

马铃薯 13 个品种(系)杂交亲和力和 F₁ 代性状研究

熊湖, 张德银*, 杜勇利, 廖霏霏, 彭志芸, 刘小波 (宜宾市农业科学院, 四川宜宾 644000)

摘要 以 13 个马铃薯品种(系)作为亲本材料, 通过人工授粉的方式进行杂交试验, 对不同杂交组合的坐果率、种子粒数等以及 F₁ 代实生苗的部分农艺和产量性状进行了分析, 以探究亲本选择与早期性状筛选对马铃薯杂交育种效率的影响。结果表明, 不同亲本杂交组合的平均坐果率、平均每果种子粒数和平均每花种子粒数存在显著差异, 不同杂交组合间平均坐果率与平均每果种子粒数二者共同影响平均每花种子粒数, 最终影响收获的种子数; 单株块茎数在马铃薯早代中遗传稳定性更强, 因此在早代选育中应更加注重该性状的选择。

关键词 马铃薯; 杂交; 坐果率; 农艺性状

中图分类号 S532 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2024)23-0029-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2024.23.007

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Study on the Hybridization Affinity and F₁ Trait Analysis of 13 Potato Varieties

XIONG Hu, ZHANG De-yin, DU Yong-li et al (Yibin Academy of Agricultural Sciences, Yibin, Sichuan 644000)

Abstract In this study, 13 potato varieties (lines) were used as parent materials for hybridization experiments through artificial pollination. The fruit setting rate and seed number of different hybrid combinations, and some agronomic and yield traits of F₁ seedlings from different hybrid combinations were analyzed to investigate the effects of parental selection and early-generation trait screening on the efficiency of potato breeding. The results showed that there were significant differences in the average fruit setting rate, average seed number per fruit, and average seed number per flower among different parental hybridization combinations. The average fruit setting rate and average seed number per fruit jointly affected the average seed number per flower, which ultimately affected the number of harvested seeds. The number of tubers per plant had stronger genetic stability in the early generation of potatoes, so more attention should be paid to the selection of this trait in early-generation breeding.

Key words Potato; Hybridization; Fruit setting rate; Agronomic traits

马铃薯具有适应性广、产量高、营养价值高等特点, 是一种兼具食用、饲料、加工等多种用途的作物^[1], 马铃薯在我国各个生态区域都有广泛种植, 种植面积位居世界前列, 但我国马铃薯单产仍不高^[2], 主要原因之一是缺少适应不同生态环境以及气候特征的优质品种^[3]。马铃薯的育种途径有品种间杂交、种间远缘杂交、物理化学因素诱变以及随着生物技术发展而出现的体细胞无性系变异、细胞融合和基因工程等^[4]。目前我国马铃薯新品种的选育主要方法仍是杂交育种, 是利用杂交种子培育实生苗, 并对实生苗培育的多代无性世代进行定向筛选的育种方法^[5]; 马铃薯具有无性繁殖的特点, 定向筛选出的实生苗所具有的优良性状, 可以稳定遗传下来^[6]。马铃薯属于四倍体作物, 杂交后代较二倍体复杂许多, 且马铃薯不同品种开花结实性差异很大, 在不同区域开花表现也不相同, 马铃薯杂交育种往往需要丰富的亲本材料, 若盲目地选择亲本品种进行配制, 不仅会导致选育成功率低, 也会浪费大量的资源材料, 因此选配好亲本是提高育种效率的关键^[7]。

作物杂交亲和力直接影响杂交结实率, 是评价不同亲本杂交结实能力的指标之一^[8]。李晓春等^[9]对 11 个油茶无性系杂交研究发现, 不同组合间的成果率、单果结籽数和亲和指数差异显著, 表明油茶无性系间存在花粉不亲和现象, 这可能是引起油茶低产的原因; 李红莉等^[10]对蓝靛果忍冬

杂交亲和力和研究发现不同组合杂交当代浆果表型性状存在显著差异, 高亲和力组合间浆果性状表现更佳; 齐海英等^[11]对 6 个马铃薯品种(系)杂交发现不同品种在作父母本表现亲和力有所差异, 且也受到气候条件的一定影响。笔者以不同马铃薯品种(系)为亲本材料, 开展杂交育种试验, 研究其杂交亲和力, 分析杂交坐果率、实生籽数量以及部分后代实生苗性状, 为马铃薯杂交育种亲本选择以及实生苗的筛选提供一定参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料 以四川省宜宾市农业科学院收集的会薯 18 号、达薯 1 号、云薯 505、KT96-1、川凉芋 1 号、云薯 902、云薯 505、87-3、83-1、29.5-1、靖薯 6 号、昭薯 6 号、P03 共 13 个马铃薯品种(系)为亲本材料, 选择健康的薯块用作种薯。

1.2 试验方法

1.2.1 亲本材料播种与杂交。亲本材料于 2021 年 2 月 18 日, 在四川省宜宾市筠连县高坪村塑料大棚内播种, 采用单垄双行种植, 垄距 90 cm, 行距 30 cm, 株距 23 cm, 每个亲本材料种植 18 株, 播种前施足基肥, 后续不再追肥。

于 2021 年 5 月 6—9 日进行人工杂交授粉, 于杂交前 1 d 收集即将开放的新鲜花朵, 取下雄蕊后摊放于无风、光照充足的房间中, 避免阳光直射, 待干燥后收集花粉并做好标记。授粉于 10:00 之前进行, 选择新鲜成熟的花朵去雄后授粉, 完成后做好记录。于 6 月 23 日按照杂交组合收获浆果, 挂于室内等待后熟, 变白后及时将种子洗出保存。

1.2.2 实生籽栽培。将保存的实生籽按照组合平摊于玻璃皿上, 加入适量清水使其刚好没过种子表面, 待 80% 种子露

基金项目 “十四五”四川省薯类育种攻关项目(2021YFYZ0019)。

作者简介 熊湖(1992—), 男, 重庆人, 助理研究员, 硕士, 从事马铃薯栽培技术与遗传育种研究。* 通信作者, 高级农艺师, 硕士, 从事农技推广工作。

收稿日期 2024-01-04

白后即可播种,期间每日更换清水防止细菌污染。实生籽采用育苗盘育苗,基质为四川地宝生物有机肥公司生产,主要成分为有机肥、蛭石与珍珠岩,待幼苗长至6~8片真叶后移栽至18 cm×16 cm 营养钵中,基质同上,每个组合播种500粒。期间记录实生苗(F₁)株高、生育期、结薯数、薯重。

1.3 数据处理 试验数据使用 Excel 2010、DPS 7.05 数据处理软件进行分析和分析。

2 结果与分析

2.1 各品种(系)杂交结果 各品种(系)杂交情况见表1,因开花数量影响,各品种授粉花朵数不同,有6个品种(系)作为母本,共获得19个杂交组合,坐果率在0~53.33%,平均坐果率为26.30%,平均单果种子粒数为77.06。坐果率高于

平均值的有9个组合,有2个组合坐果率超过50%,分别是KT96-1×83-1(53.33%)、云薯902×29.5-1(51.43%),组合达薯1号×云薯505与29.5-1×达薯1号坐果率为0,表现为杂交不亲和;平均单果种子粒数低于平均值有11个组合,在100粒以上的有6个组合,其中会薯18号×87-3平均单果种子粒数为207.78,超过200粒,其余5个组合均在120~150粒;平均每花种子粒数最高的组合是29.5-1×P03,平均每授粉花朵可收获69.22粒实生籽,而坐果率最高的组合KT96-1×83-1的每花种子粒数为26.67粒,每果种子粒数最高的组合会薯18号×87-3的每花种子粒数为53.43,因此综合杂交结果与杂交效率,在杂交试验中以29.5-1×P03杂交效果最好。

表1 各品种(系)杂交结果比较
Table 1 Comparison of hybridization results among different varieties

组合序号 Serial No.	母本(♀) Female parent	父本(♂) Male parent	授粉花朵数 Flower number	坐果数 Number of fruit sets	坐果率 Fruit setting rate/%	种子粒数 Number of seeds	每果种子粒数 Number of seeds per fruit	每花种子粒数 Number of seeds per flower
1	会薯18号	达薯1号	42	6	14.29	166	18.44	3.95
2	会薯18号	87-3	35	9	25.71	1 870	207.78	53.43
3	会薯18号	83-1	45	16	35.56	848	53.00	18.84
4	达薯1号	云薯505	30	0	0.00	0	0.00	0.00
5	达薯1号	29.5-1	45	6	13.33	866	144.33	19.24
6	达薯1号	42-3	48	6	12.50	542	90.33	11.29
7	KT96-1	川凉芋1号	77	26	33.77	3 120	120.00	40.52
8	KT96-1	达薯1号	60	7	11.67	174	24.86	2.90
9	KT96-1	87-3	120	54	45.00	4 730	87.59	39.42
10	KT96-1	83-1	45	24	53.33	1 200	50.00	26.67
11	29.5-1	靖薯6号	85	21	24.71	2 840	135.24	33.41
12	29.5-1	达薯1号	60	0	0.00	0	0.00	0.00
13	29.5-1	P03	51	24	47.06	3 530	147.08	69.22
14	昭薯6号	29.5-1	86	9	10.47	183	20.33	2.13
15	昭薯6号	会薯18号	48	6	12.50	144	24.00	3.00
16	昭薯6号	84-1	157	44	28.03	820	18.64	5.22
17	云薯902	29.5-1	105	54	51.43	1 360	25.19	12.95
18	云薯902	84-1	108	52	48.15	2 870	55.19	26.57
19	云薯902	云薯902	115	37	32.17	4 750	128.38	41.30
平均 Average			71.68	21.11	26.30	1 579.63	71.07	21.58

2.2 不同母本杂交结果 6个母本杂交结果见表2,除KT96-1配制4个组合外,其余5个母本均配制了3个组合。平均坐果率最高的是云薯902,最低为达薯1号,分别为43.92%、8.61%,除云薯902与KT96-1外,其他4个母本平均坐果率均达显著差异;除昭薯6号外,达薯1号的平均坐果率均显著低于其他4个母本;会薯18号、29.5-1、昭薯6号之间差异均不显著。平均每果种子粒数最高的是29.5-1,最低的为昭薯6号,分别为94.11、20.99粒,会薯18号、29.5-1之间平均每果种子粒数差异不显著,但均显著高于KT96-1、昭薯6号和云薯902;昭薯6号的平均每果种子粒数显著低于其他5个母本。平均每花种子粒数最高的为29.5-1,最低的为昭薯6号,分别为34.21、3.45粒,且两者之间达显著差异。综合来看,29.5-1的平均每果种子粒数与平均每花种子粒数均最高,母本作为杂交亲和性最强,但平均坐果率为23.92%,由此可知,不同母本间平均坐果率与平

均每果种子粒数并无直接相关性,二者共同影响了平均每花种子粒数,最终影响了收获的实生籽数。

表2 不同母本杂交结果比较
Table 2 Comparison of hybridization results between different female parents

序号 No.	母本 Female parent	平均坐果率 Average fruit setting rate %	平均每果种子粒数 Average number of seeds per fruit	平均每花种子粒数 Average number of seeds per flower
1	会薯18号	25.19 bc	90.57 ab	25.41 ab
2	达薯1号	8.61 d	78.22 bc	10.18 bc
3	KT96-1	35.94 ab	70.61 c	27.38 ab
4	29.5-1	23.92 bc	94.11 a	34.21 a
5	昭薯6号	17.00 cd	20.99 d	3.45 c
6	云薯902	43.92 a	69.59 c	26.94 ab

注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。
Note: Different lowercases in the same column indicate significant difference at 0.05 level.

2.3 不同杂交组合实生苗(F₁)性状 6个杂交组合F₁代实生苗,平均株高在16.70~24.95 cm,KT96-1×川凉芋1号株高显著高于云薯902×29.5-1、达薯1号×29.5-1、29.5-1×靖薯6号,分别提高33.14%、28.87%、49.40%,除云薯902×云薯902、KT96-1×川凉芋1号显著高于29.5-1×靖薯6号外,其余组合之间差异不显著;6个杂交组合F₁代实生苗平均单株结薯数在4.56~7.83粒,除会薯18号×87-3与KT96-1×川凉芋1号,云薯902×云薯902与达薯1号×29.5-1,达薯1

号×29.5-1与29.5-1×靖薯6号之间差异不显著,其余各个组合之间差异显著,单株结薯数最大相差3.27粒;平均单株薯重在30.87~41.71 g,除KT96-1×川凉芋1号与云薯902×29.5-1差异达显著水平外,其余各组合差异均不显著;6个杂交组合F₁代实生苗平均生育期均在100 d以上,各个组合平均生育期差异不大,最长组合(会薯18号×87-3)与最短组合(达薯1号×29.5-1)之间相差18 d(表3)。

表3 不同杂交组合实生苗(F₁)性状结果比较
Table 3 Comparison of traits of different hybrid combination seedlings (F₁)

组合序号 Serial No.	亲本组合 Parental combination	平均株高 Average plant height/cm	平均单株结薯数 Average number of tubers per plant	平均单株薯重 Average potato weight per plant/g	平均生育期 Average reproductive period/d
1	会薯18号×87-3	21.45 abc	7.83 a	40.20 ab	125.40 ab
2	达薯1号×29.5-1	19.36 bc	6.03 bc	38.26 ab	108.50 d
3	KT96-1×川凉芋1号	24.95 a	7.36 a	41.71 a	126.50 a
4	29.5-1×靖薯6号	16.70 c	5.46 c	32.70 ab	123.30 ab
5	云薯902×29.5-1	18.74 bc	4.56 d	30.87 b	118.00 bc
6	云薯902×云薯902	22.36 ab	6.16 b	34.20 ab	112.60 cd

注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。
Note: Different lowercases in the same column indicate significant difference at 0.05 level.

2.4 不同杂交组合F₁代产量性状频数分布 单株块茎重、单株块茎数是构成产量的重要因素,不同杂交组合F₁代产量性状频数分布可以在一定程度上反映该组合分离程度以及产量性状优劣。除组合3(KT96-1×川凉芋1号)在单株块茎重频数分布出现双峰分布外,其他各组合2种性状均呈连续性偏小分布。

在单株块茎重频数分布上,0~15 g、>15~30 g分布比较集中($\sigma^2=0.001\ 85$ 、 $0.002\ 45$),不同组合间频数差异较小,其中组合2(达薯1号×29.5-1)在>15~30 g有最高的频数(0.50);>30~45 g的单株块茎重频数分布较为分散($\sigma^2=0.010\ 38$),说明在该范围内不同杂交组合单株块茎重差异较大,遗传因素在这一区间的影响较为显著,其中杂交组合4(29.5-1×靖薯6号)在该范围内频数表现最高(0.43),在大于75 g的范围内,大多数组合的频数都很低(0.03)或为0(图1)。

在单株块茎数频数分布上,不同频数区间每个组合频数有所差异,表明每个组合的单株块茎数存在差异,在0~3个与>6~9个分散程度较大($\sigma^2=0.003\ 7$ 、 $0.006\ 9$),表明在这些区间内,不同杂交组合的块茎数差异较大;所有组合单株块茎数主要集中在>3~6个($\sigma^2=0.001\ 7$),块茎数大于9个较少,因此在这个区间及以上的频数较为集中。其中,组合2(达薯1号×29.5-1)、组合3(KT96-1×川凉芋1号)和组合4(29.5-1×靖薯6号)的单株块茎数频数分布较为集中,表明这些组合在单株块茎数上表现出较高的一致性和稳定性,而组合1(会薯18号×87-3)、组合5(云薯902×29.5-1)和组合6(云薯902×云薯902)的单株块茎数频数分布较为分散,表明这些组合的遗传背景可能更加多样化,从而导致单株块茎数的显著变异(图2)。

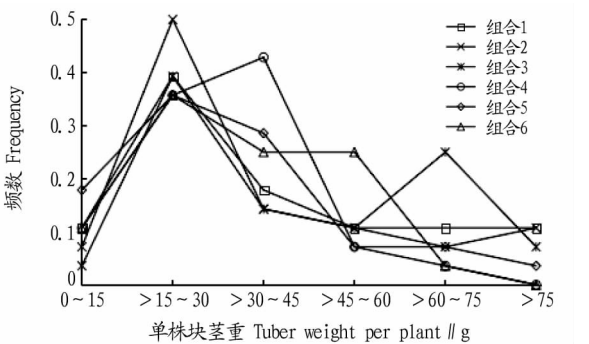


图1 不同杂交组合F₁代单株块茎重频数分布

Fig. 1 Frequency distribution of tuber weight per plant in F₁ generation of different hybrid combinations

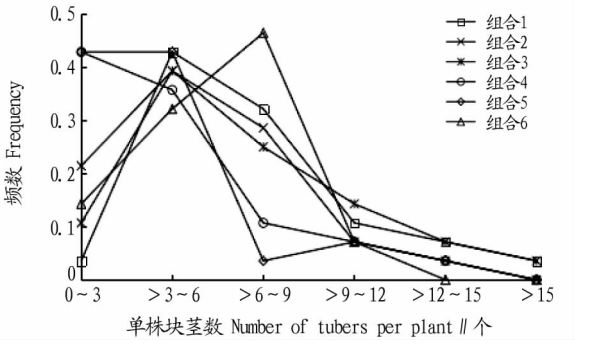


图2 不同杂交组合F₁代单株块茎数频数分布

Fig. 2 Frequency distribution of the number of tubers per plant in F₁ generation of different hybrid combinations

3 讨论

在气候适宜的条件下,马铃薯的开花性与结实性受品种自身特性影响较大,不同马铃薯品种之间存在杂交不亲和及自交不亲和性,为保证杂交工作的成功率,应选择高亲和性

的品种作为父母本。然而,选择亲本品种的过程需要大量的试验和经验积累,否则会导致选育成功率低下和资源材料的浪费,因此选配好亲本是提高育种效率的关键^[4]。

该研究选择 13 个马铃薯品种(系)作为亲本材料,并进行杂交试验。结果表明,不同品种(系)的杂交亲和性和实生苗性状存在显著差异,有些组合表现出良好的杂交坐果率和平均单果种子粒数,如 KT96-1×83-1 和云薯 902×29.5-1 等;而有些组合则表现出杂交不亲和,如达薯 1 号×云薯 505 和 29.5-1×达薯 1 号等,这表明在选择亲本材料时,需要考虑其杂交亲和性。然而单纯考虑坐果率并不能准确地反映出杂交效率,如达薯 1 号作为母本与 29.5-1、42-3 杂交组合的坐果率与坐果数接近,但平均每果种子粒数差异较大,导致最终收获种子粒数差距较大,这与齐海英等^[11]研究结果相似,表明不同杂交组合间平均坐果率与平均每果种子粒数并无直接相关性,二者共同影响平均每花种子粒数,最终影响收获的实生籽数。

由于马铃薯的四体遗传和高度杂合的特性,很难通过亲本的表现来预测后代的个性,因此对于马铃薯早代的筛选需要更有针对性^[4]。该研究对不同杂交组合实生苗(F_1)性状分析发现,由于 F_1 代实生苗代数较低,受遗传分离导致农艺性状差异表现并不充分,在 6 个杂交组合中株高、平均单株薯重差异不显著,而平均单株结薯数则差异显著;在单株块茎重、单株块茎数这 2 个产量性状上,各杂交类型后代的总体分布趋势基本呈连续性偏小分布,主要集中在低水平区间,且单株块茎数频数分布上不同组合在不同频数区间集中或分散趋势较为明显,这与其他研究结果相似^[12],说明该性状遗传表现较为稳定,因此在马铃薯早代选育特别是 F_1 代

过程应更加注重单株块茎数。

由于该试验数据仅为 1 年,且品种数量相对较少,因此需要进一步进行多点、多年的试验,以验证试验结果的可靠性和稳定性。此外,气候条件也是影响杂交亲和性和实生苗性状的重要因素,在不同年份和不同地区,试验结果可能会有所差异^[13],因此需要进行更加精细化的研究以适应不同环境下的马铃薯育种需求。

参考文献

- [1] 李庆双. 马铃薯营养价值及产业种植分析[J]. 食品安全导刊, 2021(11):56-58.
- [2] 兑瀚. 马铃薯收获机升运过程机械损伤分析与试验[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2019.
- [3] 赵一博, 傅海龙, 牛丽娟. 2020 年马铃薯品种登记现状, 存在问题及建议[C]//金黎平, 吕文河. 马铃薯产业与绿色发展(2021). 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社, 2021:251-253.
- [4] 李结平, 单友蛟. 马铃薯育种技术的优化与新形势下的发展[J]. 中国马铃薯, 2023, 37(3):265-272.
- [5] 许操. 而今迈步从头越:马铃薯育种跨入“有种”时代[J]. 植物学报, 2021, 56(5):516-519.
- [6] 隋启君. 中国马铃薯育种对策浅见[J]. 中国马铃薯, 2001, 15(5):259-264.
- [7] 李颖, 李广存, 李灿辉, 等. 二倍体杂种优势马铃薯育种的展望[J]. 中国马铃薯, 2013, 27(2):96-99.
- [8] 张雯怡, 吴承金, 宋威武, 等. 恩施马铃薯杂交育种亲本选择的实践与探讨[C]//金黎平, 吕文河. 马铃薯产业与绿色发展(2021). 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社, 2021:254-256.
- [9] 李晓春, 陈刚, 罗颖, 等. 11 个油茶无性系的杂交亲和力和[J]. 亚热带农业研究, 2020, 16(1):19-23.
- [10] 李红莉, 龙作义, 孙强, 等. 蓝靛果忍冬杂交亲和力和杂交浆果性状分析[J]. 种子, 2020, 39(3):75-78.
- [11] 齐海英, 杜珍, 白小东, 等. 六个马铃薯新品种(系)的杂交效果分析[J]. 中国马铃薯, 2005, 19(6):352-354.
- [12] 韩志刚. 马铃薯种质主要农艺性状及淀粉含量的全基因组关联分析[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2021.
- [13] 徐富贤, 周兴兵, 张林, 等. 杂交中稻结实率与开花期气候条件关系及其耐高温组合的库源特征[J]. 中国稻米, 2019, 25(1):34-39, 43.
- [14] 邹应斌. 水稻品种生育期的研究:I. 水稻品种生育期变化类型及其特点[J]. 湖南农学院学报, 1983(3):1-11.
- [15] 张佑宏, 王治虎, 张舒, 等. 栽培方式对水稻生育进程、主要病害严重度及产量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2019, 38(3):1-6.
- [16] 何瑞银, 罗汉亚, 李玉同, 等. 水稻不同种植方式的比较试验与评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(1):167-171.
- [17] 杨晓龙, 汪本福, 李阳, 等. 不同直播方式对水稻品种中稻 1 号产量的影响[J]. 湖北农业科学, 2022, 61(24):15-18, 39.
- [18] 李杰, 张洪程, 董洋阳, 等. 不同生态区栽培方式对水稻产量、生育期及温光利用的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(13):2661-2672.
- [19] 程建平, 罗锡文, 樊启洲, 等. 不同种植方式对水稻生育特性和产量的影响[J]. 华中农业大学学报, 2010, 29(1):1-5.
- [20] 潘想成, 杨国栋, 符迎迎, 等. 新育成超短生育期品种在双季稻双直播下的产量表现及农艺特性[J]. 作物学报, 2023, 49(10):2738-2752.
- [21] 黎雨薇, 黄志谋, 杨汉, 等. 栽培方式对品种水稻产量和经济效益的影响[J]. 湖北农业科学, 2023, 62(11):5-10.
- [22] 韦还和, 张翔, 朱旺, 等. 盐胁迫对水稻籽粒灌浆特性及产量形成的影响[J]. 作物学报, 2024, 50(3):734-746.

(上接第 28 页)

参考文献

- [1] 曾茜倩, 张振远, 马秀娥, 等. 硅藻土对中稻产量和氮肥利用率的影响[J/OL]. 作物杂志, 2023-11-13[2023-11-17]. <https://link.cnki.net/urlid/11.1808.S.20231110.0853.002>
- [2] 章清杞, 蔡来龙, 程祖铨, 等. 杂交水稻不同栽培方式的产量形成及经济效益分析[J]. 杂交水稻, 2023, 38(6):142-146.
- [3] 古丽娜尔·巴合提别克, 包玉青, 刘文静, 等. 播种量和行距对穴旱直播水稻产量形成的影响[J]. 安徽农业科学, 2023, 51(20):36-39.
- [4] 雷振山, 李猛, 卫云飞, 等. 不同种植方式对豫南地区优质食味梗稻产量及品质的影响[J]. 河南农业科学, 2023, 52(2):12-20.
- [5] 张喜娟, 来永才, 孟英, 等. 种植方式对寒地梗稻生育期、产量和温度利用的影响[J]. 作物杂志, 2017(5):124-128.
- [6] 杨海超, 夏可, 陈杰, 等. 行株距配置对水稻冠层光合特性及产量的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(21):93-98.
- [7] 李迪素, 唐启源, 翟玉光, 等. 氮肥施用模式对中粒超级稻产量及辐射利用率的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2010, 36(5):489-494.