

栽培密度对杂交粳稻辽优 5206 产量及光合特性的影响

梁传斌, 李建国, 张 雪, 张忠旭, 姚继攀*

(辽宁省水稻研究所, 沈阳 110001)

摘 要: 为确定水稻高产栽培的种植密度, 本研究以辽优 5206 为供试水稻品种, 设置低 (Low density, LD)、中 (Medium density, MD)、高 (High density, HD) 三个栽培密度, 研究不同栽培密度对水稻群体光合特性和产量的影响, 以期调控栽培密度而获得高产。结果表明, 随着栽培密度的增加, 水稻叶片叶绿素含量、净光合速率和蒸腾速率均呈现下降的趋势, 叶面积指数和胞间 CO_2 浓度呈增加的趋势, 气孔导度在不同的生育期表现不同。孕穗时期, MD 相对 HD 和 LD 处理, 拥有最高效的光合特性指标。同时, 栽培密度对水稻的结实率和千粒重没有显著影响, 对单位面积有效穗数和每穗总粒数影响显著, 从而显著影响产量, 中等密度 (MD, 20×10^4 穴/hm²), 行株距为 30 cm $\times$ 16.7 cm 时产量最高。综上所述, 适宜的栽培密度有利于构建良好的水稻群体, 获得高效的光合特性并增加产量。

关键词: 栽培密度; 杂交粳稻; 光合特性; 产量

中图分类号: S511

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2020)05-0013-05

Effects of Planting Density on Yield and Photosynthetic Characteristics of Japonica Hybrid Rice Liaoyou 5206

LIANG Chuanbin, LI Jianguo, ZHANG Xue, ZHANG Zhongxu, YAO Jipan*

(Liaoning Rice Research Institute, Shenyang 110001, China)

Abstract: In order to determine the planting density for high-yield cultivation of rice, Liaoyou 5206 was selected as the test rice variety in this study. Three planting densities: low density (LD), medium density (MD) and high density (HD) were set to study the effects of them on the photosynthetic characteristics and yield of rice population, so as to control the cultivation density and obtain high yield. The results showed that with the increase of planting density, chlorophyll content, net photosynthetic rate and transpiration rate decreased, leaf area index and intercellular CO_2 concentration increased, stomatal conductance was different in different growth stages. At booting stage, MD had the most efficient photosynthetic characteristics compared with HD and LD treatments. Meanwhile, the cultivated density had no significant influence on the seed setting rate and 1 000-grain weight of rice, but had significant influence on the effective panicle number per unit area and total grain number per panicle, thus significantly affecting the yield. When planting in MD, the yield was the highest when the row spacing was 30 cm $\times$ 16.7 cm. In conclusion, appropriate planting density is conducive to the construction of a good rice population, high photosynthetic characteristics and increase yield.

Key words: Planting density; Japonica hybrid rice; Photosynthetic characteristics; Yield

近年来, 通过不断改善生产条件, 挖掘品种生产力, 改进栽培技术及施肥措施, 水稻单产不断

提高^[1-5]。杂交稻较常规纯系水稻品种显著增产, 而高产栽培则是水稻稳产的重要措施^[4, 6]。水稻种植密度得到很好的调控是高产栽培的重要举措之一^[7], 研究表明, 优化调节栽培密度和施肥可以有效协调水稻个体和群体的正常发育, 改善作物的光合特性, 高效利用地力, 提高产量的同时省工、省肥、增质^[8-12]。作物产量形成是以光合作用为基础的, 合理的栽培密度可以使群体充分利用光能, 提高有效叶面积, 稳定植株状态, 延缓后

收稿日期: 2019-09-10

基金项目: 国家重点研发计划 (2017YFD0300700、2017YFD0100506)

作者简介: 梁传斌 (1984-), 男, 助理研究员, 从事北方杂交粳稻恢复系选育、常规稻低代品种选育研究。

通讯作者: 姚继攀, 男, 硕士, 副研究员, E-mail: aihaim799@163.com

期叶片衰老,从而增加抽穗后光合物质的生产,使得产量得到提升^[13-14]。本研究选取辽宁省水稻研究所近几年新培育的杂交粳稻—辽优5206,它具有很强的杂种优势,产量和综合性状表现突出,潜在的开发前景广阔。本试验在田间进行三水平的密度试验,以期通过对产量构成因素及光合性能的探讨和分析,得出辽优5206高产栽培最适的密度,获得高产。

1 材料与方法

1.1 试验点概况和试验材料

试验于2018年在辽宁省沈阳市苏家屯区八一镇三家子村兆鑫农场(N 41°34', E 123°14')进行,供试水稻品种为杂交粳稻—辽优5206。供试土壤为砂壤土,土壤全碳含量1.52 g/kg,全氮含量0.77 g/kg,全磷含量7.84 g/kg,全钾含量6.85 g/kg, pH为6.78,水解氮含量108.31 mg/kg,有效磷含量75.02 mg/kg,速效钾含量120.33 mg/kg。

1.2 试验设计

试验设置3个密度水平:低密度(Low density, LD, 15×10⁴穴/hm²),行株距为30 cm×22.2 cm;中密度(Medium density, MD, 20×10⁴穴/hm²),行株距为30 cm×16.7 cm;高密度(High density, HD, 30×10⁴穴/hm²),行株距为30 cm×11 cm。试验采取随机区组设计,3个重复,每个小区面积为50 m²,田块外设保护行和排水沟,小区间覆膜防串水串肥。各处理施肥量相同,日常田间管理相同,注意防治病虫害。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 叶绿素含量

于水稻分蘖期、孕穗期、灌浆期和成熟期,每个小区选择10株长势相对一致的植株,采用SPAD-502叶绿素仪测定功能叶的叶绿素含量。

1.3.2 叶面积指数

在水稻的分蘖期、孕穗期、灌浆期和成熟期,选取代表植株5穴,借助CID-203叶面积测定仪(美国)测定绿叶面积,计算叶面积指数。

1.3.3 光合特性

选用美国LI-COR公司的LI-6400便携式光合仪,在水稻分蘖期、孕穗期和灌浆期三个时期的晴朗天气测定叶片光合性状。测定时间一般为9:00~12:00,主要记录净光合速率(Pn)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(Gs)和胞间二氧化碳浓度(Ci)四个常用的光合指标,测定时光强设定为1 500 μmol/m²·s, CO₂浓度为400 μmol/mol。

1.3.4 产量性状

水稻成熟后,利用对角线取点法,每个小区避开边角及取样行后随机取10株,考察有效穗数,测定穗粒数、千粒重、穗长、株高,计算结实率。收获后小区实收后去皮鼓风干燥计产。

1.4 数据分析

数据采用Microsoft Office Excel 2010、IBM SPSS Statistics 20等软件进行作图、统计分析。

2 结果与分析

2.1 栽培密度对水稻叶片叶绿素含量(SPAD)的影响

由图1可以看出,在水稻各个生育期,同一密度下水稻叶片的叶绿素含量(SPAD)不同时期存在显著差异。同一时期,不同密度处理间也存在显著差异。整个生育期中,孕穗期叶绿素含量显著高于其它时期,整体呈现先升高后降低的趋势。在同一生育时期,LD处理的水稻叶片SPAD值显著高于HD和MD处理,孕穗期尤其显著,LD处理水稻叶片SPAD值为49.58,较HD和MD分别增加了11%和9%。从孕穗期往后,不同处理间差异逐渐减小,但LD处理始终高于MD和HD处理,可见栽培密度过大会影响群体的叶绿素含量。

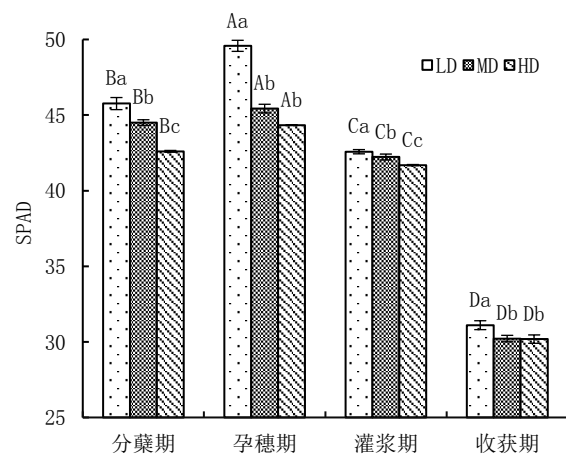


图1 不同生育期不同密度下叶片的SPAD值

2.2 栽培密度对水稻光合特性的影响

由图2可以看出,水稻群体的光合作用从分蘖期至灌浆期显著受到栽培密度的影响。随着水稻生育期推进,水稻的净光合速率和气孔导度先升高后下降,孕穗期中密度的净光合速率和气孔导度高于低密和高密。不同生育时期,低密处理的细胞间CO₂浓度都显著低于中密和高密。而不同处理的蒸腾速率随着生育期逐渐下降,在分蘖期低密处理显著高于中密和高密。

图2A可以看出从分蘖期至灌浆期,水稻的净光合速率呈现先升后降趋势,各密度处理在孕穗期净光合速率最高。在孕穗期之前,不同密度处理间的净光合速率表现为HD最高,为 $18\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$, MD次之,LD最低。灌浆期表现为LD最高,为 $18\mu\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$,比MD和HD分别高了5%和11%(图2A),表明栽培密度的增加不利于提高水稻的光合速率。

从图2B中可以看出,分蘖期栽培密度对不同处理的水稻气孔导度有显著的影响,其中HD处理水稻植株气孔导度最大,为 $0.66\text{mol}/\text{m}^2\cdot\text{s}$,其次是MD,LD最小。拔节孕穗期之后不同栽培密度

处理间气孔导度差异逐渐减小,由此可见,栽培密度对水稻气孔导度影响较小。

胞间 CO_2 浓度的增加可以在一定程度上提高光合速率。栽培密度对水稻叶片胞间 CO_2 浓度的影响在不同处理之间达到显著水平。不同处理胞间 CO_2 浓度随着栽培密度的增加有提升的趋势,均表现为 $\text{HD} > \text{MD} > \text{LD}$ (图2C)。

由图2D可以看出,不同密度处理下水稻蒸腾速率在分蘖期差异显著,随着密度的增加逐渐降低,表现为LD最高,较MD和HD分别高了6%和16%。从分蘖期到灌浆期,各处理的叶片蒸腾速率逐渐降低,各处理间的差异也逐渐减小。

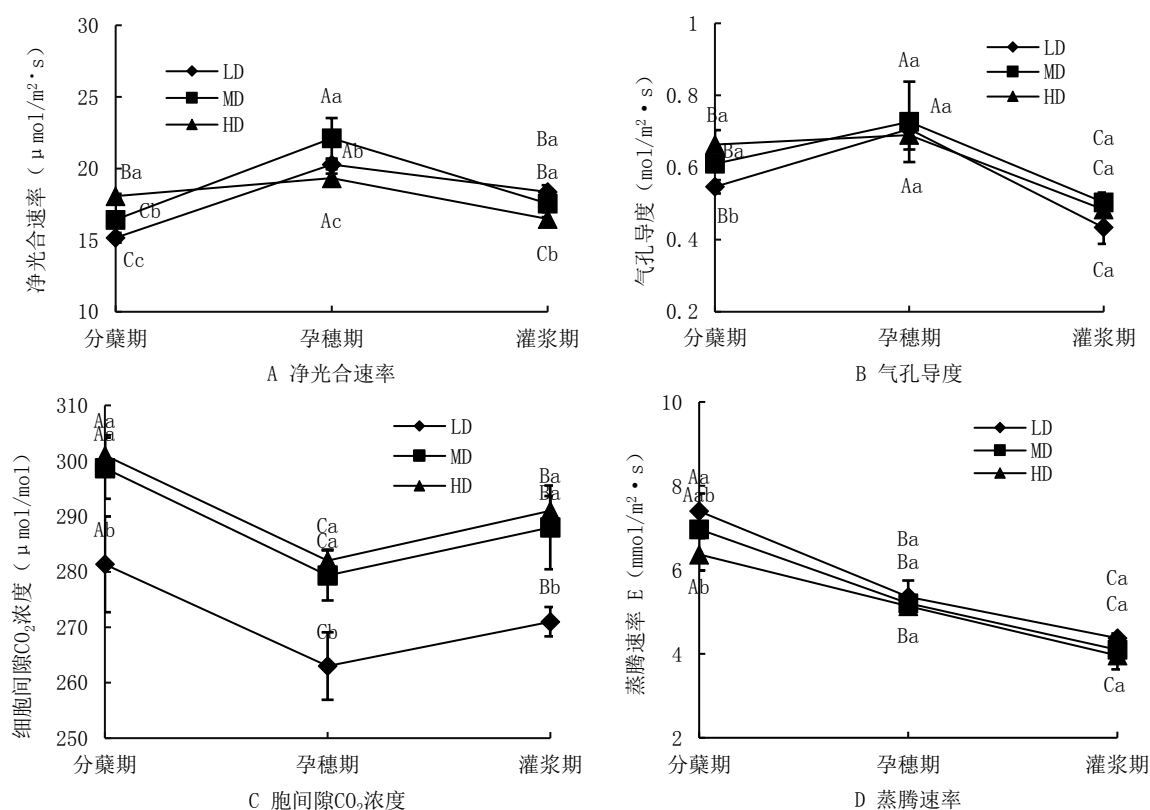


图2 不同生育期不同密度下的叶片光合特性

2.3 栽培密度对叶面积指数的影响

由图3可知,从分蘖期到收获期,不同密度处理对叶面积指数的影响一直存在显著的差异,而且随着密度升高叶面积指数有增加的趋势。各处理的水稻叶面积指数均呈现先升高再下降的趋势,孕穗期最高。在高密度下,叶面积指数大,田间透光率差,这也许是导致HD处理下净光合作用下降的原因之一,而且出现少量倒伏,光合作用的减弱影响了同化物的运输分配,从而影响了茎秆机械组织的发育。

2.4 栽培密度对产量及其构成因素的影响

由表1可知,不同的栽培密度对水稻产量及

其构成因素有显著影响。从产量构成来看,栽培

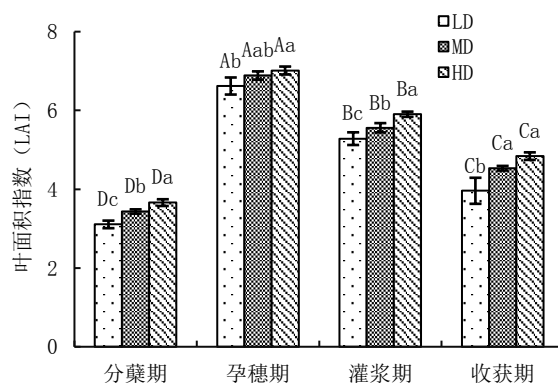


图3 不同生育期不同栽培密度对叶面积指数的影响

密度对有效穗数和每穗总粒数影响最大,不同密度处理之间存在显著差异,有效穗数因密度增加而逐步变大,HD最高,比LD高11%;而每穗总粒数则因密度增加而逐步降低,HD最小,比LD少了8%。栽培密度对水稻千粒重和结实率没有太大

的影响。但是在MD处理下产量最高,较LD提高了10%,较HD提高了4%。说明适当提高栽培密度可以有效提高水稻产量,其中密度主要通过有效穗数和每穗总粒数两者影响产量,密度对千粒重和结实率没有显著影响。

表1 栽培密度对产量及其构成因素的影响

处理	有效穗数	每穗总粒数	千粒重(g)	结实率(%)	穗长(cm)	株高(cm)	产量(t/hm ²)
LD	18c	184a	25.3a	80b	20.4a	97b	10.5c
MD	19b	179b	24ab	96a	18b	112a	11.5a
HD	20a	170c	23.7ab	94a	17b	113a	11.1b

3 结论与讨论

栽培密度的大小对作物群体建成有关键性的作用,高质量水稻群体的构建离不开水稻个体的正常发育,既要保证个体发育又要协调群体,这就要求植物在合理的空间内高效地利用光能,良好的群体构成有利于提高作物冠层对光的捕获能力,对群体的温度和湿度有至关重要的调控作用。水稻籽粒90%来源于花后光合作用,栽培密度会影响光合性能从而影响水稻的生长发育和产量,确定合理的栽培密度对水稻高产十分重要^[15-16]。本研究发现在孕穗期之前净光合速率随着栽培密度的增大而降低,抽穗期后相反,低密度处理的水稻植株拥有最高的净光合速率,这与部分学者的研究一致^[17],部分学者认为水稻叶片净光合速率随栽培密度的增加而降低^[18-19],这可能与试验材料、试验地点、密度设置等有关。

水稻具有分蘖习性,其分蘖能力的大小受到氮肥的供应和栽培密度的影响。栽培密度的大小有可能是影响作物分蘖最主要的原因^[20]。栽培密度增大可以降低水稻个体分蘖数,提高水稻群体茎蘖数;栽培密度较小时,可以减少单个植株间光和养分的竞争程度,提高单株的分蘖能力,推迟群体高峰苗数的出现时间,减少无效分蘖的发生,并提高小麦和水稻在生育后期的成穗率,减少无效分蘖的发生^[21]。不同机插密度主要通过影响有效穗数和穗型大小来影响产量^[22],本研究结果表明有效穗数和每穗总粒数会受到移栽密度的显著影响,与其结果一致。金学泳研究指出栽培密度超稀的水稻虽然有较低的穗数和结实率,但是穗大粒多,产量占据一定的优势^[23]。但也有研究认为移栽密度对有效穗数、每穗总粒数、结实率和千粒重的影响均较小^[9],这可能与设置的栽培密度小有关,使得水稻增加了分蘖,李建广等

认为小的栽培密度会延长有效分蘖期及分蘖高峰期,从而达到增产的效果^[24]。

栽培密度还会影响植株群体叶面积指数(LAI)的大小,栽培密度适当增大时可以提高群体各时期的LAI,从而促进植物地上部干物质的累积^[25]。栽培密度过大或者过小都会导致群体LAI降低,而适宜的栽培密度则可以使群体获得更大的LAI^[26]。当栽培密度较小时,水稻群体的LAI较小,地上部干物质累积减少不利于产量的形成;当栽培密度过大时,群体的LAI比较大,整体光合产物合成增加,使群体冠层较为紧密,群体上层透风性差,不利于空气的流通,致使病害的发生^[27]。适当扩大移栽行距,能适当提高光层的通透性,有利于提高水稻开花后叶片的光合作用和干物质积累。本研究表明,栽培密度大,叶面积指数就大,即截获光能的能力就大,可以提高群体的光合性能,但密度过大会破坏群体结构,导致叶片净光合速率下降,影响产量,所以MD实际产量比HD高。合理的栽培密度很重要。林贤青等^[28]研究发现栽培密度小,群体透光率会增加,光合性能就会增强,产量有所提高。关于光合作用与产量的关系十分复杂,还有待进一步探讨^[29]。

适宜的栽培密度,能够保证植株个体对养分的充分吸收充分展示出个体的分蘖能力,同时构建适当的群体结构,促进植株个体和群体之间的协调统一,促进植株整体干物质的生产,促成产量的增加^[30]。要选择合理的栽培密度还要考虑水稻品种,本研究是三系高产优质粳稻杂交稻辽优5206,株型偏散,分蘖能力强,适合稀植。而半矮秆多穗品种则适合密植以获得更大的叶面积指数。除了水稻品种之外,试验地点土壤肥力、环境因素都会影响密度的设置,影响产量。适宜的栽培密度由施肥量、温度以及作物自身品种等多

重因素共同决定,因此栽培密度的确定要因地制宜,合理的种植密度能使水稻高效摄取土壤中的养分,促进氮肥效率近一步提高,同时也可以协调各产量因子之间的关系,使之高度统一促进产量的提高。

研究表明:在沈阳市相对中上等肥力的砂壤土上种植杂交粳稻辽优5206,当种植密度为 20×10^4 穴/hm²,行株距为30 cm×16.7 cm时,光合作用最优,在孕穗期相对高密和低密处理光合特性指标最高,有效地调节了水稻的有效穗数和穗粒数,群体结实率最高,产量最高。

参考文献:

- [1] 吕川根,邹江石.两系法杂交稻两优培九育种的理论与实践[J].中国农业科学,2016,49(9):1635-1645.
- [2] 贺帆.实时实地氮肥管理对水稻产量、品质和氮肥效率影响的研究[D].武汉:华中农业大学,2006.
- [3] 秦华东,谭素宁,曾华忠,等.稻田耕作方式和施氮水平对抛栽水稻群体质量及产量的影响[J].杂交水稻,2006,21(S1):70-73.
- [4] 赵海红.不同插秧密度对水稻产量和产量构成因素的影响[J].农学学报,2015,5(4):1-4.
- [5] 袁隆平.超级杂交稻研究进展[J].农学学报,2018,8(1):71-73.
- [6] 施玉珍.水稻栽培技术对水稻高产的影响[J].农业与技术,2015,35(16):127-128.
- [7] 崔一龙,金明淑,朴哲,等.密度对不同品种水稻生育及产量构成因素的影响[J].延边大学农学学报,1996,18(1):37-42.
- [8] 凌启鸿,苏祖芳.水稻成穗率与群体质量的关系及其影响因素的研究[J].作物学报,1995,21(4):463-469.
- [9] 徐新朋,周卫,梁国庆,等.氮肥用量和密度对双季稻产量及氮肥利用率的影响[J].植物营养与肥料学报,2015(3):763-772.
- [10] Hayashi S, Kamoshita A, Yamagishi J. Effect of Planting Density on Grain Yield and Water Productivity of Rice (*Oryza sativa* L.) Grown in Flooded and Non-flooded Fields in Japan[J]. Plant Production Science, 2006, 9(3): 298-311.
- [11] Hamid Reza M, Morteza Mohseni D, Ali K, et al. Effect of planting density on agronomical characteristics of rice (*Oryza sativa* L.) varieties in north of Iran. [J]. Pakistan Journal of Biological Sciences Pjbs, 2007, 10(18): 3205-3209.
- [12] 刘琦峰,徐淑琴.浅水勤灌水稻荧光参数与光合特性对不同施氮调控的响应[J].灌溉排水学报,2018(7):6-12.
- [13] 朱聪聪,张洪程,郭保卫,等.钵苗机插密度对不同类型水稻产量及光合物质生产特性的影响[J].作物学报,2014,40(1):122-133.
- [14] 李应洪,王海月,吕腾飞,等.不同秧龄下机插方式与密度对杂交稻光合生产及产量的影响[J].中国水稻科学,2017(3):265-277.
- [15] 李熙英,权成武,黄世臣.不同密度、插植方式对水稻生育及产量的影响[J].延边大学农学学报,2000,22(4):256-259.
- [16] 管正策,冯跃华,许桂玲,等.施氮量和机插密度对钵苗机插杂交粳稻C两优华占产量和氮素利用效率的影响[J].南方农业学报,2018(8):1498-1504.
- [17] 唐彬,王卫,陈安磊,等.移栽密度对双季稻光合特性和产量的影响[J].杂交水稻,2014,29(2):63-67.
- [18] 朱聪聪.钵苗机插密度对不同类型水稻产量及其生态生理特征的影响[D].扬州:扬州大学,2014.
- [19] Schnier H F, Dingkuhn M, De Datta S K, et al. Nitrogen fertilization of direct-seeded flooded vs. transplanted rice: I. Nitrogen uptake, photosynthesis, growth, and yield[J]. Crop Science, 1990, 30(6): 1276-1284.
- [20] Counce P A, Wells B R. Rice plant population density effect on early-season nitrogen requirement[J]. Journal of Production Agriculture, 1990, 3(3): 390-393.
- [21] 田智慧,潘晓华.氮肥运筹及密度对超高产水稻中优752的产量及产量构成因素的影响[J].江西农业大学学报,2007,29(6):894-898.
- [22] 郑克武,邹江石,吕川根,等.氮肥和密度对两系亚种间杂交稻“两优培九”产量及产量结构的影响[J].江苏农业学报,2001,17(1):19-23.
- [23] 金学泳,蔡承一.水稻高产栽培密度研究[J].黑龙江农业科学,1997(3):9-11.
- [24] 李建广,张秀和,张国新,等.移栽密度对水稻生长发育及产量的影响[J].北方水稻,2005(1):18-19.
- [25] Wu G, Wilson L T, McClung A M. Contribution of rice tillers to dry matter accumulation and yield[J]. Agronomy Journal, 1998, 90(3): 317-323.
- [26] Toriyama K, Ando H. Towards an understanding of the high productivity of rice with System of Rice Intensification (SRI) management from the perspectives of soil and plant physiological processes[J]. Soil Science and Plant Nutrition, 2011, 57: 636-649.
- [27] 林洪鑫,肖运萍,袁展汽,等.水稻合理密植及其优质高产机理研究进展[J].中国农学通报,2011,27(9):1-4.
- [28] 林贤青,周伟军,朱德峰,等.强化栽培下水稻穗分化期叶片光合速率与水分利用率的研究[J].中国水稻科学,2005,19(2):132-136.
- [29] 李春晓.马铃薯主要光合特性与产量及品质性状相关性的研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2011.
- [30] 时羽,周广春,朴红梅,等.水稻新品种吉粳528选育报告[J].东北农业科学,2019,44(5):12-14.

(责任编辑:刘洪霞)