

## 专栏:粮食安全生产

【特约主持人】茹振钢:国家科技进步一等奖获得者

【主持人按语】水稻、玉米和小麦是我国最重要的三大口粮作物,是国家粮食安全的基础.全球气候变暖和极端天气的发生严重威胁全球粮食生产.光合作用是作物产量形成的重要物质基础,高光效生理育种是进一步大幅提高单产的重要途径之一.目前小麦高产品种的光能利用率为1%~1.5%,玉米为C4作物,光合效率高于小麦.光合作用易受外界因素影响,提高光合效率面临诸多挑战.弱光下光合速率显著降低,光合物质积累和运转受到严重抑制.干旱胁迫抑制作物叶片的光合作用.因此,在高光效育种过程中,如何提高光合效率并转化为实际产量已成为育种家和理论工作者急需解决的问题.同时,因长期过量施肥导致的农田土壤酸化是影响产量的一个重要因素.在酸化稻田中,固氮蓝藻影响土壤微生物群落结构与功能,但其机制尚不清楚.本专栏围绕粮食安全生产进行探讨,其中两篇文章分析了高光效育种和干旱胁迫对光合作用的影响,并对其育种应用进行了讨论.另一篇文章解析了固氮菌对酸化土壤微生物群落结构和功能以及对产量的影响,为粮食安全生产和育种应用提供了新的视角.期待本专栏能够从粮食生产的方法创新、理论解析、影响因素等方面为国家粮食安全相关领域的研究者提供参考.

# 小麦育种中弱光和红光利用改良的探索

王玉泉<sup>1</sup>,杨紫君<sup>1</sup>,赵丽敏<sup>1</sup>,冯素伟<sup>1</sup>,丁位华<sup>1</sup>,  
金立桥<sup>1</sup>,李淦<sup>1</sup>,王昱浩<sup>2</sup>,茹振钢<sup>1</sup>

(1.河南科技学院 河南省杂交小麦重点实验室;生命科技学院,河南 新乡 453003;

2.沈丘县农业农村局,河南 沈丘 466300)

**摘要:**高光效育种是提高小麦单产的重要途径,弱光和红光利用是小麦光能利用改良的核心内容之一.研究基于新乡地区的光照条件,分析了百农矮抗58、百农4199、百农160、周麦22等不同小麦品种越冬期和灌浆期的光照强度,检测了苗期的叶色,并在灌浆初期和中期利用红光及蓝光照射叶色不同的品种,检测了光合效率,分析了不同品种的叶绿素a与叶绿素b的比值.结果表明小麦越冬期光照强度显著低于灌浆期,可见光7种光质中,红光比例最高且上午(7:00-9:00)和下午(17:00-19:00)比例增加.苗期百农160和百农4199叶色最深,宝丰7228颜色最浅,差异极显著.红光处理的小麦旗叶光合效率高于蓝光,百农4199的光合效率均显著高于矮早781和宝丰7228,但叶绿素a与叶绿素b的比值显著低于矮早781和宝丰7228,蓝光下不同品种旗叶光合效率和叶绿素a与叶绿素b的比值差异不显著.

**关键词:**光照强度,高光效,弱光,光质,叶绿素

**中图分类号:**Q945.1

**文献标志码:**A

收稿日期:2022-04-24;修回日期:2022-06-28.

基金项目:国家重大科技专项(2020ZX08009-08B);河南省科技攻关项目(212102110053).

作者简介:王玉泉(1983-),男,河南鹿邑人,河南科技学院讲师,博士,研究方向为小麦遗传育种,E-mail:wyq315705686@126.com.

通信作者:茹振钢(1958-),男,河南沁阳人,河南科技学院教授,研究方向为小麦遗传育种,E-mail:rzgh58@163.com.

光合作用是作物产量的基础,提高光合利用率是提高小麦产量的有效途径.自 20 世纪 60 年代以来,高光效育种一直是生理学家和育种家关注的焦点<sup>[1-2]</sup>,其核心是提高光能利用效率<sup>[3]</sup>.光照强度显著影响光合速率<sup>[4]</sup>,不同作物及同一作物不同品种间光合效率存在差异,为高光效育种资源筛选提供了可能<sup>[5]</sup>.小麦从播种到收获的整个生长发育过程易受弱光影响,如灌浆期光照强度下降,旗叶光合速率显著降低,光合物质积累和运转受到严重抑制<sup>[6]</sup>,导致小麦产量下降,品质降低<sup>[7-10]</sup>.植物光合作用不仅受光照强度的制约,而且受光质及其比例的影响<sup>[11-14]</sup>.植物光合作用仅能利用红光和蓝紫光,叶绿素是植物进行光合作用的主要色素,其含量显著受不同光质影响.近年来研究发现,红蓝组合光更有利于植物生长,增加红光比例更有利于净光合速率的提升,而增加蓝光则光合速率下降<sup>[15-17]</sup>.因此,在小麦育种中,提高小麦弱光和红光利用能力是高光效育种的核心内容.

提高作物的光合效率被认为是大幅度提高单产的有效途径.在对小麦的研究中,光照强度及不同光质与光合作用的关系已被广泛报道<sup>[18-21]</sup>.弱光光照时间占据小麦全生育期 2/3 以上,对小麦生物量及产量形成发挥关键作用,而弱光在小麦育种中的应用进展较慢.本研究立足新乡地区小麦生长发育关键时期的光照强度及可见光光质组成,在小麦育种中对弱光和红光的利用进行了探讨,以为小麦高光效育种提供思路.

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

本研究所用试验材料为百农 160、百农 4199、百农 AK58、周麦 18、高光 3709、宝丰 7228、矮早 781,其中百农 160、百农 AK58 和高光 3709 为百农 4199 的亲本,周麦 18 为河南和国家试验对照,百农 4199、百农 AK58、宝丰 7228 和矮早 781 均为河南省推广面积较大的品种,也是不同时期的代表性品种,百农 160 和高光 3709 为百农 4199 亲本.所有材料均由河南科技学院小麦中心提供.供试材料于 2019 年和 2020 年种植在河南科技学院朗公庙试验基地,每个品种种植 4 行,行长 4 m,每行 60 粒,正常大田管理.

### 1.2 光照测定

可见光照强度及光质测定采用手持式光谱分析仪(台湾海博特股份有限公司,HR-350)进行测定.2021 年选取小麦越冬期和灌浆期天气晴朗日期进行可见光光照强度测定,光质波长范围内总光子数之和为光照强度,测定地点为新乡(113°55'E,35°18'N).

### 1.3 光合速率测定

采用便携式光合仪(美国, Li-6400)测定小麦光合速率,红光和蓝光处理采用 LED 光源(瑞士, Heliospectra RX30).2019 年和 2020 年分别选取小麦灌浆初期和灌浆中期进行红光和蓝光光质处理并测定光合速率.光质处理在大田进行,为避免可见光干扰,将待测材料覆盖 1 h 后开启红光,分别在处理 1 h 和 2 h 后选取高度相近的旗叶测定其光合速率,之后将测定叶片取下放入液氮,分析其叶绿素含量变化,蓝光处理与红光处理相同,每个品种 5 次重复.

### 1.4 叶绿素含量、叶片颜色测定与数据处理

叶绿素提取采用丙酮浸提法,之后利用分光光度计测定 663 nm,645 nm 该波长下叶绿素溶液的吸光度,叶绿素含量计算参照文献<sup>[18]</sup>.采用分光测色仪(杭州彩谱科技有限公司,CS-582A)在 2020 年灌浆初期进行叶片颜色测定,每个品种 5 次重复.数据差异性显著分析采用 SPSS 21.

## 2 试验结果

### 2.1 小麦不同生育期可见光光质强度变化

小麦越冬期和灌浆期可见光光照强度测定发现,越冬期光照强度为  $9\ 696\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ,灌浆期为  $19\ 195\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ,越冬期光照强度显著低于灌浆期.越冬期和灌浆期可见光 7 种光质中,红光光照强度最高,紫光最弱(图 1).

越冬期和灌浆期红光在不同光质中比例最高,紫光最低,红光比例最高且上午(7:00—9:00)和下午(17:00—19:00)比例增加.红光越冬期变化幅度为 46.8%~67.3%,大于越冬期变化幅度(42.2%~52.9%)

见图 2。

可见光不同光质日变化表明,红光比例最大且不同光质强度均在中午1点达到顶峰(图 3)。因此,可见光 7 种光质中,红光最强,所占比例最大,且早上和晚上比例稍增加。

### 2.2 不同品种叶片颜色分析

叶片颜色测定结果表明,5 个品种中,百农 160 颜色最深,测定值为 -9.28,其次为百农 4199,测定值为 -9.62,宝丰 7228 颜色最浅,为 -10.76 (表 1)。不同品种叶片颜色差异性分析表明百农 160 和百农 4199 与周麦 18、宝丰、矮早 781 间差异达极显著水平,而百农 160 和百农 4199 间差异不显著。

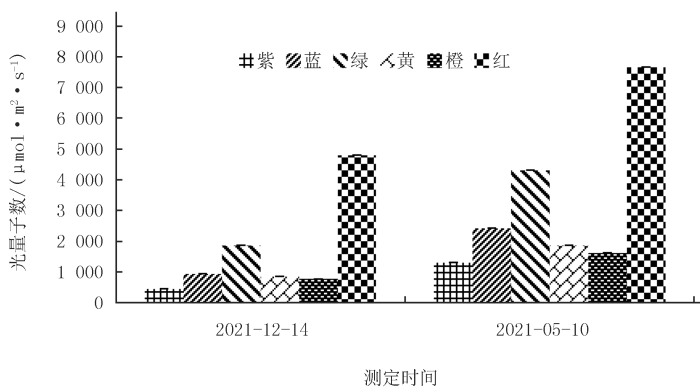


图1 不同时间光质强度测定

Fig.1 Measurement of light intensity at different time

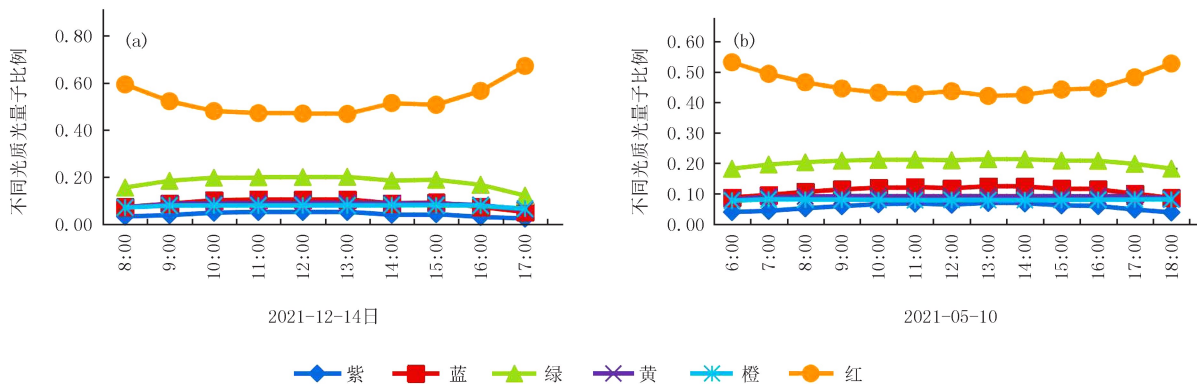


图2 可见光不同光质比例日变化

Fig.2 Ratios of different light quality at different time

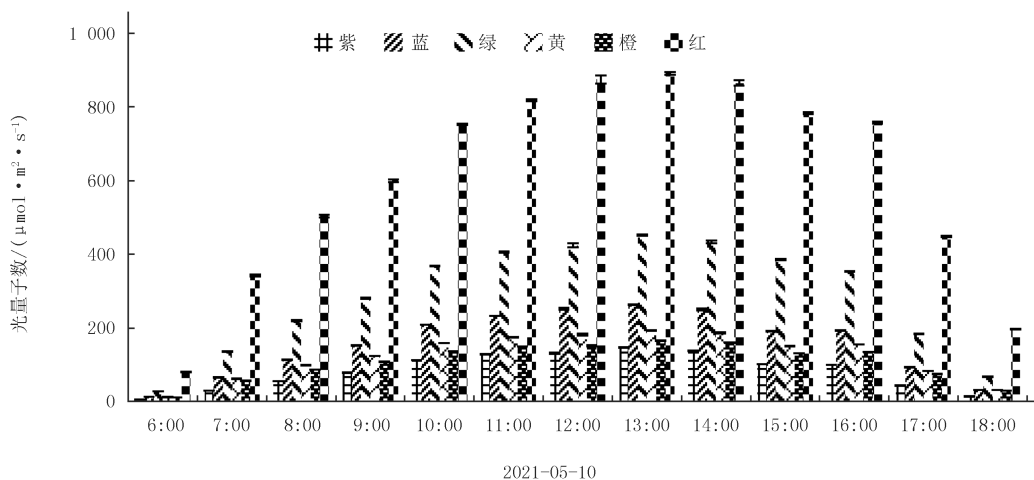


图3 可见光不同光质强度日变化

Fig.3 Variation of different light intensity

表 1 不同品种越冬期叶片颜色

Tab. 1 Leaf color of different varieties in winter

品种	重复	平均值±标准误	最小值	最大值
百农 160	5	-9.28±0.12aA	-9.03	-9.46
百农 4199	5	-9.62±0.09aA	-9.44	-9.78
周麦 18	5	-10.64±0.03bB	-10.59	-10.72
矮早 781	5	-10.50±0.21bB	-10.03	-10.52
宝丰 7228	5	-10.76±0.29bB	-10.28	-11.38

注:小写字母表示显著性  $P < 0.05$ ,大写字母表示显著性  $P < 0.01$ ,下表同.

### 2.3 红光和蓝光处理下的光合速率

不同光质处理下的下光合速率测定结果表明,无论灌浆初期还是中期,不同光质处理下,品种间光合效率测定存在差异.综合来看,红光下的光合效率高于蓝光下的光合效率,不同品种间,红光处理下百农 4199 灌浆初期和灌浆中期的光合效率均显著高于矮早 781 和宝丰 7228(表 2).蓝光处理 1 h 和 2 h 时,百农 4199 的光合效率均高于矮早 781 和宝丰 7228,但差异不显著.灌浆期百农 4199 旗叶颜色显著较 781 和宝丰 7228 浓绿,差异极显著(表 3).

表 2 红光和蓝光处理下不同品种的光合效率

Tab. 2 Photosynthetic efficiency of different varieties under red and blue light ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ )

处理 时间	品 种	红光处理				蓝光处理			
		灌浆初期	灌浆中期	灌浆初期	灌浆中期	灌浆初期	灌浆中期	灌浆初期	灌浆中期
		2019-05-08	2019-05-17	2020-04-29	2020-05-13	2019-05-08	2019-05-17	2020-04-29	2020-05-13
1 h	百农 4199	23.29±0.30aA	21.97±0.63aA	12.03±0.43aA	7.93±0.24aA	11.99±0.34a	8.27±0.33aA	6.98±0.31aA	6.29±0.21a
	矮早 781	16.27±0.45bB	18.35±0.33bB	10.51±0.45bB	5.49±0.21bB	11.29±0.23a	8.02±0.27aA	4.73±0.20bB	6.06±0.25a
	宝丰 7228	17.79±0.85bB	14.66±0.21cC	10.65±0.33bB	4.89±0.18bB	11.53±0.21a	6.30±0.22bA	4.27±0.23bB	6.44±0.12a
2 h	百农 4199	25.38±0.45aA	16.63±0.40a	10.62±0.30aA	11.96±0.33aA	10.70±0.04a	8.20±0.33a	8.44±0.33a	8.05±0.06aA
	矮早 781	16.96±0.51bB	16.75±0.33a	8.16±0.33bB	6.90±0.30bB	10.58±0.15a	7.63±0.32a	7.30±0.21a	4.70±0.18bB
	宝丰 7228	15.15±0.48bB	17.24±0.21a	7.07±0.37bB	8.72±0.35bcB	10.27±0.61a	8.06±0.54a	7.31±0.21a	7.07±0.26cAC

表 3 不同品种灌浆期旗叶颜色

Tab. 3 Flag leaf color of different varieties at grain filling stage

品种	重复	平均值±标准误	最小值	最大值
百农 4199	5	-9.66±0.17aA	-9.22	-10.18
矮早 781	5	-12.15±0.20bB	-11.58	-12.65
宝丰 7228	5	-11.51±0.40bB	-10.40	-12.53

### 2.4 不同光质处理的叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值变化

在进行红光和蓝光处理时,同时分析了旗叶叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值变化,结果表明灌浆初期红光处理 1 h 和 2 h 时,百农 4199 旗叶叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值分别为 2019 年为 1.64 和 1.79,2020 年为 1.37 和 1.38,两年均显著低于矮早 781(2019 年为 1.83 和 1.85,2020 年为 1.61 和 1.71)和宝丰 7228(2019 年为 1.88 和 1.87,2020 年为 1.69 和 1.73)(表 4).蓝光处理 1 h 和 2 h 时,百农 4199 旗叶叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值均低于矮早 781 和宝丰 728,但差异不显著.

表 4 红光和蓝光处理下不同品种的叶绿素 *a* 与叶绿素 *b* 的比值Tab. 4 The ratio of chlorophyll *a* to chlorophyll *b* of different varieties under red and blue light

处理 时间	品 种	红光处理				蓝光处理			
		灌浆初期	灌浆中期	灌浆初期	灌浆中期	灌浆初期	灌浆中期	灌浆初期	灌浆中期
		2019-05-08	2019-05-17	2020-04-29	2020-05-13	2019-05-08	2019-05-17	2020-04-29	2020-05-13
1 h	百农 4199	1.64aA	1.65aA	1.37aA	1.47aA	1.86a	1.76a	1.66a	1.74a
	矮早 781	1.83bA	1.70bA	1.61bA	1.70bA	1.89a	1.76a	1.59a	1.80a
	宝丰 7228	1.88bA	1.73bA	1.69bA	1.76bA	1.88a	1.79a	1.73a	1.76a
2 h	百农 4199	1.79aA	1.71a	1.38aA	1.66aA	1.71aA	1.75a	1.64a	1.78a
	矮早 781	1.85bA	1.72a	1.71bA	1.76bA	1.83abA	1.78a	1.52a	1.61a
	宝丰 7228	1.87bA	1.72a	1.73bA	1.76abA	1.87bA	1.81a	1.75a	1.74a

### 3 讨 论

光照强度影响植物光合效率.弱光光照时间占据小麦全生育期 2/3 以上,是影响小麦产量和品质的重要因子<sup>[7-8]</sup>.不同生育时期光照强度分析显示越冬期光照强度显著弱于灌浆期(图 1,图 2).苗期光照弱,小苗弱光利用能力差导致苗小、苗弱、生物量小,不利于后期发育及产量的提高,因此提高小麦苗期的弱光利用能力是弱光遗传改良的重要内容.小麦品种矮抗 58、周麦 18、百农 207、百农 4199、周麦 22、周麦 16、中麦 895 等均为河南省推广面积比较大的品种,对这些品种苗期特性的分析表明 50% 以上的品种叶色较深,冬前生物量较大,推测大品种的弱光利用能力较强,积累了较多的光合产物,有助于安全越冬,表明提升小麦苗期的耐弱光能力已经成为育种家的共识<sup>[22]</sup>.7 种光质比例日变化表明不论是在小麦越冬期还是灌浆期,红光在可见光中比例均最大,且早上和下午比例上升.3 个品种在红光和蓝光处理 1 h 和 2 h 的光合效率检测结果表明,红光的光合效率高于蓝光.因此,改良小麦品种耐弱光能力,提升红光利用效率是小麦高光合育种的重要方向之一.

叶色深反映了植物耐弱光能力强<sup>[23]</sup>.本研究使用的 5 个材料中,百农 160 和百农 4199 叶片颜色最深,与另外 3 个品种差异极显著,表明百农 4199 继承了百农 160 叶片颜色的遗传特征(表 2).已有研究表明百农 160 和百农 4199 不同发育时期光合效显著高于百农 AK58,光合效率日变化也表明早上和下午百农 160 和百农 4199 光合效率显著高于其他品种<sup>[24]</sup>.红光和蓝光光质处理不同时间的光合效率测定表明,灌浆初期百农 4199 红光处理下的光合效率显著高于矮早 781 和宝丰 7228(表 4),而其颜色显著比矮早 781 和宝丰 7228 浓绿(表 3),表明光合效率与旗叶颜色深浅具有一致性.叶绿素 *b* 是捕光天线复合体(light-harvesting complex, LHC)的重要组成部分,研究发现,当植物生长在弱光下时,叶绿素 *b* 的合成加快,天线大小也随之增大<sup>[25-26]</sup>,弱光下,叶绿素 *b* 含量升高且其比值降低是植物利用弱光能力强的判断指标.百农 4199 红光处理的叶绿素 *a* 与叶绿素 *b* 的比值显著低于矮早 781 和宝丰 7228,而其光合效率显著高于矮早 781 和宝丰 7228,表明百农 4199 耐弱光的能力较强,此可能与其旗叶颜色较深有关.

综上,依据新乡本地光照特点及不同光质的光合效率差异,以提高小麦耐弱光和耐强光能力为重点,将叶片颜色和叶绿素 *a* 与叶绿素 *b* 的比值作为高光效育种的选择依据,培育了高光效小麦新品种百农 4199.研究结果显示,百农 4199 光补偿点低,饱和点高,不同发育时期光合效率显著高于对照品种周麦 18 和矮抗 58,产量较周麦 18 增产 6.2%,且灌浆速率快,籽粒品质超国家 1 级麦标准,表明百农 4199 弱光利用能力和红光的光合效率获得较大的提升,为小麦高光效育种提供了新的思路<sup>[24]</sup>.在育种实践中,通过百农 4199 弱光和红光利用能力的探索,将叶片颜色深,叶绿素 *a* 与叶绿素 *b* 的比值作为高光效选择的依据亦是可行的,为育种家提供了简单有效的田间选择依据.

### 参 考 文 献

[1] BLACK C C. Photosynthetic carbon fixation in relation to net CO<sub>2</sub> uptake[J]. Annual Review of Plant Physiology, 1973, 24: 253-286.

- [2] 茹振钢,冯素伟,李淦,黄淮麦区小麦品种的高产潜力与实现途径[J].中国农业科学,2015,48(17):3388-3393.  
RU Z G,FENG S W,LI G.High-yield potential and effective ways of wheat in yellow & Huai River valley facultative winter wheat region [J].Scientia Agricultura Sinica,2015,48(17):3388-3393.
- [3] 刘振业,刘贞琦.光合作用的遗传与育种[M].贵阳:贵州人民出版社,1984.
- [4] MONOSTORI I,HEILMANN M,KOCSY G,et al.LED lighting-modification of growth,metabolism,yield and flour composition in wheat by spectral quality and intensity[J].Frontiers in Plant Science,2018,9:605.
- [5] ZELITCH I.Improving the efficiency of photosynthesis[J].Science,1975,188(4188):626-633.
- [6] 刘霞,尹燕桦,姜春明,等.花后不同时期弱光和高温胁迫对小麦旗叶荧光特性及籽粒灌浆进程的影响[J].应用生态学报,2005,16(11):2117-2121.  
LIU X,YIN Y P,JIANG C M,et al.Effects of weak light and high temperature stress after anthesis on flag leaf chlorophyll fluorescence and grain fill of wheat[J].Chinese Journal of Applied Ecology,2005,16(11):2117-2121.
- [7] DEMOTES-MAINARD S,JEUFFROY M H.Partitioning of dry matter and nitrogen to the spike throughout the spike growth period in wheat crops subjected to nitrogen deficiency[J].Field Crops Research,2001,70(2):153-165.
- [8] DEMOTES-MAINARD S,JEUFFROY M H.Effects of nitrogen and radiation on dry matter and nitrogen accumulation in the spike of winter wheat[J].Field Crops Research,2004,87(2/3):221-233.
- [9] DONG C,HU D W,FU Y M,et al.Analysis and optimization of the effect of light and nutrient solution on wheat growth and development using an inverse system model strategy[J].Computers and Electronics in Agriculture,2014,109:221-231.
- [10] DONG C,FU Y,LIU G,et al.Growth,Photosynthetic characteristics,antioxidant capacity and biomass yield and quality of wheat(*Triticum aestivum* L.)exposed to LED light sources with different spectra combinations[J].J Agro Crop Sci,2014,200:219-230.
- [11] LANOUE J,ZHENG J M,LITTLE C,et al.Alternating red and blue light-emitting diodes allows for injury-free tomato production with continuous lighting[J].Frontiers in Plant Science,2019,10:1114.
- [12] HAMDANI S,KHAN N,PERVEEN S,et al.Changes in the photosynthesis properties and photoprotection capacity in rice(*Oryza sativa*) grown under red,blue,or white light[J].Photosynthesis Research,2019,139(1/2/3):107-121.
- [13] LIMAJE A,ARMSTRONG J S,PAUDYALL S,et al.LED grow lights alter sorghum growth and sugarcane aphid(Hemiptera:Aphididae)plant interactions in a controlled environment[J].Florida Entomologist,2019,102(1):174-180.
- [14] 许大全,高伟,阮军.光质对植物生长发育的影响[J].植物生理学报,2015,51(8):1217-1234.  
XU D Q,GAO W,RUAN J.Effects of light quality on plant growth and development [J].Plant Physiology Journal,2015,51(8):1217-1234.
- [15] GUEN D,MAA M.Grain-filling,chlorophyll content in relation with grain yield component of durum wheat in a Mediterranean environment[J].African Crop Science Journal,2011,20(1):31-37.
- [16] LU N,MARUO T,JOHKAN M,et al.Effects of supplemental lighting with light-emitting diodes(LEDs)on tomato yield and quality of single-truss tomato plants grown at high planting density[J].Enviro Control Biol,2012,50:63-74.
- [17] LIN K H,HUANG M Y,HUANG W D,et al.The effects of red,blue,and white light-emitting diodes on the growth,development,and edible quality of hydroponically grown lettuce(*Lactuca sativa* L.var.capitata)[J].Scientia Horticulturae,2013,150:86-91.
- [18] 丁位华,冯素伟,姜小琴,等.黄淮麦区不同小麦品种生育前期光合生理特性及物质积累变化研究[J].华北农学报,2016,31(2):120-124.  
DING W H,FENG S W,JIANG X L,et al.Research on photosynthetic characteristics and dry matter accumulation of different wheat varieties stage in Huanghuai area at early growth[J].Acta Agriculturae Boreali-Sinica,2016,31(2):120-124.
- [19] 丁位华,冯素伟,王丹,等.不同穗型小麦籽粒灌浆、干物质积累与转运特性及其与产量的关系[J].河南农业科学,2018,47(6):13-17.  
DING W H,FENG S W,WANG D,et al.Grain filling,dry matter accumulation and transport characteristics of different spike types of wheat and their relationship with yield[J].Journal of Henan Agricultural Sciences,2018,47(6):13-17.
- [20] HU L,LI Y,XU W G,et al.Improvement of the photosynthetic characteristics of transgenic wheat plants by transformation with the maize C4 phosphoenolpyruvate carboxylase gene[J].Plant Breeding,2012,131(3):385-391.
- [21] ZHANG H F,XU W G,WANG H W,et al.Pyramiding expression of maize genes encoding phosphoenolpyruvate carboxylase(PEPC)and pyruvate orthophosphate dikinase(PPDK)synergistically improve the photosynthetic characteristics of transgenic wheat[J].Protoplasma,2014,251(5):1163-1173.
- [22] 王世刚.河南小麦大品种的特征特性:浅谈大品种的“相”.[EB/OL].[2022-04-06].[https://mp.weixin.qq.com/s/hh2kEvn\\_zxZmAVPAHSndjg](https://mp.weixin.qq.com/s/hh2kEvn_zxZmAVPAHSndjg).
- [23] 王忠.植物生理学[M].北京:中国农业出版社,2000.
- [24] 丁位华,冯素伟,茹振钢,等.小麦穗部光合速率和颖壳抗氧化酶活性对光辐射强度变化的响应[J].华北农学报,2020,35(3):94-101.  
DING W H,FENG S W,RU Z G,et al.Responses of photosynthetic rate and antioxidant enzyme activity in wheat spike to light radiation intensity[J].Acta Agriculturae Boreali-Sinica,2020,35(3):94-101.
- [25] SATO R,ITO H,TANAKA A.Chlorophyll *b* degradation by chlorophyll *b* reductase under high-light conditions[J].Photosynthesis Re-

search, 2015, 126(2/3):249-259.

[26] KUNUGI M, SATOH S, IHARA K et al. Evolution of green plants accompanied changes in light-harvesting systems[J]. *Plant and Cell Physiology*, 2016, 57(6):1231-1243.

## Exploration on the improvement of lower light intensity and red light in wheat breeding

Wang Yuquan<sup>1</sup>, Yang zijun<sup>1</sup>, Zhao Limin<sup>1</sup>, Feng Suwei<sup>1</sup>, Ding Weihua<sup>1</sup>,  
Jin Liqiao<sup>1</sup>, Gan Li<sup>1</sup>, Wang Yujie<sup>2</sup>, Ru Zhengang<sup>1</sup>

(1. Henan Key Laboratory of Hybrid Wheat; School of Science and Technology, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China; 2. Shenqiu Agriculture Bureau, Shenqiu 466300, China)

**Abstract:** Improving photosynthetic efficiency is an important way to increase wheat yield. Enhancing utilization of lower light and red light contributes to raise photosynthetic efficiency. Based on to the light conditions of Xinxiang, the light intensity at different development stage and the seedling leaf color of wheat varieties were investigated. Further, under the red light and blue light, the photosynthetic efficiency of different cultivars was detected. The results showed that the proportion of red light was the highest in visible lights, increasing from AM 7:00–9:00 and PM 17:00–19:00. The light intensity of overwintering stage was significantly lower than that of grain filling stage. At seedling stage, the leaf colors of Bainong 160 and Bainong 4199 were significantly darker than that of Bainong AK58. The photosynthetic efficiency of flag leaf under red light was higher than that of blue light, and the photosynthetic efficiency of Bainong 4199 was significantly higher than that of Aizao 781 and Baofeng 7228, however, The ratio of chlorophyll a to chlorophyll b was significantly lower than that of Aizao 781 and Baofeng 7228. Under blue light, no significant difference was detected between the photosynthetic efficiency and the ratio of chlorophyll a to chlorophyll b of flag leaf in different varieties.

**Keywords:** intensity of light; high photosynthetic efficiency; lower light intensity; light quality; chlorophyll

[责任编辑 刘洋 杨浦]

## 本期专家介绍



孟德元,北京航空航天大学教授,博士生导师,国家自然科学基金优秀青年科学基金获得者.主要研究兴趣包括网络系统控制、迭代学习控制及数据驱动控制等控制方法的理论与应用,并(在线)发表相关学术论文 140 余篇,授权相关国家发明专利 10 余件等.目前,担任中国自动化学会数据驱动控制、学习与优化专业委员会委员、副秘书长,中国自动化学会控制理论专业委员会委员,以及中国指挥与控制学会集群智能与协同控制专业委员会委员等;担任期刊《空天技术》编委会委员,以及 *International Journal of Robust and Nonlinear Control* 客座编辑;担任美国数学评论的评论员(*Mathematical Reviews, Reviewer*)等.此外,曾担任中国人工智能学会智能空天系统专业委员会委员、副秘书长,中国人工智能学会智能服务专业委员会委员, *IEEE Data Driven Control and Learning Systems Conference (DDCLS)*, *Editorial Chair, Chinese Control Conference (CCC)*, *Program Committee Member*, 以及 *Chinese Intelligent Systems Conference, General Secretary* 等.

李钧涛,河南师范大学教授,2010 年 1 月博士毕业于北京航空航天大学控制理论与控制工程专业,长期从事复杂系统建模与控制、统计机器学习、生物信息挖掘等方面研究.近年来主持、参与国家自然科学基金 6 项,主持、参与河南省高校科技创新人才计划、河南省重点科技攻关计划等省部级重大、重点项目 10 余项;完成河南省科技成果鉴定 1 项;发表学术论文 40 篇(其中 SCI, EI 检索论文 30 余篇),获得授权发明专利 1 件.现为国家自然科学基金信息科学部通讯评议专家,中国自动化学会数据驱动控制、学习与优化专业委员会委员,中国人工智能学会智能空天系统专业委员会委员,广东、江西等多省科技厅项目评审专家.先后获得“河南省高校科技创新人才”“河南省高校青年骨干教师”“河南省优秀硕士学位论文指导教师”等荣誉称号.



茹振钢,河南科技学院二级教授,河南大学兼职博士生导师,主要从事小麦新品种选育及相关应用基础研究.曾任河南省小麦抗病虫育种首席专家,现任河南省小麦研究会副理事长、河南省品种审定委员会委员、河南省杂交小麦重点实验室主任、全国高校黄大年式教师团队负责人.曾入选全国优秀共产党员、中原学者、河南省优秀专家、全国杰出专业技术人才、国务院特殊津贴专家,全国先进工作者、全国模范教师、全国粮食生产突出贡献农业科技人员.主持和承担国家“973”计划、国家支撑计划、“十三五”国家重点基础研究专项、河南省重大科技专项和横向委托项目等课题 20 多项.培育并推广了百农 62、百农 64、百农 160、矮抗 58、百农 418、百农 4199、百农 1316 等一系列小麦新品种,累计推广面积约  $2.7 \times 10^7$  公顷.作为主持人获得国家科技进步一等奖、何梁何利科学技术进步奖、庄巧生小麦研究贡献奖、全国创新争先奖、河南省科学技术杰出贡献奖等.