

于相满, 古幸福, 李冬娴, 文嘉瑜, 陈锐明, 李锐. 栽培密度对湘两优 900 产量及主要农艺性状的影响 [J]. 广东农业科学, 2019, 46(6): 1-8.

栽培密度对湘两优 900 产量及 主要农艺性状的影响

于相满¹, 古幸福², 李冬娴², 文嘉瑜², 陈锐明², 李锐¹

(1. 广东省农业科学院, 广东 广州 510640;
2. 惠州市惠阳区农业技术推广中心, 广东 惠州 516211)

摘要:【目的】湘两优 900 是国家杂交水稻工程技术研究中心(湖南)培育的超高产新品种, 具有茎秆粗壮、成穗率高、大粒大穗结实率高的超高产特征。该品种 2017 年早造在广东省惠州市惠阳区超高产栽培条件下进行密度差异对产量及农艺性状的影响试验。【方法】试验采用裂区设计, 设置 13 cm × 13 cm 到 24 cm × 24 cm 插植密度(主处理)和单、多株植处理(副区), 田间采样和室内考种获取数据, 以 Microsoft Excel 进行数据整理, 用 DPS 数据处理系统进行裂区方差分析。【结果】在珠江三角洲区域丘陵水稻土超高产栽培条件下, 湘两优 900 在 19 cm × 19 cm 插植密度下可获得最高产量及最高有效穗数、每穗总粒数、每穗实粒数、结实率和总生物量。【结论】湘两优 900 有长生育期产量潜力, 可以在一季中稻区发挥高产潜力。湘两优 900 茎秆粗壮占用空间较多, 对插植苗数不敏感, 建议疏植。

关键词: 湘两优 900; 超高产; 栽培密度; 产量

中图分类号: S511.047

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X(2019)06-0001-08

Effects of Cultivation Density on Yield and Agronomic Traits of Xiangliangyou 900

YU Xiangman¹, GU Xingfu², LI Dongxian², WEN Jiayu², CHEN Ruiming², LI Rui¹

(1. Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China;

2. Huiyang District Agricultural Technology Extension Center, Huizhou 516211, China)

Abstract: 【Objective】Xiangliangyou 900 is a new super-high-yield variety bred by China National Hybrid Rice R&D Center (Hunan). Xiangliangyou 900 has the characteristics of strong stem, high spike rate and high seed setting rate of large grain and large panicle. In 2017, the effects of yield and agronomic traits of Xiangliangyou 900 were investigated under different density population with high-yield cultivation condition in Huiyang district, Huizhou city, Guangdong Province. 【Method】In this study, split blocks were designed in the field. The planting density was from 13 cm × 13 cm to 24 cm × 24 cm with single or multiple plants. The yield and agronomic traits were evaluated based on the data obtained in the field and indoor. The data was sorted out by Microsoft Excel and the variance analysis was performed by DPS data processing system. 【Results】The results showed that, under the condition of super-high-yield cultivation of hilly paddy soil in the Pearl River Delta Region, Xiangliangyou 900 had the highest yield under the planting density of 19 cm × 19 cm among all treatments. At the same time, Xiangliangyou 900 also had the highest effective panicle number, total grain number

收稿日期: 2019-01-15

基金项目: 广东省农业科学院农业科技推广服务网络建设项目(2017分院 2-07); 广州市重大科技支撑项目(201604020066)

作者简介: 于相满(1982—), 男, 硕士, 研究方向为农业科研管理, E-mail: 120683657@qq.com

通信作者: 李锐(1963—), 男, 硕士, 研究员, 研究方向为植物遗传育种, E-mail: 13826256436@139.com

per panicle, seed setting rate and total biomass. 【 Conclusion 】 Xiangliangyou 900 can obtain higher yield in the one-season middle rice area based on its yield potential with long growth period. Xiangliangyou 900 with thick stem takes up more space and is not sensitive to the number of planting seedlings. Therefore, Xiangliangyou 900 will obtain higher yield under sparse planting condition.

Key words: Xiangliangyou900; super high yield; cultivation density; yield

【研究意义】水稻是世界最主要的粮食作物之一，也是我国最主要的主粮作物。保持水稻单产的持续增长不仅对于确保国家粮食安全具有重要意义，而且也是提升水稻总产量、解决世界人口稻米消费需求的根本途径。我国农业部启动“中国超级稻计划”近 20 多年来，国内超高产育种和栽培的研究受到各级政府主管部门和大专院校科研院所的高度重视，并且持续在新品种认定、配套基础研究、栽培技术研究等方面取得突破性进展，一大批超高产新品种及其配套栽培技术被有效的投入应用，为我国粮食生产，特别是稻米生产水平的不断提高贡献良多^[1-2]。

【前人研究进展】湘两优 900 是我国杂交稻工程技术中心选育的品种，2016 年在惠州市惠阳区农业技术推广中心开展的“华南双季亩产 3000 斤超高产栽培示范”项目试验，创造实割验收每 667 m² 产量 725.6 kg 的惠州当地水稻历史最高纪录。同时，在珠海市和兴宁市同期开展的该项目研究也取得较好效果。水稻插植密度是重要栽培措施，对主要农艺性状产生重大影响^[3-6]。目前，在超高产新品种插植密度栽培研究领域已开展大量工作^[3-11]。但是，该类研究大多在高产和优质品种领域，对超高产品种，特别是新育成的超高产、超级稻品种研究不多，这类品种在栽培研究和其在生产上的广泛应用需求仍有相当的差距。大多数超高产品种在区试产量和实际应用产量水平差异巨大，在不同生产区域和不同气候生态条件下表现不稳定，一些基础性问题如插植密度、插植株数、品种间密度差异及其配套技术问题仍困扰科研人员^[12-17]。

【本研究切入点】本研究通过超高产品种湘两优 900 栽培密度试验，明确该品种在不同栽培密度条件下各农艺性状及产量表现的差异，提出在超高产栽培水平上最适合该品种的栽培群体密度。【拟解决的关键问题】研究团队从超级稻计划实施伊始就参与计划的育种和栽培研究，对以超高产为目标的超级稻品种的最佳栽培密度，以

及不同密度水平对产量的影响一直存在疑虑，希望能通过对超高产品种栽培适合密度的研究，探明以湘两优 900 为代表的超高产品种在不同群体密度条件下产量及各主要农艺性状的表现，为大面积生产提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2017 年早造在广东省惠州市惠阳区农科中心进行，试验地位于广东省东南部，珠江三角洲东北端（23° 3' 19" N，114° 35' 17" E），属于珠江三角洲冲积平原丘陵区，具有广东省地理土质一般代表性。试验地属亚热带季风气候区，常年雨量充沛，阳光充足，年平均气温 22℃，全年累计日照时数 2 060 h，年均降雨量 1 990 mm，是广东大多数水稻种植区亚热带季风气候的典型特征。试验田块耕作层 30 cm 以上，沙壤土，偏水酸性水稻土，pH 6.0，土层深度中等，速效氮 35.1 mg/kg，速效磷 12.1 mg/kg，速效钾 35 mg/kg，土壤肥力中等，可以代表广东省一般丘陵区稻田水平。

供试水稻品种为国家杂交稻工程技术研究中心（湖南）选育的超高产品种湘两优 900。

1.2 试验设计

试验采用 13、16、19、21、24 cm 5 个株距密度群体（相当于每 667m² 栽植 3.07 万、2.49 万、2.10 万、1.90 万、1.66 万穴），每个密度采用单株和多株插植两种方式，共 10 个处理，分别记为 13×13×1（代表 13 cm×13 cm×1 单株）、13×13×2（代表 13 cm×13 cm×2 多株，下同）、16×16×1、16×16×2、19×19×1、19×19×2、21×21×1、21×21×2、24×24×1、24×24×2。小区内行距 16.7 cm，3 次重复，随机排列，小区面积 20 m²，区间过道 40 cm，重复间过道 50 cm，四周设保护行。

为确保田间试验采集数据的一致性，采用以下田间管理方式：试验备秧采用尼龙薄膜覆盖

防寒塑料软盘湿润育秧，覆盖时间20 d；秧田每667 m²施高效复合肥20 kg、有机肥200 kg作基肥，于播种前7 d撒施并旋耕均匀，同时撒施茶麸粉4 kg，毒杀福寿螺；播种当天每667 m²秧田用壮秧剂460 g（每盘10 g），撒施于畦沟营养土并耕耙均匀后上浆装盘。秧苗移植前7 d全揭膜，移植前1 d喷施“送嫁药”，杀虫防病。本田基础肥为每667 m²施复合肥（N₁₅P₄K₆）70 kg、腐秆灵2 kg；追肥为每667 m²复合肥（N₁₅P₄K₆）75 kg，分4期施用；穗肥单施氯化钾，每667 m²施用15 kg。本田折算每667 m²总施肥量为纯氮21.75 kg、五氧化二磷7.45 kg、氧化钾19.05 kg，氮、磷、钾比例为1:0.28:0.72。本田整地、基肥追肥、病虫害防控及水分管理一般生产大田相同。

1.3 测定项目及方法

田间调查测定和室内考种测量取得数据。田间测定项目每小区取样10株，按照农艺性状测定方法人工田间调查测量基本苗数、苗峰数、株高、抽穗期、生育期。收获定点单株后，分别测量谷粒性状（水分13%）和总生物量（按照地上部收获烘干水分至恒重）

试验数据采用Microsoft Excel进行整理，用DPS数据处理系统（V17.10高级版）进行裂区

方差分析。

2 结果与分析

2.1 湘两优900在不同插植苗数和密度条件下的营养生长性状分析

如表1所示，随着插植密度值的减弱，湘两优900全生育期有逐渐增加的趋势，高低值有3 d的差异（133~136 d），变化明显，各处理间差异均达到极显著水平。可见，疏植显著延长湘两优900全生育期，而高密度插植会导致生育期缩短，有“催熟”效应，导致早熟早衰退，不利于湘两优900正常生长和产量提高，田间也观察到早熟、“早收尸”的现象。同时，疏植条件下植株周边空间较大，有利植株“补偿”生长，提高分蘖的成穗效率，成穗率较高。单株植和多株植两个副处理生育期差异达到极显著水平，说明插植苗数是引起全生育期变化的敏感因素，即插植苗数导致了全生育期的变化。

从表1可以看出，插植密度变化不会导致株高产生变化（108.17~108.70 cm），株高属于遗传性稳定的性状，受环境因素影响不大，主要由品种遗传特性确定。差异显著性测验也证实插植密度变化与株高没有关系，差异不显著。

表1 湘两优900在不同插植苗数和密度条件下的营养生长性状差异
Table 1 Effect of different density on nutritional growth traits of Xiangliangyou 900

处理 Treatment	全生育期 Whole growth period (d)	株高 Plant height (cm)	苗峰数 Tillering peak number (10 ⁴)	总生物量 Biomass weight (kg)
13 × 13	133.25eE	108.43a	55.89aA	2818.17dD
16 × 16	134.5dD	108.28a	40.75bAB	3231.17cC
19 × 19	135.42bB	108.37a	36.48bcAB	4104.00aA
21 × 21	135.23cC	108.35a	32.29bcB	3781.33bAB
24 × 24	136.00aA	108.30a	26.34cB	3580.67bBC
单株植 × 1	134.84bB	108.29a	36.94a	3573.60a
多株植 × 2	134.92aA	108.40a	39.76a	3432.53a
13 × 13 × 1	133.00bB	108.17bB	39.66bA	3045.67aA
13 × 13 × 2	133.50aA	108.70aA	72.12aA	2590.67bA
16 × 16 × 1	134.50a	108.37a	41.29a	2516.33aA
16 × 16 × 2	134.50a	108.20a	40.22a	2946.00bA
19 × 19 × 1	135.50aA	108.43a	36.64a	4104.00aA
19 × 19 × 2	135.40bB	108.30a	36.31a	4104.00aA
21 × 21 × 1	135.20a	108.10bB	34.55a	3785.00a
21 × 21 × 2	135.20a	108.60aA	30.05a	3777.67a
24 × 24 × 1	136.00a	108.40a	32.55a	3417.00a
24 × 24 × 2	136.00a	108.20a	20.12a	3744.33a

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著，大写英文字母不同者表示差异极显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences, and different capital letters represent extremely significant differences.

单穴苗峰数受插植苗数和密度的影响较大。由表 1 可知, 每一密度副处理单株植与多株植间苗峰值没有显著差异, 即苗峰数与插植苗数没有相关关系, 但密度差异产生明显的苗峰差异, 除 13 cm × 13 cm 以外, 密度越高苗峰值越大越早达到峰值, 且 13 cm × 13 cm 处理由于插植密度过大, 后期田间观察到纹枯病爆发并早衰情形。

从总生物量 (表 1) 性状来看, 田间观察总生物产量在高密度 (13 cm × 13 cm) 条件下, 由于株穗间过于密集, 易发生纹枯病导致生物量减少; 低密度条件下虽然成穗率很高, 但植株生长量不足, 总生物量也不高; 19 × 19 处理的生物量最大, 说明这一插植密度最适合湘两优 900 构建最大生物量群体。无论多株植还是单株植, 低密度插植能产生较好的群体生长量 (总生物量), 最大达 4 104 kg/667 m², 除 13 × 13 处理与其他密度差异达极显著外, 其他密度级差间均达差异显著, 说明总生物量对插植密度敏感, 但在本试验设置的密度处理差异间没有达到极显著水平。

2.2 湘两优 900 在不同插植苗数和密度条件下的生殖生长性状分析

湘两优 900 具有茎秆粗壮、分蘖力中等、成穗率较高的特征。如表 2 所示, 插植密度越低,

越有利于成穗率提高, 即有效分蘖越多, 表明成穗率与密度成负相关关系, 且副处理间测验结果显示, 多株植更有利高成穗率, 差异达极显著水平。虽然多株植有利形成高成穗率, 但成穗率不是主要产量性状, 产量主要构成性状是有效穗数, 由于生产最终需要的是有效穗数最多, 因而单穴插植苗数以适中为最好, 最大的有效穗数在密度 16 × 16 处理到 21 × 21 处理之间, 以 19 × 19 处理最好。

随着密度由高到低, 每穗总粒数变化趋势是从低到高再回到中低水平, 最合适的插植密度是 19 × 19 处理, 其每穗总粒数最多。插植密度越低越有利每穗总粒数增长, 即稻穗越大。除了 24 × 24 处理单株植小区显示较小 (206.8 粒), 其他小区多株植与单株植条件下每穗总粒数各处理间均没有显著差异, 说明低密度插植总体上有利提高每穗总粒数, 24 × 24 处理单、多株植之间 206.8 和 232.6 粒的显著变化值, 可以认为是试验误差所致。

结实率的变化与每穗总粒数基本一致, 较高的结实率出现在密度 19 × 19 处理到 21 × 21 处理之间, 以 19 × 19 处理最高。结实率差异分为两个群体, 其中 19 × 19 处理与 21 × 21 处理的结实率

表 2 湘两优 900 在不同插植苗数和密度条件下的生殖生长性状差异
Table 2 Effect of different density on reproductive growth traits of Xiangliangyou 900

处理 Treatment	成穗率 Effective panicle rate (%)	每穗总粒数 Spikelet number per panicle	结实率 Seed set ratio (%)	谷草比 Grain/dry matter ratio
13 × 13	37.30eD	139.68dD	78.75bB	39.38a
16 × 16	57.40dC	175.53cC	79.07bB	40.30a
19 × 19	75.48cB	250.98aA	96.42aA	38.30a
21 × 21	98.27aA	237.98abAB	90.78aAB	38.53a
24 × 24	95.53bA	219.72bB	79.4bB	38.33a
单株植 × 1	71.43bB	203.29a	81.62a	37.97a
多株植 × 2	74.17aA	206.27a	88.15a	39.97a
13 × 13 × 1	31.77bB	163.07aA	72.57a	38.87a
13 × 13 × 2	42.83aA	116.30bB	84.93a	39.90a
16 × 16 × 1	57.37a	168.87a	78.10a	35.23bA
16 × 16 × 2	57.43a	182.20a	80.03a	45.37aA
19 × 19 × 1	74.93a	244.17a	95.83a	38.20a
19 × 19 × 2	76.03a	257.80a	97.00a	38.40a
21 × 21 × 1	98.03a	223.64 bB	92.87a	38.30a
21 × 21 × 2	98.50a	242.43a	88.70a	38.77a
24 × 24 × 1	95.03a	206.83bB	68.73bA	39.23a
24 × 24 × 2	96.03a	232.6aA	90.07aA	37.43a

注: 同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著, 大写英文字母不同者表示差异极显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences, different capital letters represent extremely significant differences.

较高，与其他插植密度具有极显著差异，而所有多株与单株处理均无显著差异。可见，只有适合的插植密度（19 cm × 19 cm、21 cm × 21 cm）会产生较好的结实率。

谷草比在各密度处理之间没有明显变化趋势与规律，包括多株植与单株植均未出现测验显著性，说明湘两优 900 这一品种田间可塑性较大，在本试验设置的密度处理范围有种群自我调节生长能力，能达到最佳自我均衡群体状态，这是本试验对湘两优 900 最重要的发现。

2.3 湘两优 900 在不同插植苗数和密度条件下的产量及产量性状分析

从湘两优 900 产量及其构成因子对密度的响应显著性测验结果（表 3）来看，有效穗数随着插植密度变化呈现出正态分布状态，最优值在密 19 × 19 处理附近，处理间差异极显著。主处理内除 13 × 13 处理单、多株植差异极显著外，其余密度处理单、多株植对有效穗数影响均不显著；副处理的单株植和多株植表现差异极显著，多株植对有效穗数有明显正向作用，而且差异均达极显著，即多株植更易于获得更多有效穗数。

每穗实粒数 19 × 19、21 × 21 处理差异不显著，但它们与其他密度处理每穗实粒数差异极显著；

副处理单、多株植每穗实粒数除 24 × 24 密度处理差异极显著外，其余均差异不显著。说明密度差异会影响每穗实粒数的多少，并且达到极显著水平，但单、多株植间，在试验设定的所有密度都不会引起每穗实粒数的明显差异。

千粒重是湘两优 900 遗传性最稳定的性状，由品种遗传特性确定，显著性测验证明与插植密度、苗数无关。从表 3 可以看出，湘两优 900 千粒重在 25.3~25.7 之间，按一般田间测定性状误差许可范围来看，属于试验误差，表明湘两优 900 千粒重遗传性稳定，主要由品种遗传特性决定，受环境因素影响很小。

小区产量在高密度（13 cm × 13 cm）条件下最低（30.0 kg），特别是多株植小区，由于株穗间过于密集，易发生纹枯病导致产量明显减少；16 × 16 处理也不理想，产量次低；19 × 19、21 × 21、24 × 24 处理均获得较好产量，以 19 × 19 处理产量最高。说明湘两优 900 较适合低密度插植，低密度插植条件比较易于建立较好的群体，适合品种生长特性发挥。本试验的小区产量最优密度处理为 19 × 19，显著性产量差异由高到低分别是处理 19 × 19 > 21 × 21 > 24 × 24 > 16 × 16 > 13 × 13；副处理单、多株植的小区产量差异（除

表 3 湘两优 900 在不同插植苗数和密度条件下的产量及产量性状表现
Table 3 Effect of different density on yield and yield traits of Xiangliangyou 900

处理 Treatment	单株有效穗数 Effective panicle number per plant	每穗实粒数 Filled spikelet number per panicle	千粒重 1000-grain weight (g)	小区产量 Grain yield (kg)
13 × 13	14.37dD	108.28dD	25.35bcB	32.40eE
16 × 16	19.30bB	138.75cCD	25.33cB	37.25dD
19 × 19	20.77aA	240.98aA	25.52abcAB	46.15aA
21 × 21	19.48bB	215.98aAB	25.53abAB	42.73bB
24 × 24	18.57cC	176.55bBC	25.65aA	40.22cC
单株植 × 1	18.08bB	168.87a	25.49a	39.79a
多株植 × 2	18.91aA	183.35a	25.47a	39.71a
13 × 13 × 1	12.27bB	117.93a	25.37a	34.77aA
13 × 13 × 2	16.47aA	98.63a	25.33a	30.04bB
16 × 16 × 1	19.33a	131.87a	25.33a	36.33a
16 × 16 × 2	19.27a	145.63a	25.33a	38.17a
19 × 19 × 1	20.60a	233.83a	25.57a	45.97a
19 × 19 × 2	20.93a	248.13a	25.47a	46.33a
21 × 21 × 1	19.60a	216.87a	25.53abAB	42.60a
21 × 21 × 2	19.37a	215.10a	25.53abAB	42.87a
24 × 24 × 1	18.60a	143.83bB	25.63a	39.27a
24 × 24 × 2	18.53a	209.27aA	25.67a	41.17a

注：同列数据后小写英文字母不同者表示差异显著，大写英文字母不同者表示差异极显著。

Note: Different lowercase letters in the same column represent significant differences, and different capital letters represent extremely significant differences.

13 × 13处理有极显著差异外)均不显著,表明单、多株植在大多数情况(除较密植的情形外)下,不会导致小区产量水平的显著性差异。

因此,研究插植密度对产量水平的影响,可以忽略单或多株植的条件,即单、多株植不会对产量产生差异性影响。可以认为,适合湘两优900的插植密度不论是单株植还是多株植,均可以达到最高产量。

小区产量在不同密度下表现差异达到极显著水平,说明密度对小区产量具有决定性的意义。

3 讨论

研究表明,湘两优900产量在不同栽植密度下差异达到极显著水平,证明密度对产量具有决定性的意义^[5, 7, 11]。本试验中,获得最高产量的插植密度在19 cm × 19 cm附近,且不论是单株植还是多株植。我们估计这一密度之所以为最优值与品种的株型、分蘖特性有关。湘两优900是超高产型品种,具有茎秆粗壮直立、大穗粒多、分蘖力适中的特点。因此,这一结论不一定对所有品种具有普遍性意义,需要进一步试验验证。

湘两优900全生育期随着插植密度减小而增加,有品种全生育期漂移的特性,在长生育期条件下,可能还有产量潜力,可以在生长周期较长的一季中稻区(云南省)试验其产量潜力。

该品种在疏植条件下成穗率较高,且由于茎秆粗壮占用空间较多,不建议插植密度大,同时,过于密集的株穗容易导致病虫害发生,特别是在高温高湿的南方稻区,而应该适度疏植。试验证明,插植密度越低越有利每穗总粒数和每穗实粒数增长。因此,建议以19 cm × 19 cm为限,稍偏疏最好。这一结论与前人的研究结果相近^[4-11, 14, 16-33]。

对谷草比这一性状的研究表明,湘两优900品种田间可塑性较大,在本试验设置的密度处理范围有自我调节群体的现象。虽然在统计学上没有意义,但生产上可以依据产量目标调节生物产量,提高费效比,以最小的投入获得最佳收获。

湘两优900对插植苗数不敏感,即单株植还是多株植都可以达到最高产量,因而研究数据可以进一步以单株植和多株植两种类别进行分析。

在所有研究性状里,与产量关系密切的因子主要有苗峰值、有效穗数、总粒数、实粒数及结实率。

湘两优900具有良好的自我群体生长均衡特性。谷草比的稳定表现表明,无论多株植与单株植,在所有密度条件下,品种具有自我调节种群大小,达到最佳自我均衡群体状态,以达到最佳产量水平的能力。

4 结论

本试验结果表明,湘两优900在19 cm × 19 cm插植密度下可获得最高产量。由于湘两优900茎秆粗壮占用空间较多,对插植苗数不敏感,建议疏植。同时,湘两优900具有较好的长生育期产量潜力,可以在一季中稻区发挥高产潜力。湘两优900高产栽培应重点促进栽培群体形成高有效分蘖率(减少无效分蘖的损耗)、高有效穗数、高结实率、及大穗粒多(总粒数与实粒数)株型,这样才能获得高产。从单株的角度来看,较高的有效穗数、每穗总粒数、每穗实粒数、结实率和总生物量有利产量潜力发挥。

参考文献(References):

- [1] 袁隆平. 水稻强化栽培体系[J]. 杂交水稻, 2001, 16(4): 1-3. doi:10.3969/j.issn.1005-3956.2001.04.001.
YUAN L P. Rice intensive cultivation system [J]. *Hybrid Rice*, 2001, 16(4): 1-3. doi:10.3969/j.issn.1005-3956.2001.04.001.
- [2] 彭少兵, 库斯 G S, 韦尔克 P, 唐庆云, 周延波. 水稻理想株型育种提高水稻产量潜力的研究进展[J]. 大田作物研究, 2008(11): 32-38. PENG S B, KHUSH G S, VIRK P, TANG Q Y, ZHOU Y B. Progress in ideotype breeding to increase rice yield potential [J]. *Field Crops Res*, 2008, 11: 32-38.
- [3] 韦永贵, 董卓娅, 张晓磊, 王增, 段自林, 罗龙. 杂交水稻“龙特优927”高产栽培技术研究[J]. 云南农业科技, 2015(5): 32-34. WEI Y G, DONG Z Y, ZHANG X L, WANG Z, DUAN Z L, LUO L. Study on high-yielding cultivation techniques of hybrid rice “Longteyou 927” [J]. *Yunnan Agricultural Science and Technology*, 2015(5): 32-34.
- [4] 龙英, 孙长青. 不同种植密度对Y两优6号生长及产量的影响[J]. 耕作与栽培, 2015(S): 26-27. LONG Y, SUN C Q. Effects of different planting density on growth and yield of Y Liangyou No.6 [J]. *Tillage and Cultivation*, 2015(S): 26-27.
- [5] 曾仁杰. 不同种植密度对宁化河龙贡米水稻品种农艺性状和产量的影响[J]. 中国农学通报, 2018, 34(36): 1-6. ZENG R J. Planting densities of helong rice: Effect on agronomic traits and yield [J]. *China Agricultural Bulletin*, 2018, 34(36): 1-6.
- [6] 谢树鹏. 黑龙江省不同分蘖力水稻品种适宜密度与施肥量研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2014.

- XIE S P. Study of density and optimum fertilization in different varieties of rice tillering capacity in Heilongjiang Province [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2014.
- [7] 胡雅杰. 机插方式和密度对不同穗型水稻品种生产力及其形成的影响 [D]. 扬州: 扬州大学, 2016. 4.
- HU Y J. Effect of different mechanical transplanted methods and plant density on productivity of different panicle typed rice and their forming characteristics [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2016.
- [8] 谢小兵. 基于黄金分割法的水稻合理密植优化及试验验证 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2013.
- XIE X B. Optimization of rational close transplanting for rice based on golden section and its verification [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2013.
- [9] 朱相成. 增密减氮对东北水稻产量和氮肥效率及温室气体排放的影响 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- ZHU X C. Effects of dense planting with less basal nitrogen on rice yield, nitrogen use efficiency and greenhouse gas emissions in Northeast China [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015.
- [10] 王建. 种植密度对机插粳稻产量和品质及群体内部气象因子的影响 [D]. 南京: 南京农业大学, 2015.
- WANG J. Effects of planting density on meteorological characteristics, quality and yield in transplanted Japonica Rice [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2015.
- [11] 蔡桂清. 施氮量和种植密度对水稻产量及氮肥利用率的影响及差异 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2014.
- CAI G Q. N application and planting density on effects of cropping and nitrogen utilization [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2014.
- [12] 游根菊. 南方稻区水稻高产栽培技术 [J]. 栽培与种植, 2016 (4): 52. doi:10.16815/j.cnki.11-5436/s.2016.11.038.
- YOU G J. High-yielding cultivation techniques of rice in south China rice region [J]. *Cultivation and Planting*, 2016 (4): 52. doi:10.16815/j.cnki.11-5436/s.2016.11.038.
- [13] 李铁树. 水稻抛秧高产栽培技术 [J]. 科研技术推广, 2016 (6): 179.
- LIT S. High-yielding cultivation technique of rice seedling throwing [J]. *Promotion of Scientific Research and Technology*, 2016 (6): 179.
- [14] 倪济民. 甬优 15 超级稻不同栽培密度试验 [J]. 福建农业科技, 2015(11):4-5. doi: 10.13651/j.cnki.fjnykj.2015.11.002.
- NI J M. Test on different planting densities of super rice "Yongyou15" [J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2015 (11): 4-5. doi: 10.13651/j.cnki.fjnykj.2015.11.002.
- [15] 秦丽娟. 优质水稻的高产栽培管理技术 [J]. 农业与科技, 2017, 37(20): 127. doi: CNKI:SUN:NYYS.0.2017-20-111.
- QIN L J. High-yielding cultivation and management for quality rice varieties [J]. *Agriculture and Technology*, 2017, 37(20): 127. doi: CNKI:SUN:NYYS.0.2017-20-111.
- [16] 杨秀强. 栽培密度对水稻产量的影响 [J]. 农技服务, 2016, 33 (4): 107.
- YANG X Q. Effects of cultivated density on rice yield [J]. *Agricultural and Technical Services*, 2016, 33(4):107.
- [17] 刘世杰. 不同栽培密度对水稻产量的影响 [J]. 现代农业科技, 2013(23):31. doi: 10.3969/j.issn.1007-5739.2013.23.014.
- LIU S J. Effects of different planting densities on rice yield [J]. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2013 (23): 31. doi: 10.3969/j.issn.1007-5739.2013.23.014.
- [18] 任海建, 李世峰, 郁伟, 朱秋丽. 种植密度对膜下滴灌水稻产量及其构成因素的影响 [J]. 湖北农业科学, 2017, 55 (13): 3219-3222. doi: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2017.17.006.
- REN H J, LI S F, YU W, ZHU Q L. Effects of planting densities on grain yield and its components of rice under drip irrigation with plastic film mulching [J]. *Hubei Agricultural Science*, 2017, 55(13):3219-3222. doi: 10.14088/j.cnki.issn0439-8114.2017.17.006.
- [19] 董庆国. 种植密度对水稻农艺性状的研究探析 [J]. 科研与农业科学, 2018 (16): 18.
- DONG Q G. Study on agronomic characters of rice on planting density [J]. *Scientific Research and Agricultural Science*, 2018(16):18.
- [20] 黄冬福. 种植密度影响水稻农艺性状的研究进展 [J]. 安徽农学通报, 2012, 18 (1): 70-71,76. doi: 10.3969/j.issn.1007-7731.2012.01.029.
- HUANG D F. Research progress on the effects of planting density on rice agronomic traits [J]. *Anhui Agronomic Bulletin*, 2012,18(1): 70-71,76. doi: 10.3969/j.issn.1007-7731.2012.01.029.
- [21] 张明, 刘龙生, 黄益国, 陈佳娜, 张瑞春, 黄敏, 邹应斌. 种植密度对油菜茬免耕机插早稻产量形成的影响 [J]. 作物研究, 2017, 31 (7): 753-755.
- ZHANG M, LIU L S, HUANG Y G, CHEN J N, ZHANG R C, HUANG M, ZOU Y B. Effects of planting density on yield formation of early rice transplanted after rape stubble no-tillage machine [J]. *Crop Research*, 2017, 31 (7): 753-755.
- [22] 徐一成, 朱德峰, 陈惠哲. 不同机插密度对免耕机插水稻生长及产量形成的影响 [J]. 中国农机化学报, 2014, 35 (5): 9-12. doi: 10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2014.05.003.
- XU Y C, ZHU D F, CHEN H Z. Effects of different planting densities on growth and yield formation of rice transplanted by no-tillage machine [J]. *China Journal of Agricultural Mechanochemistry*, 2014, 35(5): 9-12. doi: 10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2014.05.003.
- [23] 郎有忠, 王美娥, 吕川根. 水稻叶片形态、群体结构和产量对种植密度的响应 [J]. 江苏农业学报, 2012, 28(1):7-11. doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2012.01.002.
- LANG Y Z, WANG M E, LYU C G. Response of leaf morphology, population structure and yield to planting density [J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2012, 28 (1): 7-11. doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2012.01.002.
- [24] 普林格 Q H. 水稻精确定量栽培理论与技术 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2007: 71-90.
- PLING Q H. Theory and technology of rice precision and quantitative cultivation [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2007:71-90.
- [25] HORIE T, SHIRAWA T, HOMMA K, KATSURA K, MARDA S, YOSHIDA H. Can yield of lowland rice resume the increases that they showed in the 1980s [J]. *Plant Product Science*, 2005,8:259-274.
- [26] 朱伦, 叶建春, 王慧芹, 王世初, 孙艺, 施春婷. 超级稻 Y 两优 1 号不同密度栽培试验 [J]. 广西农学报, 2012, 27(6):6-8. doi: 10.3969/j.issn.1003-4374.2012.06.002.

- ZHU L, YE J C, WANG H Q, WANG S Z, SUN Y, SHI C T. Different density cultivation experiment of super rice Y Liangyou No.1 [J]. *Guangxi Agricultural Journal*, 2012, 27(6):6-8. doi: 10.3969/j.issn.1003-4374.2012.06.002.
- [27] 蓝廷芳, 董其静. 超级稻免耕不同抛栽密度对比试验 [J]. 广西农学报, 2008, 23(5):11-13. doi: 10.3969/j.issn.1003-4374.2008.05.004.
- LAN T F, DONG Q J. Contrast experiment of different seedling density for no-tillage super rice [J]. *Journal of Guangxi Agriculture*, 2008, 23(5):11-13. doi: 10.3969/j.issn.1003-4374.2008.05.004.
- [28] 吕榜雄, 陈玉坤, 汤克勤, 植业民, 罗学夫. 不同抛秧密度对超级稻 Y 两优 1 号产量的影响 [J]. 种子, 2008, 27(12): 124-125.
- LYU B X, CHEN Y K, TANG K Q, Planter, LUO X F. Effects of different seedling density on yield of super rice Y Liangyou No.1 [J]. *Seeds*, 2008, 27(12):124-125.
- [29] 兰朝晃. 超级稻宜优 673 烟后不同插植密度试验 [J]. 农业科技通讯, 2013(9):38-40. doi: 10.3969/j.issn.1000-6400.2013.09.014.
- LAN C H. Experiments on different planting densities of super rice Yiyou no.673 after cigarette season [J]. *Agricultural Science and Technology Newsletter*, 2013(9):38-40. doi: 10.3969/j.issn.1000-6400.2013.09.014.
- [30] 叶建春, 王慧芹, 黄远峰, 陈彪, 龙运峰, 施春婷, 王世祜. 超级稻特优 582 不同密度栽培试验 [J]. 中国农技推广, 2013, 29(3):27-29. doi: 10.3969/j.issn.1002-381X.2013.03.012.
- YE J C, WANG H Q, HUANG Y F, CHEN B, LONG Y F, SHI C T, WANG S Z. Different density cultivation experiment of super rice Teyou No.582 [J]. *Agricultural Technology Promotion in China*, 2013, 29(3):27-29. doi: 10.3969/j.issn.1002-381X.2013.03.012.
- [31] 张银龙, 徐小平, 李婷婷, 陈芝能, 赵秀荣. 优质杂交水稻华优 18 不同密度的栽培试验 [J]. 安徽农学通报, 2007, 13(2):118-119. doi: 10.3969/j.issn.1007-7731.2007.02.055.
- ZHANG Y L, XU X P, LI T T, CHEN Z N, ZHAO X R. Cultivation experiment of quality hybrid rice Huayou No.18 with different densities [J]. *Anhui Agronomic Bulletin*, 2007, 13(2):118-119. doi: 10.3969/j.issn.1007-7731.2007.02.055.
- [32] 钱银飞, 张洪程, 吴文革, 张强, 李杰, 陈焯, 郭振华, 戴其根, 霍中洋, 许轲, 李德剑, 周有炎. 2009 年移栽密度组合对机插水稻淮稻 5 号生长发育及产量形成的影响 [J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(1): 41-48.
- QIAN Y F, ZHANG H C, WU W G, ZHANG Q, LI J, CHEN Y, GUO Z H, DAI Q G, HUO Z Y, XU K, LI D J, ZHOU Y Y. Effects of transplanting density combination on growth and yield formation of Huaidao No. 5 in 2009 [J]. *Journal of Jiangxi Agricultural University*, 2009, 31(1): 41-48.
- [33] 云勇, 邢福能, 严小微, 林朝上. 超级稻品种强化栽培密度试验 [J]. 福建稻麦科技, 2007(6):12-14. doi: 10.3969/j.issn.1008-9799.2007.02.007.
- YUN Y, XING F N, YAN X W, LIN C S. Experiments on intensified cultivation density of super rice varieties [J]. *Fujian Rice and Wheat Science and Technology*, 2007(6):12-14. doi: 10.3969/j.issn.1008-9799.2007.02.007.
- [34] 杨建昌, 杜永, 吴长付, 刘立军, 王志琴, 朱庆森. 超高产粳型水稻生长发育特性的研究 [J]. 中国农业科学, 2006, 39(7):1336-1345.
- YANG J C, DU Y, WU C F, LIU L J, WANG Z Q, ZHU Q S. Growth and development characteristics of super-high-yielding mid-season japonica rice [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(7):1336-1345.

(责任编辑 邹移光)