc 含量较其他处理有明显优势, 但总糖含量、辣椒素和色价均较其他处理有一定程度地降低。对于加工红辣椒来说, 辣椒素和色价是评价其品质的两个重要指标, 本试验中各避雨栽培处理辣椒素含量排序为 T5>T6>T4>T3>T2>T1, 色价高低排

序为 T6>T5>T4>T2>T1>T3, 总体变化趋势为化肥施用量降低, 辣椒素含量和色价有所增加, 增施微生物菌剂, 辣椒素含量和色价有所提高。

2.4 不同处理对辣椒病害发生率和病情指数的影响

从表 5 可以看出, 2020 年 7 月 3 日调查的病毒病, 各处理间病毒病发生率及病情指数差异不大。但 2020 年 8 月 18 日调查的疫病, 露地常规栽培 (CK) 的疫病发生率和病情指数明显高于避雨栽培处理 (T1 ~ T6), 疫病发生率增加 11.53 ~ 16.45 倍, 病情指数增加 29.69 ~ 50.27 倍, CK 处理疫病严重, 造成植株大量死亡, 终止采收, 直接影响辣椒的最终产量。

表 5 不同处理对辣椒病毒病、疫病发病率和病情指数的影响

指标	CK	T1	T2	T3	T4	T5	T6
病毒病发生率 (%)	1.88	2.36	2.34	2.39	1.42	0.95	2.34
病毒病病情指数	0.21	0.58	0.78	0.80	0.16	0.32	0.88
疫病发生率 (%)	65.26	4.72	3.74	4.31	5.21	4.29	4.21
疫病病情指数	45.12	1.47	1.04	1.01	1.11	1.01	0.88

注: 病毒病调查日期为 2020 年 7 月 3 日, 疫病调查日期为 2020 年 8 月 18 日。

3 讨论与结论

本试验中, 露地常规栽培 (CK) 与避雨栽培配套水肥一体化施肥处理 (T1 ~ T6) 相比, 其植株株高在定植 10 d 时高于其他处理, 但之后与各处理间的差异逐渐减小, 且在定植 54 d 之后显著低于 T1 ~ T6 处理, 可能是因为前期辣椒植株较小, 以营养生长为主, 需肥量较少, 且 CK 底肥足, 可满足植株正常营养生长; 但定植 54 d 之后, 辣椒进入开花坐果期, 需肥量迅速增加, CK 虽然施肥量多, 但一次性作为基肥施入, 会造成根系土壤浓度过大, 继而影响根系对肥料的吸收利用^[31], 且后期沟灌也会造成肥料淋溶损失, 影响植株正常需肥。而水肥一体化施肥技术为少量多次施肥, 根据作物不同生育阶段按需供养, 直接将水肥均匀灌至作物根部, 被根系有效吸收利用, 满足了作物在关键生育期“吃饱喝足”的需要^[9, 11, 27], 可节约水肥, 提高肥料利用率, 促进植株生长, 降低空气和土壤湿度, 减少病虫害发生, 提高辣椒产量和品质。本试验中, CK 的植株株高、茎粗、株幅、平均单果鲜重与干重、总产量均显著低于避雨栽培水肥一体化施肥处理 (T1 ~ T6), 同时辣椒果实品质下降,

疫病等病害发生率和病情指数大幅提高, 与前人大量研究结果相似^[7-8, 12, 28]。

为了探索四川盆地加工辣椒在避雨栽培配套水肥一体化施肥技术条件下相对高效、生态的施肥方案, 本试验从 N、P₂O₅、K₂O 养分比例、施肥量、微生物菌剂 3 个角度进行研究。四川盆地加工辣椒越夏栽培中, 农户常规施肥 N、P₂O₅、K₂O 总量为 653.25 kg/hm², N : P₂O₅ : K₂O=1 : 1.02 : 0.47 (表 1), 而有研究表明^[9, 23-26, 32], 辣椒在整个生育期偏好氮、钾肥, 对磷肥需求量较少, N、P₂O₅、K₂O 较佳施肥比例为 N : P₂O₅ : K₂O=1 : (0.37 ~ 0.69) : (0.9 ~ 1.22)。对比分析发现, 四川盆地农户施肥量磷肥所占比例较大, 而钾肥所占比例较小, 因此本试验设计了 N、P₂O₅、K₂O 养分比例调整的处理, 调整后 N : P₂O₅ : K₂O 为 1 : (0.58 ~ 0.61) : (1.12 ~ 1.65)。但从试验结果来看, 本试验 N、P₂O₅、K₂O 养分比例调整后, 辣椒果实产量和品质并没有显著性差异 (T1 和 T2), 甚至 T2 处理总产量较 T1 有所下降, 植株茎粗和株幅也有类似趋势。可能是因为养分比例调整后, T2 处理氮肥量较 T1 减少, 而氮肥是作物产量形成的重要元素, 大量研究表明, 在一定范围内, 辣椒产量与氮肥施用量成正比, 超过一定范围

时,辣椒产量才因氮肥施用量增加而下降^[29, 32-33]。本试验中 T1 ~ T6 处理因养分比例调整或施肥总量降低导致氮肥施用量逐渐降低,辣椒总产量也随着氮肥用量的减少而下降,也进一步说明了 T2 处理养分比例调整后产量较 T1 处理反而有所下降跟氮肥量有较大关系,同时也说明当地农户常规施肥中并没有因氮肥过量施用而导致减产的问题,但磷肥施用量是否过多,或者能否通过不变或增加氮肥量、减少磷肥量的方式调整辣椒施肥养分比例,从而达到增产、节肥的效果,将做进一步试验研究。

但目前作物产量不是农业追求的唯一目标,更多注重的是产量、品质和生态的结合。本试验中, T4 处理总产量较 T1 处理仅减少了 6.43%, 较 T2 处理仅减少了 0.61%, 且均无显著性差异, 但 T4 处理总施肥量较 T1 和 T2 均减少了 20%, 氮肥施用量分别减少了 27.50% 和 20.44%, 同时 T4 处理辣椒果实总糖、辣椒素、色价等品质指标均优于 T1 和 T2 处理。辣椒素和色价是加工红辣椒的两个重要品质指标, 有研究表明, 氮肥施用量多会降低辣椒的辛辣, 而辣椒素是体现辣椒辛辣的重要指标^[27, 34]; 也有研究表明, 减施化肥配合微生物菌剂对作物生长、产量及产品品质有明显的促进作用^[30, 35], 本试验中 T4 处理化肥总量较常规施肥量减少了 20%, 但基肥增施了微生物菌剂, 从试验结果来看, 果实产量和品质均较 T3 处理有所增加, 与前人研究结果一致。因此, 本试验中 T4 处理加工辣椒果实品质指标有所提高可能与氮肥量减少和基肥增施微生物菌剂有关。

综上所述, 与露地常规栽培相比, 避雨栽培配套水肥一体化施肥技术总施肥量即使较常规量减少 30%, 其在植株生长发育、辣椒果实产量与品质、病害降低等方面均表现出绝对优势, 主要为植株株高、茎粗、株幅显著提高, 辣椒平均单果鲜重和干重显著增加, 辣椒总产量显著增加, 增加率为 1.16 倍以上, 辣椒果实 Vc 和辣椒素含量显著增加; 且进入 8 月雨季后, 露地常规栽培处理疫病发生率较避雨栽培处理增加 11.53 ~ 16.45 倍, 病情指数增加 29.69 ~ 50.27 倍, 植株大量死亡, 导致果实采收期较避雨栽培处理缩短近 2 个月。在避雨栽培配套水肥一体化施肥技术中, 若考虑辣椒果实产量, 四川盆地加工辣椒越夏栽培应注重氮肥量的施用, 本试验中 T1 处理——N、P₂O₅、K₂O 总

施肥量为 653.25 kg/hm², 其中 N 施用量为 261.75 kg/hm² 时, 辣椒果实产量最高, 可作为四川盆地加工辣椒越夏避雨栽培水肥一体化高产施肥的方案。T4 处理——基肥增施微生物菌剂 2250 kg/hm², 化肥总施肥量较常规施肥量减少 20% (N、P₂O₅、K₂O 总施肥量为 521.4 kg/hm², 其中 N 施用量为 189.75 kg/hm²) 时, 辣椒果实产量较 T1 处理有所降低但无显著性差异, 且总糖、辣椒素、色价等加工红辣椒关键品质指标有所提高, 实现了生态与加工辣椒果实品质双优, 可作为四川盆地加工红辣椒越夏避雨栽培水肥一体化的生态、高品质施肥方案。

参考文献:

- [1] 许艺, 李红, 方宏修, 等. 四川辣椒产业现状及发展建议 [J]. 辣椒杂志, 2020, 18 (3): 1-5.
- [2] 黄佳, 向泽华, 段科平, 等. 湖南山坡地刺葡萄避雨栽培和露天栽培模式比较 [J]. 湖南农业科学, 2019 (2): 70-72.
- [3] 唐丽, 王海娥, 李小玲, 等. 避雨栽培对番茄生长微环境及病害发生的影响 [J]. 西南农业学报, 2012, 25 (6): 2021-2025.
- [4] 余海霞, 罗聪, 黄方, 等. 避雨栽培对台农一号芒果园温湿度及果实品质的影响 [J]. 南方农业学报, 2017, 48 (8): 1452-1457.
- [5] 陈婷, 刘鑫铭, 蔡盛华, 等. 葡萄避雨栽培对土壤养分及果实品质的影响初探 [J]. 中国南方果树, 2019, 48 (4): 115-117.
- [6] 纪晴, 包昌艳, 周军, 等. 避雨栽培对冬枣果实品质的影响 [J]. 经济林研究, 2018, 36 (4): 64-72.
- [7] 彭金梅, 黄国东, 万其其. 高安市早辣椒避雨栽培试验对比分析 [J]. 基层农技推广, 2015, 3 (12): 38-40.
- [8] 郑华, 刘利华, 徐云杰, 等. 山地辣椒避雨栽培试验初报 [J]. 北方园艺, 2010 (5): 238-239.
- [9] 廉晓娟, 王艳, 李明悦, 等. 不同水肥管理模式对日光温室番茄产量、品质及经济效益的影响 [J]. 中国蔬菜, 2016 (12): 22-25.
- [10] 李传哲, 许仙菊, 马洪波, 等. 水肥一体化技术提高水肥利用效率研究进展 [J]. 江苏农业学报, 2017, 33 (2): 469-475.
- [11] 沈建国, 王忠, 李丹, 等. 减量施肥后不同水肥一体化模式对春大棚辣椒产量和效益的影响 [J]. 中国蔬菜, 2020 (1): 63-67.
- [12] 张松婷, 王超楠, 宋述尧, 等. 水肥一体化对红辣椒生长发育的影响 [J]. 东北农业科学, 2016, 41 (5): 52-55.
- [13] 梁劲. 玉林市秋延春辣椒避雨栽培技术 [J]. 长江蔬菜, 2016 (11): 35-36.
- [14] 王高林, 陶立华, 俞光荣, 等. 高山越夏辣椒设施避雨栽培技术 [J]. 蔬菜, 2015 (4): 46-48.
- [15] 周书栋, 陈怀明, 张竹青, 等. 湖南泸溪县早春辣椒避雨栽

- 培技术[J]. 中国蔬菜, 2020 (4): 97-99.
- [16] 李颖, 谢河山, 郑会龙, 等. 华南地区辣椒避雨栽培技术[J]. 上海蔬菜, 2019 (6): 25-27, 39.
- [17] 张泽锦, 雷晓葵, 唐丽, 等. 四川盆地茄果类蔬菜避雨栽培技术[J]. 四川农业科技, 2020 (11): 20-21, 26.
- [18] 江海坤, 张太明, 方凌, 等. 皖西大别山地区辣椒越夏避雨栽培技术[J]. 安徽农学通报, 2018, 24 (21): 70, 152.
- [19] 孟亮, 张文明, 邱晓丽, 等. 水肥一体化技术对辣椒干物质积累及养分吸收规律的影响[J]. 水土保持通报, 2017, 37 (5): 290-296.
- [20] 周红伟, 孔小平, 张晓梅, 等. 水肥一体化条件下滴灌肥料对辣椒产量和品质的影响[J]. 北方园艺, 2017 (14): 51-54.
- [21] 张心宁, 谢艳梅, 胡正文, 等. 日光温室辣椒水肥一体化栽培技术[J]. 中国瓜菜, 2015, 28 (2): 52-54.
- [22] 宋钊, 余超然, 陈潇, 等. 辣椒高垄深沟水肥一体化高效栽培技术[J]. 中国蔬菜, 2018 (12): 94-96.
- [23] 殷长举, 向茂红, 王学文. 制干辣椒平作水肥一体化简易施肥技术[J]. 北方园艺, 2019 (23): 176-177.
- [24] 喻华, 秦鱼生, 冯文强, 等. 氮磷钾配施对四川紫色丘陵区干制辣椒产量和品质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013 (4): 66-70.
- [25] 李丹, 王京文, 王忠, 等. 基于不同水溶肥的水肥一体化技术对设施辣椒产量及品质的影响[J]. 浙江农业科学, 2019, 60 (9): 1576-1578.
- [26] 陈森, 邓晓, 李玮, 等. 不同施肥处理对辣椒产量、品质及氮肥利用率的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47 (4): 104-107.
- [27] 胡选江, 孙月轩, 傅西秀. 设施辣椒水肥一体化灌溉施肥技术[J]. 上海蔬菜, 2014 (1): 72-73.
- [28] 莫振茂. 水肥一体化技术在辣丰三号辣椒上的应用[J]. 长江蔬菜, 2014 (7): 34-35.
- [29] 杨珊, 李登美, 李慧, 等. 不同施肥量对辣椒产量的影响[J]. 农技服务, 2011, 28 (11): 1572, 1576.
- [30] 石磊, 王军, 陈云, 等. 化肥减量配施生物菌肥对色素辣椒生长的影响[J]. 新疆农业科学, 2021, 58 (5): 854-865.
- [31] 王文军, 朱克保, 叶寅, 等. 水肥一体肥料减量对大棚番茄产量、品质和氮肥利用率的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34 (28): 38-42.
- [32] 董园园, 陶曦, 赖清云. 水肥一体化施肥模式在大棚辣椒上的应用初探[J]. 农业科技通讯, 2018 (7): 163-165, 260.
- [33] 董思永, 于德科, 朱叶. 早春大棚辣椒“2+x”氮肥总量控制田间肥效试验[J]. 长江蔬菜, 2014 (10): 51-53.
- [34] 郭树根, 岳文俊, 何文学, 等. 设施辣椒衢椒1号水肥一体化栽培及田间管理技术[J]. 浙江农业科学, 2018, 59 (3): 442-444.
- [35] 华智超, 汪甜, 贾晟楠, 等. 基于有机肥/生物有机肥和菌剂的化学氮肥减施技术在大蒜上的应用[J]. 中国土壤与肥料, 2022 (4): 178-183.

Advantages of rain-shelter cultivation of processed pepper and its integrated fertilization scheme with water and fertilizer

LI Hong^{1, 2}, GONG Xue-feng^{1, 2}, CHEN Xin¹, SONG Zhan-feng^{1, 2*}, XU Yi^{1, 2*} (1. Horticulture Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences/Vegetable Germplasm Innovation and Variety Improvement Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu Sichuan 610066; 2. Key Laboratory of Horticultural Crops Biology and Germplasm Enhancement in Southwest, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China, Chengdu Sichuan 610066)

Abstract: By comparing conventional open field cultivation with rain-shelter cultivation, the effects of rain-shelter cultivation on the growth, yield, quality, diseases and insect pests of pepper in summer cultivation of processed pepper were explored in Sichuan Basin. At the same time, in order to explore the relatively efficient and ecological fertilization scheme of processed pepper in Sichuan Basin under the condition of rain-shelter cultivation, the effects of different nutrient ratios and total fertilizer application of N, P₂O₅, K₂O, as well as whether the microbial agent was added to the base fertilizer on the growth and development, yield and quality of pepper were further studied. The results showed that: (1) compared with the conventional open field cultivation, the plant height, stem diameter, plant width, average fruit weight, yield, harvest time, fruit quality and disease incidence of pepper showed absolute superiority even if the total fertilizer amount of rain-shelter cultivation was reduced by 30%. (2) In the water and fertilizer integration technology for rain-shelter cultivation of processed pepper in Sichuan Basin, the highest yield of pepper was achieved when the total fertilizer amount of N, P₂O₅ and K₂O was 653.25 kg/hm², among which the N amount was 261.75 kg/hm². When 2250 kg/hm² microbial agent was added to base fertilizer and the total fertilizer amount decreased by 20% compared with the conventional fertilizer amount (that is, the total fertilizer amount of N, P₂O₅ and K₂O was 521.4 kg/hm², of which the N amount was 189.75 kg/hm²), the fruit yield decreased slightly compared with the conventional fertilizer application, but the difference was not significant. Moreover, the key quality indexes of processed pepper such as capsaicin and color value were improved, achieving both ecological friendliness and quality of processed pepper fruit.

Key words: pepper; rain-shelter cultivation; water and fertilizer integration technology; microbial agent