

刘 杨,石春林,宣守丽,等. 不同生育期渍水寡照对小麦产量构成的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(10):124-127.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.10.030

# 不同生育期渍水寡照对小麦产量构成的影响

刘 杨,石春林,宣守丽,魏秀芳,骆宗强,侍永乐

(江苏省农业科学院农业经济与信息研究所/农业部长江下游平原农业环境重点实验室,江苏南京 210014)

**摘要:**连阴雨是长江中下游地区小麦生产面临的主要气象灾害,渍水(渍害)和寡照(阴害)2种胁迫作用,是造成该地区小麦减产的主要原因。为定量研究渍水和寡照及其协同作用对小麦产量构成的影响,本研究选取该地区常见的小麦品种宁麦13和扬麦13号,在拔节期和灌浆期,设置对照、渍水、寡照和渍水+寡照4种处理,以及3种不同胁迫持续时间(5、10、15 d)的盆栽试验,观测不同处理对小麦产量构成的影响。结果表明,未发生胁迫作用下,扬麦13号的产量高于宁麦13。拔节期宁麦13对渍水和寡照的耐受性要高于扬麦13号,灌浆期宁麦13和扬麦13号对渍水和寡照的耐受性相近。此外,拔节期不同胁迫对小麦造成的减产呈现为渍水>渍水+寡照>寡照,表明寡照在拔节期对渍水胁迫存在补偿作用,而灌浆期不同胁迫对小麦造成的减产呈现为渍水+寡照>渍水>寡照,表明灌浆期寡照对渍水胁迫存在叠加作用。结果表明,连阴雨造成小麦减产与小麦所处生育期有关,建立小麦生长模型渍害和阴害模块时,应考虑小麦所处生育期对其产量构成影响的差异。

**关键词:**冬小麦;渍水;寡照;产量构成

**中图分类号:** S512.104;S422 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)10-0124-03

长江中下游平原是全国冬小麦重要产地之一,但由于该地区多实行稻—麦轮作制度,前茬种植水稻往往导致土壤黏重、透气性和排水性差<sup>[1]</sup>。此外受季风气候影响,每年3—5月是江苏省(尤其是淮河以南地区)阴雨多发季节<sup>[2]</sup>,恰逢冬小麦关键生长期(返青拔节期、抽穗开花期以及灌浆乳熟期)<sup>[3]</sup>,是冬小麦渍害高发时期。土壤渍水后,土壤中的氧气含量快速下降<sup>[4]</sup>,影响根系生长和养分吸收<sup>[5]</sup>,降低茎秆氮磷钾的含量<sup>[6]</sup>,造成叶绿素分解、叶片生长停滞、气孔关闭<sup>[7-8]</sup>,进而导致光合作用的下降,灌浆时间缩短,从而影响小麦产量<sup>[9-10]</sup>,已引起学者们的广泛关注<sup>[11]</sup>。已有不少学者采用盆栽或小区试验的手段,研究不同生育期渍害对小麦产量构成的影响。范雪梅等在开花至成熟期开展的小区渍水试验表明,小麦灌浆期渍水加速旗叶衰老,导致灌浆速率和粒质量下降<sup>[12]</sup>。郑春芳等采用盆栽试验,研究花后渍水对小麦籽粒产量及蛋白质和淀粉积累与组分的影响,结果表明,花后渍水显著降低小麦花前贮藏氮素(花前贮藏干物质)转运量和花后同化氮素(花后同化物)输入籽粒量,从而导致小麦籽粒产量、蛋白质和淀粉产量显著降低<sup>[13]</sup>。

在实际连阴雨过程中,寡照(阴害)往往伴随渍害发生。与渍害类似,已有研究表明寡照减少辐射量,破坏叶片光合作用<sup>[14]</sup>、降低叶面积指数<sup>[15]</sup>,从而减少作物干物质积累和籽粒产量<sup>[16-17]</sup>。但也有研究表明,作物在寡照发生时往往存在补

偿机制,如增加倒三叶的光合速率<sup>[15]</sup>,增加营养器官中干物质向籽粒分配<sup>[18]</sup>等。因此寡照对产量的影响与寡照程度以及作物品种有关<sup>[18]</sup>。

虽然已有不少研究评估渍水和寡照对小麦产量构成的影响,但前人通常忽略连阴雨过程中渍害和寡照的协同作用,且未考虑在不同生育期渍害和寡照对小麦产量影响可能存在差异。因此本研究采取盆栽试验,选取江苏冬小麦主栽品种(宁麦13和扬麦13号),在拔节期和灌浆期进行不同持续时间的渍水、寡照及渍水+寡照试验模拟连阴雨对小麦的胁迫作用,研究不同胁迫对小麦产量构成的影响,为完善小麦生长模型做数据准备。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验设计

本试验于2013年11月至2014年5月在江苏省农业科学院试验场进行。供试品种为宁麦13和扬麦13号,播种期为11月5日。试验用钵为直径25 cm、高20 cm的塑料桶,每桶在底部钻取7个小孔(直径约1 cm)用于排除过量水分。盆栽用土取自江苏省农业科学院试验场表土(马肝土,质地为黏土,耕层土壤有机质13.70 g/kg,速效氮54.95 mg/kg,速效磷24.25 mg/kg,速效钾105.03 mg/kg,pH值7.84),每钵装风干土12 kg,用水沉实后播种。播种密度为每盆4穴,每穴3苗,于3叶期间苗,每穴保留1棵苗。采用常规施肥管理方法,小麦生长期施纯N 225 kg/hm<sup>2</sup>,基肥和追肥分配比例为6:4,60%的基肥于播种时施下(以复合肥形式),40%的追肥于拔节期施下(以尿素形式)。

胁迫处理分别于小麦拔节期(3月5日)和灌浆期(4月18日)开始,设置对照(常规水分管理和光照条件)、渍水(保持水层在土表1~2 cm)、寡照(覆盖遮阳网遮挡80%太阳辐射)和渍水+寡照(水层在土表1~2 cm,同时覆盖遮阳网遮

收稿日期:2015-11-03

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(编号:201203032);江苏省科技支撑计划(编号:BE2012391);江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(12)3055]。

作者简介:刘 杨(1986—),男,江西宜春人,博士,助理研究员,主要从事农业气象研究。E-mail:luisyang@126.com。

通信作者:石春林,博士,研究员,研究方向为农业气象与作物模型。E-mail:shicll@jaas.ac.cn。

挡 80% 太阳辐射) 4 个处理。各胁迫处理均设置 3 个持续时间, 分别为 5、10、15 d。每个处理保留 2 盆至小麦完熟, 单株收获, 测定小麦产量构成, 包括每株产量、每株穗数、每穗粒数, 并换算千粒质量。

1.2 数据分析

不同处理间采用 SPSS 16.0 软件进行方差分析, 均值的多重比较采用 LSD 检验,  $P < 0.05$  表示差异显著性。

2 结果与分析

2.1 拔节期连阴雨对小麦产量构成的影响

拔节期各胁迫处理对小麦穗数的影响均较小, 各处理与对照相比没有显著差异(表 1)。2 个品种的穗粒数在拔节期对寡照均不敏感, 不同持续时间胁迫与对照相比没有显著差异; 渍水胁迫 15 d 后, 宁麦 13 和扬麦 13 号穗粒数均显著下降。拔节期寡照胁迫下小麦千粒质量没有显著变化; 渍水及渍水 + 寡照胁迫下, 宁麦 13 千粒质量下降并不显著, 而扬麦 13 号无论渍水或渍水 + 寡照, 当胁迫时间达到一定程度时, 千粒质量均明显下降。

随着拔节期渍水时间的增加, 2 个品种小麦的产量均呈

下降的趋势(表 1)。渍水 15 d 后, 宁麦 13 和扬麦 13 号的每株产量分别为 9.57 g 和 9.40 g, 与对照(宁麦 13 和扬麦 13 号分别为 14.25 g 和 15.97 g)的差异达到显著水平。寡照和渍水 + 寡照对产量的影响与小麦品种有关, 宁麦 13 在寡照和渍水 + 寡照的胁迫下, 产量有所下降, 但均未达到显著水平, 而扬麦 13 号无论在寡照还是渍水 + 寡照的胁迫下, 产量下降都较为明显, 分别在 15 d 和 10 d 的处理后达到显著水平( $P < 0.05$ )。综合来看, 渍水对小麦产量的影响最大, 2 个品种的产量减少均达到显著水平, 同时也低于相同持续时间的渍水 + 寡照胁迫。此外, 虽然对照处理下扬麦 13 号产量高于宁麦 13, 但扬麦 13 号在不同胁迫处理下, 产量下降均达到显著水平, 且均值低于宁麦 13, 表明宁麦 13 在拔节期相比扬麦 13 号有较好的耐渍和耐阴能力。

综合来看, 拔节期 3 种胁迫造成小麦减产幅度呈现为渍水 > 渍水 + 寡照 > 寡照。寡照对小麦产量的影响最小。宁麦 13 仅渍水造成的减产达到显著水平, 主要是由于穗粒数下降。而扬麦 13 号在 3 种胁迫下均有不同程度的减产, 渍水造成的减产主要是因为穗粒数和千粒质量下降, 而寡照和渍水 + 寡照造成的减产的主要原因分别是穗粒数和千粒质量下降。

表 1 拔节期不同处理对小麦产量构成的影响

处理	持续时间 (d)	每株穗数		每穗穗粒数		千粒质量(g)		每株产量(g)	
		宁麦 13	扬麦 13 号	宁麦 13	扬麦 13 号	宁麦 13	扬麦 13 号	宁麦 13	扬麦 13 号
对照		7.00a	7.88a	47.48a	42.53a	42.51a	46.89a	14.25a	15.97a
渍水	5	6.75a	7.25a	41.63b	39.05ab	40.75a	43.60ab	11.49a	12.33ab
	10	7.00a	7.25a	44.25ab	41.69a	41.87a	43.67ab	12.77a	13.15ab
	15	6.63a	7.25a	40.47b	32.18b	36.39a	40.57b	9.57b	9.40b
寡照	5	6.75a	6.75a	42.39a	43.61a	42.39a	40.56a	12.42a	11.86ab
	10	7.50a	7.50a	46.18a	39.66a	46.18a	40.22a	12.91a	11.91ab
	15	7.50a	7.00a	44.27a	36.00a	44.27a	40.34a	14.98a	10.34b
渍水 + 寡照	5	7.50a	7.00a	41.03b	43.83a	41.91a	42.85ab	12.87a	12.67ab
	10	6.75a	6.63a	43.17ab	45.12a	45.19a	39.98b	13.13a	11.76b
	15	6.38a	6.38a	47.54a	42.40a	41.40a	42.99ab	12.59a	11.52b

注: 同列数据后不同小写字母代表在 5% 水平上差异显著。

2.2 灌浆期连阴雨对小麦产量构成的影响

灌浆期各胁迫处理对穗数和穗粒数的影响没有明显规律, 这主要是因为小麦在灌浆期已进入生殖生长后期, 穗数和穗粒数已基本固定, 因此灌浆期渍水、寡照及渍水 + 寡照的胁迫对穗数和穗粒数的影响较小。灌浆期各胁迫处理对千粒质量的影响最大, 随着胁迫时间增加, 千粒质量均出现不同程度下降(表 2)。当胁迫时间达到 15 d 时, 3 种胁迫下小麦千粒质量与对照相比, 均出现显著下降, 且千粒质量呈现为寡照 > 渍水 > 渍水 + 寡照。表明渍水比寡照对小麦千粒质量的影响更大, 而灌浆期寡照对渍水胁迫存在叠加作用。

2 个品种小麦的产量在灌浆期随渍水时间的增加呈下降的趋势, 且渍水 15 d 后, 宁麦 13 和扬麦 13 号的每株产量分别为 9.2 g 和 11.48 g, 显著低于对照。渍水 + 寡照在中短期造成的减产与渍水胁迫相近, 但 15 d 后的产量低于渍水(表 2)。

灌浆期 3 种胁迫对小麦均存在减产的作用, 且不同胁迫处理造成的减产程度呈现为渍水 + 寡照 > 渍水 > 寡照, 与对小麦千粒质量的影响一致, 表明灌浆期 3 种胁迫造成小麦减产, 且主要由小麦千粒质量下降导致。

3 讨论与结论

渍水胁迫在拔节期和灌浆期, 均造成小麦严重减产, 且减产程度随渍水的持续时间延长而加剧。渍水 15 d 后, 宁麦 13 和扬麦 13 号在 2 个生育期的减产可达 28% ~ 41%, 均达到显著水平( $P < 0.05$ ), 与前人研究<sup>[10]</sup>相近。但不同时期渍害减产的原因不同, 拔节期渍水对小麦穗粒数的影响较大, 渍水 15 d 后穗粒数均显著下降, 表明拔节期长期渍水影响小麦孕穗过程。此外拔节期渍水也不同程度降低小麦千粒质量, 这主要是因为渍水造成叶绿素分解, 叶片生长停滞, 导致光合作用下降<sup>[7-8]</sup>。小麦在灌浆期已进入生殖生长后期, 此时渍水对穗数和穗粒数没有明显影响, 主要是通过降低小麦千粒质量降低小麦产量。灌浆期渍水 15 d 后, 宁麦 13 和扬麦 13 号的千粒质量仅分别为 27.76、33.88 g, 低于对照(宁麦 13 和扬麦 13 号分别为 42.51、46.89 g)和拔节期的相同处理(宁麦 13 和扬麦 13 号分别为 36.39、40.57 g), 表明灌浆期渍水严重阻碍小麦灌浆过程。

随着气溶胶和大气污染物的增加, 寡照对作物生长的影响呈增大的态势。长期气象观测数据表明中国太阳辐射量每

表 2 灌浆期不同处理对小麦产量构成的影响

处理	持续时间 (d)	每株穗数		每穗穗粒数		千粒质量(g)		每株产量(g)	
		宁麦 13	扬麦 13 号	宁麦 13	扬麦 13 号	宁麦 13	扬麦 13 号	宁麦 13	扬麦 13 号
对照		7.00a	7.88a	47.48a	42.53a	42.51a	46.89a	14.25a	15.97a
渍水	5	7.83a	7.88a	40.83b	43.47a	39.32a	44.98ab	13.21a	14.83ab
	10	6.88a	8.25a	44.82ab	43.20a	40.48a	38.79bc	12.72a	13.65ab
	15	7.50a	7.50a	43.52ab	45.54a	27.76b	33.88c	9.20b	11.48b
寡照	5	8.13a	8.13a	43.02ab	43.10ab	43.85a	33.14b	15.79a	11.52ab
	10	8.33a	7.50a	38.88b	38.77b	33.90ab	33.27b	11.12ab	10.55b
	15	8.00a	7.63a	39.19b	48.12a	31.23b	37.09b	9.84b	13.57ab
渍水 + 寡照	5	7.63a	8.25a	46.35a	47.81a	37.70a	40.73b	13.14a	15.70a
	10	7.86a	8.14a	49.06a	44.39a	37.90a	30.14c	14.45a	10.65b
	15	7.88a	6.71a	44.12a	40.81a	19.04b	23.37d	6.60b	6.63b

注:同列数据后不同小写字母代表在 5% 水平上差异显著。  
10 年下降 2.5% ~ 2.7%<sup>[15]</sup>,寡照也成为制约长江下游小麦产量的因素之一<sup>[19]</sup>。本研究结果表明,寡照不同程度减小小麦产量,但不同生育期寡照对小麦产量的影响存在差异。拔节期寡照造成小麦减产幅度较小,而灌浆期寡照造成小麦减产幅度明显增大。这主要是因为拔节期寡照结束后,小麦恢复期较长( >60 d),因此拔节期寡照胁迫下的穗数、穗粒数和千粒质量与对照相比没有显著差异。而灌浆期寡照胁迫结束后,小麦恢复期较短( <30 d),导致小麦灌浆过程受阻且难以恢复,因此灌浆期寡照胁迫下千粒质量低于拔节期的相同处理。

在实际连阴雨过程中,渍水和寡照往往同时发生,单独设置渍水或寡照往往不能反映连阴雨对小麦产量的实际影响。通过设置渍水 + 寡照的协同试验,本研究的结果表明,不同生育期小麦对渍水 + 寡照胁迫的响应存在差异。拔节期渍水 + 寡照造成的减产幅度小于渍水,而灌浆期渍水 + 寡照造成的减产幅度大于渍水,表明寡照在拔节期对渍水胁迫存在补偿作用,在灌浆期存在叠加作用。渍水 + 寡照在不同生育期影响存在的差异,这可能与胁迫结束后的恢复过程有关。已有研究表明,作物耐渍机制与渍后恢复机制存在显著差异<sup>[20]</sup>。作物在寡照胁迫下,往往存在补偿机制,如增加底部叶片的叶面积和光合速率<sup>[15]</sup>,因此拔节期寡照对产量影响较小,且对渍害胁迫存在补偿作用。而灌浆期小麦底部叶片已进入衰老期,无法增加叶面积和光合速率,同时渍水胁迫加速小麦旗叶衰老<sup>[1]</sup>,因而灌浆期寡照对渍害胁迫存在叠加作用。此外,胁迫结束后恢复时间的长短进一步造成渍水 + 寡照在 2 个时期不同的产量影响,拔节期胁迫结束后小麦至收获的恢复期大于 60 d,而灌浆期胁迫结束后小麦恢复期小于 30 d,较短的恢复时间使得灌浆期渍水 + 寡照造成更严重的小麦减产。本研究结果表明小麦受胁迫后恢复期内生理特性的变化对小麦产量有重要影响,具体还有待进一步研究。

拔节期和灌浆期渍水、寡照和渍水 + 寡照 3 种胁迫均造成小麦不同程度的减产,且不同时期渍水 + 寡照对产量存在不同影响。拔节期渍水 + 寡照造成的减产低于渍水,而灌浆期渍水 + 寡照造成的减产大于渍水。表明寡照在拔节期对渍水存在补偿作用,而在灌浆期对渍水存在叠加作用,与小麦渍后恢复过程有关。目前的小麦作物模型中,用于建模的试验数据往往仅设置渍水处理,难以全面评价连阴雨对小麦产量的影响,而本研究的结果可对模型的这一问题提供订正依据。

参考文献:

[1]姜 东,陶勤南,张国平. 渍水对小麦扬麦 5 号旗叶和根系衰老的影响[J]. 应用生态学报,2002,13(11):1519-1521.  
[2]石春林,金之庆. 基于 WCSODS 的小麦渍害模型及其在灾害预警上的应用[J]. 应用气象学报,2003,14(4):462-468.  
[3]金之庆,石春林. 江淮平原小麦渍害预警系统(WWWS)[J]. 作物学报,2006,32(10):1458-1465.  
[4]Malik A I, Colmer T D, Lambers H, et al. Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat[J]. New Phytologist,2002,153(2):225-236.  
[5]Gibbs J, Greenway H. Review: mechanisms of anoxia tolerance in plants. I. Growth, survival and anaerobic catabolism[J]. Functional Plant Biology,2003,30(1):1-47.  
[6]Sharma D, Swarup A. Effects of short-term flooding on growth, yield and mineral composition of wheat on sodic soil under field conditions[J]. Plant and Soil,1988,107(1):137-143.  
[7]Lin K R, Weng C C, Lo H F, et al. Study of the root antioxidative system of tomatoes and eggplants under waterlogged conditions[J]. Plant Science,2004,167(2):355-365.  
[8]Tezara W, Mitchell V J, Driscoll S D, et al. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP[J]. Nature,1999,401(6756):914-917.  
[9]Dickin E, Wright D. The effects of winter waterlogging and summer drought on the growth and yield of winter wheat (*Triticum aestivum* L.)[J]. European Journal of Agronomy,2008,28(3):234-244.  
[10]Araki H, Hamada A, Hossain M A, et al. Waterlogging at jointing and/or after anthesis in wheat induces early leaf senescence and impairs grain filling[J]. Field Crops Research,2012,137(3):27-36.  
[11]吴洪颜,高 苹,徐为根,等. 江苏省冬小麦湿渍害的风险区划[J]. 生态学报,2012,32(6):1871-1879.  
[12]范雪梅,姜 东,戴延波,等. 花后干旱和渍水下氮素供应对小麦旗叶衰老和粒重的影响[J]. 土壤学报,2006,42(5):875-879.  
[13]郑春芳,姜 东,戴延波,等. 花后盐与渍水逆境对小麦籽粒产量及蛋白质和淀粉积累的影响[J]. 应用生态学报,2009,20(10):2391-2398.  
[14]Wang Z, Yin Y, He M, et al. Allocation of photosynthates and grain growth of two wheat cultivars with different potential grain growth in response to pre- and post-anthesis shading[J]. Journal of Agronomy and Crop Science,2003,189(5):280-285.

蒋苑,刘莉,吕春芳,等. 水稻叶色突变体 812HS 蛋白质复合物和叶绿素合成特性的研究[J]. 江苏农业科学,2016,44(10):127-131.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.10.031

# 水稻叶色突变体 812HS 蛋白质复合物和叶绿素合成特性的研究

蒋苑<sup>1</sup>, 刘莉<sup>1</sup>, 吕春芳<sup>1</sup>, 陈国祥<sup>1</sup>, 高志萍<sup>1</sup>, 吕川根<sup>2</sup>

(1. 南京师范大学生命科学学院植物资源与环境研究所, 江苏南京 210023; 2. 江苏省农业科学院粮食作物研究所, 江苏南京 210014)

**摘要:**以水稻叶色突变体 812HS 与野生型 812S 为材料, 利用蓝绿温和胶电泳技术和生理方法对叶尖端类囊体膜蛋白质复合物含量以及叶绿素合成前体物质进行了比较。结果表明, 和野生型 812S 相比, 水稻叶色突变体 812HS 在分蘖盛期叶绿素含量开始明显减少, 叶绿素 a/叶绿素 b 比值增加, 突变体的类囊体膜蛋白质复合物如光系统 II 捕光色素蛋白(LHC II)含量、光系统 I 核心复合体(PS I core)含量和 F<sub>1</sub>-ATP 合酶复合体和细胞色素 b<sub>6</sub>/f 复合体(F<sub>1</sub>-ATPase&Cy tb<sub>6</sub>/f)含量显著减少。突变体 812HS 叶片叶绿素合成代谢中间产物 5-氨基酮戊酸(ALA)、胆色素原(PBG)、尿卟啉原Ⅲ(Urogen Ⅲ)含量均显著高于野生型 812S, 而原卟啉Ⅸ(ProtoⅨ)、镁原卟啉Ⅸ(Mg-ProtoⅨ)、原脱植基叶绿素(Pchlide)、Chla、Chlb 含量却显著低于野生型 812S。即水稻叶色突变体 812HS 的叶绿素含量明显减少, 一方面是由于囊体膜蛋白质复合物的减少影响了其对光的吸收和传递; 另一方面通过测定叶绿素合成的前体物质初步认为是由于叶绿素合成过程中 Urogen Ⅲ到 ProtoⅨ合成过程受阻所致。

**关键词:**水稻叶色突变体 812HS; 类囊体膜蛋白质复合物; 叶绿素前体合成物质; 水稻

**中图分类号:** S511.01 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)10-0127-05

绿色植物吸收光能同化二氧化碳和水, 制造有机物质并释放氧气的过程称为光合作用。植物通过光合作用将光能转变为化学能储藏在有机物中, 叶绿素作为光合作用的重要色素, 它的功能不仅是构成光系统及光系统反应中心<sup>[1]</sup>, 吸收大量光能<sup>[2]</sup>, 也是大多数植物叶片呈现绿色的主要原因, 因此它对植物的生长及农作物产量具有极其重要的作用。正常叶色是植物长期进化的结果, 而叶色突变也是植物界中发生频率相对较高的一种突变类型, 在 20 世纪初就已经有关于叶

色突变体的报道<sup>[3]</sup>。目前已经在多个植物中获得了叶色突变体, 如水稻<sup>[4]</sup>、小麦<sup>[5]</sup>、烟草<sup>[6]</sup>、玉米<sup>[7]</sup>等。叶色突变体有着极为重要的作用, 在育种工作中, 叶绿素突变体既可以作为标记性状进行杂交生产<sup>[8]</sup>, 又可以作为特殊的优良性状提供资源<sup>[9]</sup>, 在基础研究工作中, 叶色突变体是研究植物光形态建成<sup>[10]</sup>、植物激素生理<sup>[11]</sup>、光合作用<sup>[12]</sup>等研究的理想材料。

水稻叶色突变类型是叶色突变体中比较丰富的一种, 主要特征是其叶色表型发生了变异, 表现为不正常的绿色, 如白化、黄化、黄叶尖、斑马叶等。其产生方法除了自发突变外, 其他突变来源主要为物理化学诱变<sup>[13]</sup>、T-DNA 插入突变<sup>[14]</sup>和转座子插入突变<sup>[15]</sup>。水稻叶色突变类体的突变基因遍及水稻整个基因组中, 据不完全统计, 已定位的叶色突变基因有 70 多个<sup>[16]</sup>。随着分子生物学的快速发展, 对于水稻叶色突变相关基因的克隆也逐渐成为国内外研究的热点, 如编码高等植物的叶绿素合成途径中酶的基因已经被全部克隆<sup>[17]</sup>。

本研究所用的水稻叶色突变体 812HS 是籼稻两用不育系水稻 812S 的一个自然突变体, 该突变体 812HS 在秧苗期叶片正常绿色, 分蘖盛期一拔节期, 特别是梅雨期过后, 叶片

收稿日期: 2015-10-08

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 31271621); 江苏省普通高校自然科学基金计划(编号: 14KJB180011); 江苏高校优势学科建设工程(编号: PAPD); 江苏省自然科学基金(编号: BK20140916); 江苏省现代作物生产协同创新中心资助。

作者简介: 蒋苑(1992—), 女, 江苏徐州人, 硕士研究生, 主要从事植物光合生理生化研究。E-mail: jiangyuan\_2016@163.com。

通信作者: 高志萍, 女, 博士, 讲师, 主要从事植物光合生理生化研究。E-mail: ketty.gao@gmail.com。

[15] Mu H, Jiang D, Wollenweber B, et al. Long-term low radiation decreases leaf photosynthesis, photochemical efficiency and grain yield in winter wheat[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2010, 196(1): 38-47.

[16] Abbate P E, Andrade F H, Culot J P, et al. Grain yield in wheat: effects of radiation during spike growth period[J]. Field Crops Research, 1997, 54(2): 245-257.

[17] Slafer G, Calderini D, Miralles D, et al. Preanthesis shading effects on the number of grains of three bread wheat cultivars of different potential number of grains[J]. Field Crops Research, 1994, 36(1):

31-39.

[18] Li H W, Jiang D, Wollenweber B, et al. Effects of shading on morphology, physiology and grain yield of winter wheat[J]. European Journal of Agronomy, 2010, 33(4): 267-275.

[19] 金之庆, 石春林, 葛道阔, 等. 长江下游平原小麦生长季气候变化特点及小麦发展方向[J]. 江苏农业学报, 2001, 17(4): 193-199.

[20] Setter T L, Waters I. Review of prospects for germplasm improvement for waterlogging tolerance in wheat, barley and oats[J]. Plant and Soil, 2003, 253(1): 1-34.