



付晓全,陈小荣,傅军如,等.水稻恢复系雅占系列杂交组合产量形成及其光合特点分析[J].江西农业大学学报,2021,43(1):1-8.

FU X Q, CHEN X R, FU J R, et al. Analysis on yield formation and photosynthetic traits for the hybrid combinations of rice restorer line Yazhan[J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2021, 43(1): 1-8.

水稻恢复系雅占系列杂交组合产量形成及其光合特点分析

付晓全, 陈小荣*, 傅军如, 周大虎, 贺浩华

(江西农业大学 农学院/作物生理生态与遗传育种教育部重点实验室/江西省超级稻工程技术研究中心/双季稻现代化生产协同中心, 江西 南昌 330045)

摘要:【目的】为探究水稻恢复系雅占系列杂交组合产量形成及其光合特点,产量与产量构成因素之间的关系,光合作用相关因素对产量的贡献之间的关系,为恢复系的选育以及杂交组合高产栽培提供技术支撑。【方法】以雅占、华占两恢复系为父本,农香A等8个不育系为母本,共配制8组16个杂交组合为试验材料,大田种植,常规水肥管理,分析两恢复系所配杂交组合产量及其构成因子、叶绿素含量、净光合速率等因素,比较两恢复系之间配组特点及其光合性能的差异。【结果】结果表明:除C两优雅占、荃优雅占外,雅占配制的其余6个杂交组合的产量均高于对应的华占组合,雅占所配杂交组合的产量优势总体强于华占;通径系数分析表明影响雅占系列杂交组合产量形成的主要因子是单株有效穗数和千粒质量,每穗粒数与结实率起次要作用,且均达到显著水平;分蘖至籽粒灌浆期,雅占及其杂交组合叶绿素含量下降的速度较华占及其杂交组合略快,但其叶绿素含量绝对值一直到灌浆期均高于华占及其杂交组合,华占系列杂交组合在抽穗时期的净光合速率普遍高于雅占,但是分蘖期、灌浆期的净光合速率则普遍低于雅占系列杂交组合,表明灌浆期保持较高的净光合速率是增产的关键。还从库源关系、光合及叶绿素角度讨论了华占、雅占恢复系所配组合的产量形成差异与机制,研究结果对于雅占恢复系进一步育种改良、杂交配组及其杂交组合的高产栽培具有一定的参考意义。【结论】雅占作为恢复系比华占有更好的配组优势,所配杂交组合产量优于华占所配杂交组合,选育恢复系时应选择光合能力强,分蘖能力与后期灌浆能力强的株系。

关键词:水稻;恢复系雅占;杂交组合;产量;光合;源库关系

中图分类号:S511.032 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-2286(2021)01-0001-08

Analysis of Yield Formation and Photosynthetic Traits of the Hybrid Combinations of Rice Restorer Line Yazhan

FU Xiaoquan, CHEN Xiaorong*, FU Junru, ZHOU Dahu, HE Haohua

(College of Agronomy, Jiangxi Agricultural University/Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Genetic Breeding, Ministry of Education/Research Center of Super Rice Engineering and Technology, Jiangxi Province/Collaboration Center for Double-season Rice Modernization Production, Nanchang 330045, China)

收稿日期:2020-08-12 **修回日期:**2020-11-22

基金项目:国家重点研发计划重点专项(2018YFD0901700)和国家自然科学基金项目(31360309)

Project supported by the National Key Research and Development Project of China (2018YFD0901700) and National Natural Science Foundation of China (31360309)

作者简介:付晓全, orcid.org/0000-0003-3345-3420, fxq11111720@163.com; *通信作者:陈小荣,教授,博士,博士生导师,主要从事作物生理与育种研究 orcid.org/0000-0002-9390-8944, ccxrr80@163.com。

Abstract: [Objective] To explore the yield formation and photosynthetic characteristics of restorer line Yazhan series hybrid combination of rice, the relationship between yield and yield components, and the contribution of photosynthetic related factors to yield, so as to provide technical support for the breeding of hybrid line restorer line and high-yield cultivation. [Methods] In this experiment, two restorer lines Yazhan and Huazhan were used as male parents, and eight sterile lines such as Nongxiang A were used as female parents. Eight groups of 16 hybrid combinations were prepared as experimental materials. Field planting and conventional water and fertilizer management were used to analyze the yield, composition factor, chlorophyll content, net photosynthetic rate and other factors of the hybrid combinations of the two restorer lines, so as to compare the characteristics of the two restorer lines and their differences in photosynthetic performance. [Results] The results showed that the yield of the other 6 hybrid combinations was higher than that of the corresponding Huazhan combinations except for the C Liangyou and Quanliangyou hybrid combinations, and the yield advantage of the hybrid combinations was generally stronger than that of the Huazhan combinations. Path coefficient analysis showed that the effective panicle number and 1 000-grain weight per panicle were the main factors affecting the yield formation of Yazhan series hybrid combinations, and the grain number and seed setting rate per panicle played a secondary role, and both reached a significant level. During the period from the tillering stage to the grain filling stage, the chlorophyll content of Yazhan and their hybrid combinations dropped faster than that of Huazhan and their hybrid combinations, but the absolute value of chlorophyll content was higher than that of Huazhan and their hybrid combinations all through to the filling stage, the net photosynthetic rate of Huazhan series hybrid combinations was higher than that of Yazhan in the earing stage, but in the tillering stage and filling stage, the net photosynthetic rate of Huazhan series combinations was generally lower than that of Yazhan series hybrid combinations, which showed that in the filling stage higher net photosynthetic rate was the key to increased production. The differences in yield formation and mechanism of the combinations were also discussed from the perspective of sink-source relationship, photosynthesis and chlorophyll, and the research results were of certain reference significance for further breeding and improvement of the restorer lines, hybridization and high-yield cultivation of the hybrid combinations. [Conclusion] As a restorer line, Yazhan has a better combination advantage than Huazhan, and the yield of the hybrid combinations is higher than that of Huazhan. The cultivars with strong photosynthetic ability, tillering ability and late grouting ability should be selected for restorer line breeding.

Keywords: rice; restorer line Yazhan; hybrid combination; yield; photosynthesis; sink-source relationship

【研究意义】恢复系选育是杂交水稻育种的一个重要组成部分,高质量的水稻恢复系是产生新组合的重要途径。雅占恢复系是以湛恢15为母本,华占恢复系为父本,经过杂交一代后连续自交7代选育而来。研究发现雅占所配杂交组合具有产量高、株高较矮、稻瘟病综合抗性强等优点,对两系和三系不育系均呈现出良好的恢复作用^[1]。近年来,雅占系列高产优质组合陆续通过审定,主要有天优雅占^[2]、农香优雅占^[3]等,虽然推广面积日益增大,但对其产量特点及形成机制尚缺乏深入研究,不利于配套栽培技术的优化。【前人研究进展】水稻产量取决于同化物供应(源)和利用同化物(库)的能力^[4-5]。灌浆期是决定水稻产量形成的关键时期^[6],在该阶段,充足的源供应,无论是来自抽穗前的非结构性碳水化合物(NSC)储备,还是来自抽穗后的光合产物,对于充分填充库以获得高产优质的水稻均至关重要^[7-8]。前人研究指出,品种特点^[8-9]、栽培方式^[10-11]、生态环境^[12]等均对源库特征有显著影响。水稻的源(功能叶片)^[13]与库(穗部籽粒)相互协调、互相制约。源对库提供关键物质,库也有效调节源活性及光合活力^[14]水稻产量构成因素与水稻产量之间的关系,水稻光合作用与产量之间的关系一直是水稻高产机理的研究热点。Nanda等^[15]研究表明,每穗粒数对产量的直接贡献表现为高,其次是有效穗数。黄金龙^[16]研究表明丰产性好产量高的水稻品种,主要源于分蘖力强,有效穗数多,成穗率高,穗实粒多,结实率高。构建大小合

适的群体,合理栽培,充分利用光能是近年来水稻高产栽培研究的热点。但是品种间高产机理的差异,目前研究较少。【本研究切入点】本试验以雅占、华占两恢复系为父本,农香A等8个不育系为母本,共配制8组16个杂交组合为试验材料,在相同种植条件下比较两恢复系所配制的杂交组合间产量及其构成因素、叶绿素含量、净光合速率等差异,分析两恢复系配组产量形成优势及其光合性能的差异,分析各因素对产量的贡献程度。【拟解决的关键问题】探明雅占恢复系的配组优势,分析产量构成因素在不同恢复系中对产量的贡献程度,为雅占恢复系进一步育种改良、配组及其杂交组合的高产栽培提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以雅占、华占两恢复系为父本,农香A、C815S、荃9311A、天丰A、广8A、恒丰A、Q2A、五丰A为母本,共配制8组16个杂交组合为试验材料,种子均由江西天涯种业有限公司提供。

1.2 试验方法

1.2.1 田间种植与设计 试验于2019年在江西农业大学科技园进行。考虑到雅占及其杂交组合生育期较华占普遍长2 d左右,华占及其所配杂交组合推迟2 d播种,即雅占及其杂交组合于6月20日播种,华占及其杂交组合于6月22日播种,统一于7月15日移栽。每品种(材料)3次重复(小区),每重复50单株,随机区组排列。田间施肥按照N 180 kg/hm², P₂O₅ 90 kg/hm², K₂O 180 kg/hm²标准施用,氮肥按照 $m(\text{基肥}):m(\text{蘖肥}):m(\text{穗肥})=5:2:3$ 施用,磷钾肥作为基肥施用。

1.2.2 测定项目及方法 产量及构成因素:于成熟期各小区考察单株有效穗数,每个重复按照有效穗数平均法,各选取5株未破坏样品的单株,考查单株有效穗数、每穗总粒数、每穗实粒数、千粒质量、穗一次枝梗数等,计算结实率、单株理论产量等。

叶绿素含量:每品种(材料)选定固定的5个单株叶片(主茎倒二叶),采用便携带手持指夹式叶绿素仪SPAD-502(Chlorophyll Meter Spad-502Plus,浙江托普云农科技有限公司)分别于分蘖盛期、抽穗期、灌浆盛期和黄熟期4个时期测定,每个叶片测定叶基、叶中、叶尖3个部位,取均值作为该叶片的SPAD值。

净光合速率测定:每品种(材料)选定固定的5个单株叶片(主茎倒二叶),采用CI-340便携式光合测定仪分别于分蘖盛期、抽穗期、灌浆盛期3个时期测定。

通径系数:通径系数是表示相关变量间的因果关系的1个统计量,应用SPSS软件可实现通径系数的求取^[17]。

1.2.3 数据分析 分别采用Excel 2003软件和SPSS19.0数据统计分析软件进行分析和作图,其中数据分析采用Duncan氏新复极差法(SSR法)。

2 结果与分析

2.1 雅占、华占两恢复系及其杂交组合产量及产量构成因素的差异性

由表1可知,农香优雅占、天优雅占、广8优雅占、恒丰优雅占、Q优雅占、五优雅占的产量均高于其对应的华占恢复系所配的杂交组合,而C两优雅占、荃优雅占以及亲本雅占的产量则略低于对应的华占恢复系所配的杂交组合和亲本华占。说明雅占恢复系配制的杂交组合增产能力总体强于华占,在杂交组合配组方面有较大的优势潜力。除单株有效穗数外,华占和雅占所配制的两两对应组合之间千粒质量、结实率、每穗粒数上均存在一定的差异。每穗粒数除广8优雅占显著低于广8优华占外,其余两两组间差异不显著,而结实率也出现C两优华占显著高于C两优雅占;结合产量分析上看,雅占所配杂交组合的产量形成优势是各产量构成因子间协同优化的结果。

2.2 雅占、华占两恢复系及其杂交组合不同时期叶绿素含量的差异性

由图1,图2可知,从分蘖期以后稻株叶片的叶绿素含量一直呈现下降的趋势,至灌浆期以后急剧下降。相比较可以发现,灌浆期至成熟期,雅占及其杂交组合叶绿素含量下降的速度比华占及其杂交组合略快,但是直至灌浆期,雅占及其杂交组合叶绿素含量绝对值比华占及其杂交组合高,表明雅占杂交组

合籽粒灌浆期前的叶片持绿性能强于华占杂交组合,为其同化物积累提供了依据;另一方面也表明雅占及其杂交组合抽穗后叶色转换较好,这是否预示其“流”畅,值得深入研究。

表 1 不同杂交组合产量及产量构成因素
Tab.1 Yield and yield components of different hybrid combinations

组合 Combination	单株有效穗数 Effective panicles per plant	千粒质量/g 1 000-grain weight	每穗粒数 Grain number per panicle	结实率 Seed setting rate	667 m ² 产量/kg Yield
农香优华占 NH	11.00±2.55 ^a	20.56±1.97 ^{de}	172.00±48.24 ^{abc}	0.76±0.03 ^{abcd}	612.25±167.01 ^a
农香优雅占 NY	11.20±1.48 ^a	25.24±2.4 ^{ab}	180.20±32.87 ^{abc}	0.74±0.03 ^{bcd}	780.88±155.79 ^a
C两优华占 CH	13.00±3.81 ^a	23.52±1.9 ^{bc}	161.20±21.25 ^{bc}	0.72±0.04 ^{cd}	723.13±121.55 ^a
C两优雅占 CY	10.60±1.67 ^a	24.02±2.13 ^{bc}	202.00±16.17 ^{ab}	0.64±0.07 ^e	705.91±209.11 ^a
茎优华占 QH	11.80±2.68 ^a	24.56±2.61 ^{ab}	145.60±33.75 ^c	0.77±0.04 ^{abcd}	679.51±201.23 ^a
茎优雅占 QY	9.40±2.07 ^a	25.18±3.26 ^{ab}	179.40±22.35 ^{abc}	0.70±0.05 ^{de}	620.19±171.79 ^a
天优华占 TH	10.40±4.04 ^a	23.70±1.61 ^{bc}	170.20±30.35 ^{abc}	0.73±0.05 ^{bcd}	617.74±156.43 ^a
天优雅占 TY	10.60±0.89 ^a	26.80±1.11 ^a	159.00±26.46 ^{bc}	0.76±0.09 ^{abcd}	720.04±138.62 ^a
广8优华占 GH	9.80±1.3 ^a	19.58±0.71 ^e	219.60±53.48 ^a	0.78±0.06 ^{abcd}	682.58±163.45 ^a
广8优雅占 GY	13.40±5.55 ^a	20.20±0.79 ^e	159.80±35.76 ^{bc}	0.81±0.07 ^{ab}	688.35±192.01 ^a
恒丰优华占 HH	10.80±1.92 ^a	23.08±1.34 ^{bc}	178.00±39.86 ^{abc}	0.83±0.06 ^a	769.46±242.18 ^a
恒丰优雅占 HY	10.80±1.92 ^a	24.10±1.04 ^{bc}	199.20±33.47 ^{ab}	0.82±0.03 ^{ab}	890.58±229.95 ^a
Q优华占 QYH	13.20±3.35 ^a	23.14±0.81 ^{bc}	172.20±40.09 ^{abc}	0.75±0.08 ^{abcd}	825.34±324.84 ^a
Q优雅占 QYY	12.20±1.48 ^a	24.84±0.97 ^{ab}	192.00±15.01 ^{abc}	0.71±0.02 ^{de}	867.25±139.09 ^a
五优华占 WH	10.20±2.28 ^a	22.76±0.85 ^{bcd}	186.80±24.82 ^{abc}	0.80±0.06 ^{abc}	717.54±155.79 ^a
五优雅占 WY	12.80±3.27 ^a	23.38±1.09 ^{bc}	174.00±36.14 ^{abc}	0.73±0.07 ^{bcd}	811.00±348.12 ^a
华占 HZ	11.80±2.49 ^a	21.90±2.07 ^{cde}	176.60±20.48 ^{abc}	0.75±0.06 ^{abcd}	734.77±264.53 ^a
雅占 YZ	12.00±2.45 ^a	21.70±1.42 ^{cde}	179.40±25.86 ^{abc}	0.75±0.05 ^{abcd}	725.33±127.17 ^a

表格中英文缩写为相对应的水稻品种,同列数据后的不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),相同小写字母差异不显著,下同

The abbreviations of the form in both Chinese and English are corresponding rice varieties, different lowercase letters after the data in the dame column indicate the significance of the different ($P<0.05$), the same lowercase letters in the same column indicate no significance, the same as below

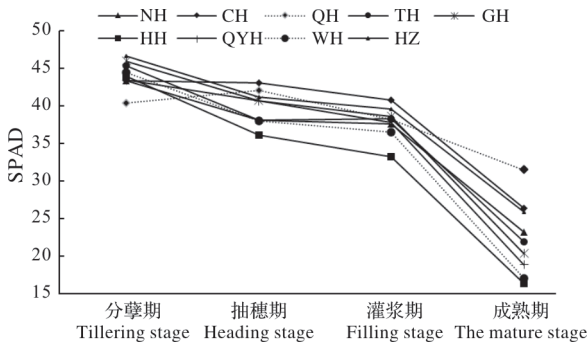


图 1 不同时期华占及其杂交组合剑叶 SPAD 值

Fig.1 SPAD values of Sword-leaves in different periods of Huazhan and its hybrid combination

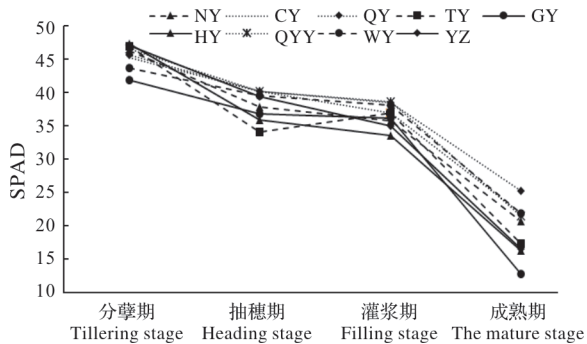


图 2 不同时期雅占及其杂交组合剑叶 SPAD 值

Fig.2 SPAD values of Sword-leaves in different periods of Yazhan and its hybrid combination

2.3 雅占、华占两恢复系及其杂交组合不同时期光合速率的差异性分析

由图 3、图 4 可知,大部分杂交组合的净光合速率随着生育期的推进而降低,部分组合呈现先增后减的趋势,少部分是按 U 型趋势变化。华占与雅占杂交组合两两之间对比可发现,华占系列杂交组合在抽穗时期的净光合速率普遍高于雅占系列杂交组合,但是分蘖期、灌浆期的净光合速率则普遍低于雅占系列杂交组合。说明雅占杂交组合增产的主要原因是灌浆期籽粒干物质积累的能力强于华占杂交组合,即具有“源”的优势。

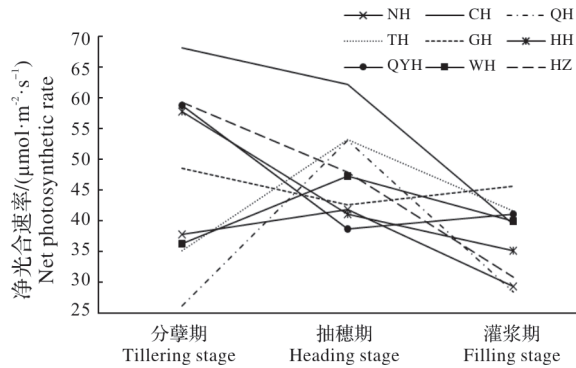


图 3 不同时期华占及其杂交组合净光合速率

Fig.3 Net photosynthetic rates of Huazhan and its hybrid combinations at different periods

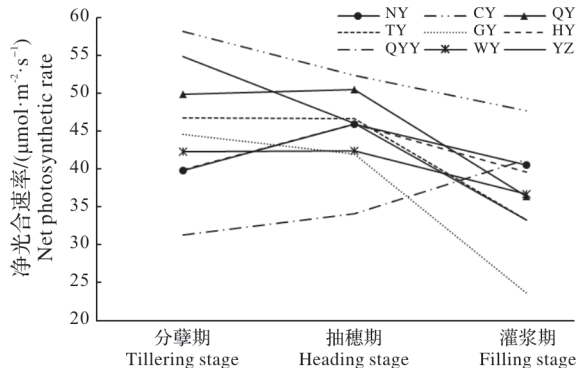


图 4 不同时期雅占及其杂交组合净光合速率

Fig.4 Net photosynthetic rates of Yazhan and its hybrid combinations at different periods

2.4 通径分析

2.4.1 产量构成因子对产量影响的通径系数 产量构成因子对产量影响的通径分析(表 2)表明,对华占系列杂交组合产量形成的影响作用由大到小依次是每穗粒数、单株有效穗数、结实率和千粒质量,穗长以及一次枝梗数对产量的影响为负作用,每穗粒数、单株有效穗数、千粒质量对于产量的影响有显著相关性;对雅占系列杂交组合产量的影响作用由大到小依次是单株有效穗数、千粒质量、每穗粒数、结实率和一次枝梗数,穗长对雅占及其杂交组合的影响是负作用,其中单株有效穗数、千粒质量与结实率与产量显著相关。穗长对雅占和华占系列杂交组合产量均有负作用,表明双季晚稻品种选育上过度追求长穗对产量的提高没有意义,在保障一定单株有效穗数(分蘖力)基础上,适当提高每穗粒数能够达到增产,同时兼顾结实率与千粒质量,在穗型方面以密粒穗代替长稀穗。

2.4.2 各时期叶绿素含量对产量影响的通径系数 抽穗时期的叶绿素含量对华占系列杂交组合的产量起重要作用,通径分析可看出,分蘖期的叶绿素含量对雅占系列杂交组合的产量起重要作用(表 3)。灌浆期与成熟期的叶绿素含量对 2 个系列的产量都呈现负作用。说明前期光合作用积累的同化物为之后的产量形成准备了条件,扩库了增容,积累了物质基础。此外,表 3 还表明,雅占系列杂交组合灌浆期与成熟期的叶绿素含量对产量的负面影响要小于华占系列杂交组合,说明灌浆期后叶片的贪青(推迟衰

老)对产量形成不利,水稻生育后期适当的落色(叶绿素降解)速度,即通常所说的适时转色对籽粒灌浆充实有一定的意义。

表 2 产量构成因子对产量影响的通径系数
Tab.2 Path coefficient of yield component factors on yield

影响因子 Impact factor	单株有效穗数 Effective panicles per plant	穗长/cm Panicle length	一次枝梗数 Numbers of primary branches	千粒质量/g 1 000-grain weight	每穗粒数 Grain number per panicle	结实率 Seed setting rate
华占系列杂交组合 Huazhan series hybrid combination	0.88*	-0.31	-0.59	1.09*	0.38	0.53*
雅占系列杂交组合 Yazhan series hybrid combination	0.96*	-0.02	0.12	0.78*	0.86*	0.53*

带“*”表示在 0.05 水平上显著
With “*” means significant at the level of 0.05

表 3 不同组合不同时期叶绿素含量对产量影响的通径系数
Tab.3 Path coefficients of chlorophyll content in different combinations and different periods on yield

影响因子 Impact factor	分蘖期 Tillering stage	抽穗期 Heading stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturing stage
华占系列杂交组合 Huazhan series hybrid combination	0.17	1.68*	-1.19	-0.71
雅占系列杂交组合 Yazhan series hybrid combination	0.33	0.086	-0.12	-0.16

3 讨 论

3.1 水稻库的大小与库容质量的协调对产量形成具有重要影响

水稻产量由单位面积有效穗数、每穗粒数、结实率以及千粒质量的乘积构成。实际生产上,单位面积有效穗数与每穗粒数体现库的大小,结实率与千粒质量表征库容的充实程度与质量。中国水稻遗传改良的趋势表明,水稻产量与库容量间正向关系密切,目前主要的高产品种均具有大库容量的特征^[18]。因而,如何提高库充实度是进一步提高大库容量品种产量的关键^[19-20]。在实际生产利用上一味地贪图库的大小,忽视了库容的质量会给水稻的产量造成负面影响,两者的协调并进对于产量的形成具有积极作用。本研究表明,8个雅占系列杂交组合有6个产量高于华占杂交组合,而在产量构成因子的通径系数分析中发现影响雅占杂交组合的前两大因子是有效穗数与千粒质量,而影响华占杂交组合产量的前两大因子则是每穗粒数与有效穗数。说明雅占杂交组合库容的质量是其产量高的主要原因,而华占产量主要由库的大小决定。前人发现超高产水稻的产量构成特征是在适应当地生态条件的足穗基础上培育更大的穗子,具有较多的单位面积总颖花数和较大的库容量^[21]。张强等^[22]发现半直立穗型品种有效穗数,每穗粒数与产量呈显著正相关,但通径分析结果表明,对产量直接正向作用的是有效穗数,每穗粒数对产量为负向作用,杜志喧等^[23]研究也证实了这一点。王志龙等^[24]研究发现千粒质量与产量呈极显著正相关,有效穗数与产量呈显著相关,每穗粒数与产量相关不显著;通径分析表明,千粒质量对产量的直接作用最大,其次是有效穗数,每穗粒数对产量的作用不明显,提高千粒质量和增加有效穗数是其高产的关键。这些结果与本试验的结果基本一致。说明,水稻品种库的大小与库容质量对产量形成均十分重要,要求在一定的库基础上,提高库容质量,两者并进才能保证产量的有效形成。

3.2 控制适时的光合指标利于水稻产量的形成

光合作用是自然界中最重要的反应,对于植物的同化物积累有着决定性的作用。水稻的籽粒充实主要由倒三叶功能叶的光合作用来提供同化物,水稻干物质的运转与分配影响着籽粒的饱满程度,原先

储存的非结构性同化物作为补充转运至籽粒中^[25-26],因此前期的干物质积累对产量的影响尤为重要^[27]。Huang等^[28]研究发现大库容品种经济系数较高的原因是水稻抽穗期与灌浆期的干物质分配到营养器官中的比例小于生殖器官。功能叶的早衰与否对籽粒的饱满度均有影响。通常,以叶片光合作用和相关参数为代表的源活性与籽粒灌浆过程或产量有关。Lee等^[29]研究发现叶片光合速率与叶绿素计值和叶片氮浓度呈正相关,提出水稻品种的保绿特性,在另一项研究中,他们证实了水稻上部叶片的延迟衰老和快速衰老与粮食产量的增加有关。本试验中发现华占杂交组合虽然有一定的持绿性,但是其后期的净光合速率并没有较好地保持,雅占杂交组合叶绿素的降解与净光合速率的降低表现同步,后期光合速率反而相对更高。各杂交组合千粒质量两两对比可发现,雅占杂交组合的千粒质量普遍高于华占杂交组合,推测认为是由于华占杂交组合的净光合速率下降的太快,源供应能力不足从而导致千粒质量较低。功能叶衰老过早,叶绿素含量降低,胞间CO₂浓度降低、净光合速率同步降低过快将导致籽粒灌浆不充分,千粒质量与结实率降低,继而严重影响产量;大穗品种水稻功能叶与籽粒不同步成熟,延迟衰老将出现二次灌浆的现象^[29],同样也会影响千粒质量与结实率。本研究表明,水稻抽穗期保证足够的功能叶叶绿素含量有助于建立适宜的群体库,灌浆期净光合速率得到保证能够有效的填充库,保证库的质量;当然,灌浆期后叶绿素的适速降解,叶色适时转黄对于籽粒充实也具有一定的意义。

参考文献 References:

- [1] 李双. 水稻恢复系雅占的遗传基础及配合力分析[D]. 南昌:江西农业大学, 2019.
LI S. Genetic basis and combination ability analysis of rice restorer Yazhan[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University, 2019.
- [2] 江西省2015年审定通过的水稻新品种[J]. 中国稻米, 2016, 22(2): 60, 64, 74, 77, 80, 88, 92.
New rice varieties approved by Jiangxi Province in 2015[J]. China rice, 2016, 22(2): 60, 64, 74, 77, 80, 88, 92.
- [3] 江西省2017年审定通过的水稻新品种[J]. 中国稻米, 2018, 24(1): 5, 10, 15, 27, 37.
New rice varieties approved by Jiangxi Province in 2017[J]. China rice, 2018, 24(1): 5, 10, 15, 27, 37.
- [4] 崔菁菁, 徐克章, 石晶皎, 等. 不同水稻品种库源的特征变化[J]. 植物学报, 2015, 50(6): 699-705.
CUI J J, XU K Z, SHI J Q, et al. Variation of sink source characteristics of different rice varieties[J]. Acta botany Sinica, 2015, 50(6): 699-705.
- [5] SHI W J, XIAO G, STRUIK P C, et al. Quantifying source-sink relationships of rice under high night-time temperature combined with two nitrogen levels[J]. Field crops research, 2017, 202(15): 36-46.
- [6] YANG W, PENG S B, DIONISIO-SESE M L, et al. Grain filling duration, a crucial determinant of genotypic variation of grain yield in field-grown tropical irrigated rice[J]. Field crops research, 2008, 105(3): 221-227.
- [7] Sheehy J E, Dionora M J A, Mitchell P L. Spikelet numbers, sink size and potential yield in rice[J]. Field crops research, 2001, 71(2): 77-85.
- [8] 董桂春, 居静, 李进前, 等. 不同穗型常规籼稻品种源库性状的差异[J]. 中国农业科学, 2009, 42(12): 4187-4196.
DONG G C, JU J, LI J Q, et al. Differences in source sink characters of Conventional Indica Rice Varieties with different panicle types[J]. Chinese journal of agricultural sciences, 2009, 42(12): 4187-4196.
- [9] 张亚芳, 陈宗祥, 娄丽娟, 等. 几个水稻品种源库关系分析[J]. 扬州大学学报(农业与生命科学版), 2011, 32(1): 6-9.
ZHANG Y F, CHEN Z X, LOU L J, et al. Analysis of source sink relationship of several rice varieties[J]. Journal of Yangzhou university (agricultural and life sciences edition), 2011, 32(1): 6-9.
- [10] 庄文锋, 杨文月, 王全芳, 等. 种植密度和施N时期对不同穗型水稻源库关系的影响[J]. 北方水稻, 2013, 43(2): 5-13.
ZHUANG W F, YANG W Y, WANG Q F, et al. Effects of planting density and N application period on source sink relationship of different panicle type rice[J]. Northern rice, 2013, 43(2): 5-13.
- [11] 冯跃华, 潘剑, 何腾兵, 等. 不同施氮水平对超级稻源库特性的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(15): 252-256.
FENG Y H, PAN J, HE T B, et al. Effects of different nitrogen application levels on source sink characteristics of super rice[J]. China agronomic bulletin, 2010, 26(15): 252-256.
- [12] 李健陵, 张晓艳, 杜尧东, 等. 高温对抽穗开花期至灌浆结实期水稻源库特性的影响[J]. 中国农业气象, 2013, 34(1): 23-29.
LI J L, ZHANG X Y, DU Y D, et al. Effects of high temperature on source sink characteristics of rice from heading and flowering stage to grain filling stage[J]. Agrometeorology of China, 2013, 34(1): 23-29.

- [13] ANDO T, FUJITA K, MAE T, et al. Plant nutrition for sustainable food production and environment [M]. Springer Netherlands, 1997.
- [14] 袁小乐, 潘晓华, 石庆华, 等. 超级早、晚稻品种的源库协调性[J]. 作物学报, 2009, 35(9): 1744-1748.
YUAN X L, PAN X H, SHI Q H, et al. Source sink coordination of super early and late rice varieties [J]. Acta crop Sinica, 2009, 35(9): 1744-1748.
- [15] NANDA R, BASTIA D N, NANDA A. Character association and path coefficient analysis for yield and its component traits in slender grain rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Electronic journal of plant breeding, 2019, 10(3): 963-969.
- [16] 黄金龙. 影响水稻产量的主要性状因素试验研究[J]. 北方水稻, 2020, 50(3): 38-40.
HUANG J L. Experimental study on main character factors affecting rice yield [J]. Northern rice, 2020, 50(3): 38-40.
- [17] 宋小园, 朱仲元, 刘艳伟, 等. 通径分析在SPSS逐步线性回归中的实现[J]. 干旱区研究, 2016, 33(1): 108-113.
SONG X Y, ZHU Z Y, LIU Y W, et al. Realization of path analysis in SPSS stepwise linear regression [J]. Arid area research, 2016, 33(1): 108-113.
- [18] 董桂春, 于小凤, 董燕萍, 等. 不同库容量类型常规籼稻品种氮素吸收与分配的差异[J]. 中国农业科学, 2009, 42(10): 3432-3441.
DONG G C, YU X F, DONG Y P, et al. Differences in nitrogen uptake and distribution of conventional indica rice varieties with different sink capacity types [J]. Chinese journal of agricultural sciences, 2009, 42(10): 3432-3441.
- [19] PENG S B, KHUSH G S, VIRK P, et al. Progress in ideotype breeding to increase rice yield potential [J]. Field crops research, 2008, 108(1): 32-38.
- [20] 杨建昌, 王朋, 刘立军, 等. 中籼水稻品种产量与株型演进特征研究[J]. 作物学报, 2006, 32(7): 949-955.
YANG J C, WANG P, LIU L J, et al. Study on evolution characteristics of yield and plant type of medium indica rice [J]. Acta crop Sinica, 2006, 32(7): 949-955.
- [21] 杨惠杰, 杨仁崔, 李义珍, 等. 水稻超高产品种的产量潜力及产量构成因素分析[J]. 福建农业学报, 2000, 15(3): 1-8.
YANG H J, YANG R C, LI Y Z, et al. Yield potential and yield components of super high yielding rice varieties [J]. Fujian agricultural journal, 2000, 15(3): 1-8.
- [22] 张强, 李自超, 吴长明, 等. 不同株穗型水稻超高品种产量构成因素分析[J]. 西南农业学报, 2005, 18(5): 518-521.
ZHANG Q, LI Z C, WU C M, et al. Analysis of yield components of super high rice varieties with different panicle types [J]. Southwest agricultural journal, 2005, 18(5): 518-521.
- [23] 杜志喧, 王建平, 黄州, 等. 水稻重组自交系群体农艺性状遗传变异及产量分析[J]. 江西农业大学学报, 2019, 41(3): 413-422.
DU Z X, WANG J P, HUANG Z, et al. Genetic variation of agronomic traits and yield analysis of recombinant inbred lines in rice [J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2019, 41(3): 413-422.
- [24] 王志龙, 乔祥梅, 王志伟, 等. 小麦新品种云麦73丰产性及产量构成因素分析[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(8): 25-27.
WANG Z L, QIAO X M, WANG Z W, et al. Analysis on high yield and yield components of new wheat variety Yunmai 73 [J]. Hubei agricultural science, 2018, 57(8): 25-27.
- [25] 毛依琦. 水稻籽粒灌浆过程中叶绿素降解对物质转运及产量的影响[D]. 扬州: 扬州大学, 2019.
MAO Y Q. Effects of chlorophyll degradation on material transport and yield during grain filling in rice [D]. Yangzhou: Yangzhou University, 2019.
- [26] 李国辉. 水稻茎鞘非结构性碳水化合物积累转运和颖果韧皮部卸载机理[D]. 武汉: 华中农业大学, 2018.
LI G H. Mechanism of accumulation and transportation of nonstructural carbohydrate in stem sheath and phloem unloading of Caryopsis in rice [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2018.
- [27] 王丰, 张国平, 白朴. 水稻源库关系评价体系研究进展与展望[J]. 中国水稻科学, 2005, 19(6): 556-560.
WANG F, ZHANG G P, BAI P. Achievement and prospects of research on evaluation of the relationship between source [J]. Chinese journal of rice science, 2005, 19(6): 556-560.
- [28] HUANG M, XIA B, ZOU Y B, et al. Improvement in super hybrid rice: a comparative study between super hybrid and inbred varieties [J]. Research on crops, 2012, 13(1): 1-10.
- [29] LEE B W, PARK J H. Genotypic difference in leaf senescence during grain filling and its relation to grain yield of rice [J]. Korean journal of crop science, 2003, 48(3): 224-231. .