

灌浆期不同阶段遮光对小麦籽粒蛋白组分含量和加工品质的影响*

石 玉¹ 陈茂学² 于振文^{1**} 许振柱³

(¹山东农业大学农业部作物生理生态与栽培重点开放实验室, 山东泰安 271018; ²山东农业大学信息科学与工程学院, 山东泰安 271018; ³中国科学院植物研究所植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093)

摘要 选用强筋小麦济麦 20、中筋小麦泰山 23 和弱筋小麦宁麦 9 号 3 个小麦品种, 设置了灌浆期不同阶段遮光处理: 开花后不遮光 (S_0)、0~11 d 遮光 (S_1)、12~23 d 遮光 (S_2)、24~35 d 遮光 (S_3), 研究了其对不同小麦品种籽粒蛋白组分含量和加工品质的影响。结果表明: 3 个小麦品种的籽粒清蛋白+球蛋白含量遮光处理间无显著差异; 遮光均显著提高了济麦 20 和泰山 23 的高分子量谷蛋白亚基、低分子量谷蛋白亚基、谷蛋白、醇溶蛋白和总蛋白含量, 其中灌浆中期遮光 (S_2) 处理提高幅度高于其他处理; 灌浆中期 (S_2) 和后期 (S_3) 遮光处理显著提高了宁麦 9 号各蛋白组分含量。遮光显著降低了小麦籽粒产量, 提高了籽粒面团形成时间、面团稳定时间和沉降值, 其中灌浆中期遮光处理更为显著, 表明籽粒品质的形成与灌浆中期的光照条件更为密切。总体上灌浆期遮光对 3 个小麦品种籽粒产量、蛋白组分含量及加工品质指标的调节幅度为济麦 20>泰山 23>宁麦 9 号。

关键词 小麦 遮光 蛋白质组分 加工品质 灌浆

文章编号 1001-9332(2011)10-2504-07 中图分类号 S152.7,S512.1 文献标识码 A

Effects of shading at different phases of grain-filling on wheat grain protein components contents and processing quality. SHI Yu¹, CHEN Mao-xue², YU Zhen-wen¹, XU Zhen-zhu³ (¹*Ministry of Agriculture Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Cultivation, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China*; ²*College of Information Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China*; ³*State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2011, 22(10): 2504–2510.

Abstract: Taking three wheat cultivars Jimai 20 (strong gluten), Taishan 23 (medium gluten), and Ningmai 9 (weak gluten) as test materials, a field experiment was conducted to examine the effects of shading at different phases of grain-filling on the grain protein components contents and processing quality. Four treatments were installed, *i.e.*, no shading (S_0), shading at early grain-filling phase (from 0 day after anthesis (DAA) to 11 DAA; S_1), shading at medium grain-filling phase (from 12 DAA to 23 DAA; S_2), and shading at late grain-filling phase (from 24 DAA to 35 DAA; S_3). No significant differences were observed in the grain albumin+globulin contents of the three cultivars among the four treatments. Shading increased the grain HMW-GS, LMW-GS, gluten, glutenin, and total protein contents of Jimai 20 and Taishan 23 significantly, and the increments were higher in treatment S_2 than in other shading treatments. Treatments S_2 and S_3 increased the grain protein components contents of Ningmai 9 significantly. Comparing with the control, shading decreased the grain yield significantly, but increased the dough development time, dough stability time, and sedimentation volume, especially for treatment S_2 , which suggested that the wheat grain quality had a close relationship with the light intensity at medium phase of grain-filling. Overall, the regulation effect of shading at grain-filling stage on the wheat grain yield, grain protein components contents, and indices values of grain processing quality for the test cultivars was in the

* 国家自然科学基金项目(30871478)和农业部现代小麦产业技术体系项目(nycytx-03)资助。

** 通讯作者. E-mail: yuzw@sdau.edu.cn

2011-01-16 收稿, 2011-07-10 接受.

order of Jimai 20 > Taishan 23 > Ningmai 9.

Key words: wheat; shading; protein component; processing quality; grain-filling.

黄淮冬麦区是我国小麦主产区之一,属于黄淮冬麦区南部的江苏北部、安徽北部和河南中部地区在小麦籽粒灌浆期的降水量为60~90 mm,小麦生育后期常遭遇阴雨寡照的不良气候条件。另外,黄淮冬麦区部分地区存在施氮量多、播种量大,造成小麦生育后期群体过大,冠层内光照不足等问题,制约了小麦生产。前人就遮光对小麦产量和品质的影响已有一些研究,小麦籽粒灌浆期光照不足,可导致光合速率下降^[1-3],籽粒灌浆速率降低,粒重下降,籽粒产量减少^[4-6]。在小麦花后12~20 d实施遮光处理,灌浆期弱光适应能力强的两个品种千粒重分别降低2.1%和1.5%,适应能力弱的两个品种分别降低16.1%和14.5%^[7]。拔节至成熟期遮光时,扬麦158和扬麦11籽粒产量分别比对照下降4.1%~9.9%和15.3%~25.8%,对两品种籽粒清蛋白和球蛋白含量无显著影响,但显著增加了谷蛋白和醇溶蛋白含量,改善了加工品质^[8];但也有研究认为,遮光后小麦籽粒清蛋白和球蛋白含量增加,谷蛋白含量降低^[9]。可见,前人就遮光对小麦籽粒蛋白质含量影响的研究结论不尽一致,而且前人的研究多为灌浆期内某一短时间或拔节后长期遮光对籽粒产量和蛋白质含量的影响,有关不同品质类型品种灌浆期分段遮光对小麦籽粒蛋白质组分含量及加工品质影响的研究报道较少。为此,本研究选用3个不同筋型小麦品种,采用反相高效液相色谱(RP-HPLC)分析方法,研究了灌浆前期、中期和后期遮光对小麦籽粒蛋白质组分含量、谷蛋白亚基含量和加工品质的影响,以及不同品种的响应差异,为小麦优质高产栽培提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验在山东农业大学实验农场(36.17° N, 117.15° E)进行,播种前0~20 cm土壤含有机质1.21 g·kg⁻¹,全氮0.09 g·kg⁻¹,碱解氮76.5 mg·kg⁻¹,速效磷28.3 mg·kg⁻¹,速效钾82.0 mg·kg⁻¹。供试品种为强筋小麦济麦20、中筋小麦泰山23和弱筋小麦宁麦9号,其中,济麦20和泰山23为冬性小麦,宁麦9号为春性小麦。设置3个不同生育阶段遮光处理,每个处理遮光11 d,遮光时间分别为开花后0~11 d(灌浆前期,S₁)、12~23 d(灌

浆中期,S₂)和24~35 d(灌浆后期,S₃),以开花后未遮光处理(S₀)为对照,遮光采用遮光率为60%的聚酯遮光网,其距离小麦冠层50 cm,以保证冠层通风良好。

小麦生育期间施氮180 kg·hm⁻²,P₂O₅ 105 kg·hm⁻²,K₂O 75 kg·hm⁻²。氮肥为尿素(含N 46%),磷肥为过磷酸钙(含P₂O₅ 17%),钾肥为氯化钾(含K₂O 60%)。小麦播前玉米秸秆全部粉碎翻压还田,磷、钾肥全部作为底肥一次性施入,氮肥分50%底施,50%拔节期追施。随机区组设计,小区面积1.5 m×10 m=15 m²,3次重复。济麦20和泰山23于2004年10月7日播种,基本苗为150株·m⁻²;宁麦9号于2004年11月1日播种,基本苗为195株·m⁻²。试验区小麦各生育阶段的降水量为:播种至冬前期35.4 mm、冬前至拔节期35.5 mm、拔节至开花期30.8 mm、开花至成熟期94.4 mm。小麦全生育期共灌溉2次,分别为底墒水和拔节水,每次灌水量为60 mm。2005年6月12日收获。其余管理措施同大田高产栽培。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 穗粒蛋白质总量测定 采用GB 2905—1982谷类、豆类作物种子粗蛋白质测定法(半微量凯氏法)^[10]测定籽粒氮素含量,含氮量乘以指数5.7为蛋白质含量。

1.2.2 穗粒蛋白质组分测定 参照Wieser等^[11]的方法,测定籽粒清蛋白+球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白含量,谷蛋白含量测定时可分离出高分子量谷蛋白亚基(HMW-GS)和低分子量谷蛋白亚基(LMW-GS),色谱系统为美国Waters公司生产的474色谱仪+996检测器,样品环体积为1.2 mL,工作站软件Millium 32。色谱柱为Nucleosil 300-5 C8柱(4 mm×240 mm)。试剂配制:A液为0.4 mol·L⁻¹ NaCl+0.067 mol·L⁻¹ HKNaPO₄(pH=7.6);B液为60%乙醇;C液为50%1-PrOH+2 mol·L⁻¹ 尿素+0.05 mol·L⁻¹ Tris-HCl(pH=7.5)+1% DTE(在氮气条件下)。

蛋白质组分提取过程:称取全麦粉100 mg于2 mL离心管中,加入1.0 mL A液,漩涡振荡2 min,在20 °C条件下用智能型恒温混合器(德国Eppendorf公司产TMC5355型)振荡10 min后,7000 r·min⁻¹离心1 min,连续提取2次,收集上清液,并

用提取液定容至2 mL(清蛋白+球蛋白). 残余物中加入0.5 mL B液, 漩涡振荡2 min, 在20 ℃条件下用智能型恒温混合器振荡10 min后, 7000 r·min⁻¹离心20 min, 连续提取3次, 收集上清液, 并用提取液定容至1.5 mL(醇溶蛋白). 残余物在氮气条件下加入1.0 mL C液, 漩涡振荡2 min, 在60 ℃条件下用智能型恒温混合器振荡20 min后, 悬浮液在20 ℃恒温下7000 r·min⁻¹离心20 min, 连续提取2次, 收集上清液, 并用提取液定容至2 mL(谷蛋白). 样品测定前过0.45 μm滤膜, 在进样前、后分别注入500 μL 0.1% (V/V)三氟乙酸, 清蛋白+球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白进样体积分别为200、80和100 μL.

贮藏蛋白含量为谷蛋白和醇溶蛋白含量之和, 高分子量与低分子量谷蛋白的比值记为HMW/LMW.

1.2.3 穗粒产量和粒重测定 小麦成熟时, 小区实收晒干称量计产, 测定千粒重, 穗粒含水率为12.5%.

1.2.4 穗粒品质测定 用880101小型实验磨制粉(德国Brabender公司产), 出粉率为60%. 面团形成时间和稳定时间用810106002型粉质仪测定(德国Brabender公司产); 沉降值用BAU-A型沉降值仪(中国农业大学产)按GB/T 15685—1995测定.

1.3 数据处理

用Microsoft Excel 2003软件进行数据计算和绘图. 用SAS统计分析软件的两因素完全随机设计进

行差异显著性检验, 多重比较用LSD法.

2 结果与分析

2.1 不同遮光处理对小麦籽粒蛋白质组分含量的影响

由表1可以看出, 3个品种各阶段遮光处理的籽粒清蛋白+球蛋白含量均与对照无显著差异, 谷蛋白、醇溶蛋白和总蛋白含量则因品种和遮光处理而异. 济麦20的籽粒谷蛋白、醇溶蛋白、贮藏蛋白和总蛋白含量均为S₂>S₃>S₁>S₀; 泰山23的谷蛋白、贮藏蛋白和总蛋白含量为S₂>S₃>S₁>S₀, 醇溶蛋白为S₂>S₃、S₁>S₀; 宁麦9号的醇溶蛋白含量变化趋势与泰山23一致, 谷蛋白、贮藏蛋白和总蛋白含量为S₂>S₃>S₁、S₀. 表明灌浆期各阶段遮光均显著提高了济麦20和泰山23的谷蛋白、贮藏蛋白和总蛋白含量, 有利于改善强筋和中筋小麦蛋白质品质, 其中灌浆中期遮光处理提高幅度较大. 灌浆中期和后期遮光亦显著提高了宁麦9号的谷蛋白、醇溶蛋白和总蛋白含量, 不利于保持弱筋小麦蛋白质含量低的特性.

比较不同处理的蛋白质组分含量可以看出, 灌浆期遮光以后, 谷蛋白、醇溶蛋白和清蛋白+球蛋白含量的增加幅度分别为2.8%~24.1%、5.0%~17.4%和0.6%~4.9%, 表明灌浆期遮光对清蛋白+球蛋白的调控作用小, 而对谷蛋白和醇溶蛋白的调控作用大, 这一特性有利于强筋和中筋小麦品种

表1 遮光对小麦籽粒蛋白质组分含量的影响

Table 1 Effects of shading on protein components contents of wheat kernel

品种 Cultivar	处理 Treatment	清蛋白+球蛋白 Albumin+globulin		谷蛋白 Glutenin		醇溶蛋白 Gliadin		贮藏蛋白 Gluten protein		总蛋白 Total protein	
		含量 Content (%)	IDR (%)	含量 Content (%)	IDR (%)	含量 Content (%)	IDR (%)	含量 Content (%)	IDR (%)	含量 Content (%)	IDR (%)
济麦20	S ₀	2.87a		3.15d		4.82d		7.97d		13.76d	
Jimai 20	S ₁	2.93a	+2.09	3.34c	+6.03	5.10c	+5.81	8.44c	+5.90	14.30c	+3.92
	S ₂	2.98a	+3.83	3.91a	+24.13	5.66a	+17.43	9.57a	+20.08	15.46a	+12.35
	S ₃	3.01a	+4.88	3.60b	+14.29	5.41b	+12.24	9.01b	+13.05	15.00b	+9.01
泰山23	S ₀	3.19a		2.81d		4.74c		7.55d		14.01d	
Taishan 23	S ₁	3.21a	+0.63	2.98c	+6.05	5.00b	+5.49	7.98c	+5.70	14.47c	+3.28
	S ₂	3.30a	+3.45	3.36a	+19.57	5.47a	+15.40	8.83a	+16.95	15.41a	+9.99
	S ₃	3.34a	+4.70	3.10b	+10.32	5.16b	+8.86	8.26b	+9.40	15.08b	+7.64
宁麦9号	S ₀	2.66a		2.51c		4.19c		6.70c		12.02c	
Ningmai 9	S ₁	2.70a	+1.50	2.58c	+2.79	4.40b	+5.01	6.98c	+4.18	12.31c	+2.41
	S ₂	2.76a	+3.76	2.93a	+16.73	4.71a	+12.41	7.64a	+14.03	12.94a	+7.65
	S ₃	2.79a	+4.89	2.76b	+9.96	4.44b	+5.97	7.20b	+7.46	12.66b	+5.32

IDR: 增减率 Increasing or decreasing rate. 同列同一品种不同小写字母表示各处理差异显著($P<0.05$). Different small letters in the same column meant significant difference among treatments for the same cultivar at 0.05 level. 下同 The same below.

加工品质的改善。

品种之间比较,灌浆期遮光以后,济麦20的谷蛋白和醇溶蛋白含量的增加幅度分别为6.0%~24.1%和5.8%~17.4%,泰山23为6.0%~19.6%和5.5%~15.4%,宁麦9号为2.8%~16.7%和5.0%~12.4%,表明灌浆期遮光对谷蛋白和醇溶蛋白的调控作用在品种间表现为济麦20>泰山23>宁麦9号。

2.2 不同遮光处理对小麦籽粒高分子量(HMW-GS)和低分子量谷蛋白亚基(LMW-GS)含量及HMW/LMW的影响

由表2可知,济麦20和泰山23的高分子量和低分子量谷蛋白亚基含量均为 $S_2 > S_3 > S_1 > S_0$,宁麦9号为 $S_2 > S_3 > S_1 > S_0$,表明济麦20和泰山23灌浆期各阶段遮光处理的高分子量和低分子量谷蛋白亚基含量均高于未遮光处理,有利于改善两品种的籽粒蛋白质品质。但是不同品种的HMW/LMW对不同阶段遮光处理的响应不同,济麦20为 $S_2 > S_3 > S_1 > S_0$,表明灌浆中期和后期遮光有利于强筋小麦蛋白质品质的改善,而灌浆期遮光对泰山23和宁麦9号的HMW/LMW无显著影响。

灌浆期遮光后,不同处理高分子量和低分子量谷蛋白亚基含量的增加幅度分别为3.6%~35.4%和2.6%~19.9%,表明灌浆期遮光对高分子量谷蛋白亚基含量的调控作用高于低分子量谷蛋白亚基。

品种之间比较,灌浆期遮光后,济麦20的高分子量和低分子量谷蛋白亚基含量的增加幅度分别为6.3%~35.4%和5.6%~19.9%,泰山23为8.7%~23.2%和5.3%~18.8%,宁麦9号为

3.6%~21.8%和2.6%~15.6%,表明灌浆期遮光对高分子量和低分子量谷蛋白亚基含量的调控作用在品种间表现为济麦20>泰山23>宁麦9号。

2.3 不同遮光处理对小麦千粒重、籽粒产量和蛋白质产量的影响

遮光处理间比较,3个小麦品种的千粒重为 $S_0 > S_1 > S_3$,籽粒产量和蛋白质产量为 $S_2 > S_3 > S_1 > S_0$,说明灌浆中期和后期遮光处理的千粒重显著降低,前期遮光对千粒重无显著影响,而灌浆期各阶段遮光处理均显著降低了小麦籽粒产量和蛋白质产量。灌浆期遮光后,小麦千粒重、籽粒产量和蛋白质产量的降低幅度分别为0.9%~14.9%、6.4%~21.5%和4.2%~12.8%(表3)。

品种之间比较,千粒重、籽粒产量和蛋白质产量的降低幅度在品种间表现为济麦20>泰山23>宁麦9号,表明在本试验条件下,济麦20的千粒重、籽粒产量和蛋白质产量对弱光敏感,而宁麦9号具有适应弱光的能力。

2.4 不同遮光处理对小麦籽粒面团形成时间、稳定时间、湿面筋含量和沉降值的影响

由表4可知,济麦20和泰山23的面团形成时间、面团稳定时间和沉降值为 $S_2 > S_3 > S_1 > S_0$,宁麦9号为 $S_2 > S_3 > S_1 > S_0$,表明灌浆期遮光均改善了济麦20和泰山23的籽粒蛋白质品质,而灌浆中期和后期遮光均不利于保持弱筋小麦宁麦9号的蛋白质品质。3个品种的湿面筋含量为 $S_2 > S_3 > S_1 > S_0$ 。由籽粒加工品质各项指标的增加幅度来看,品种间表现为济麦20>泰山23>宁麦9号,表明济麦20籽粒加工品质对弱光的反应大于泰山23,而宁麦9号的反

表2 遮光对小麦籽粒谷蛋白各组分含量的影响

Table 2 Effects of shading on glutenin fractions contents of wheat kernel

品种 Cultivar	处理 Treatment	HMW-GS		LMW-GS		HMW/LMW
		含量 Content (%)	IDR (%)	含量 Content (%)	IDR (%)	
济麦20 Jimai 20	S_0	0.79d		2.31d		0.34b
	S_1	0.84c	+6.33	2.44c	+5.63	0.34b
	S_2	1.07a	+35.44	2.77a	+19.91	0.39a
	S_3	0.99b	+25.32	2.54b	+9.96	0.39a
泰山23 Taishan 23	S_0	0.69d		2.07d		0.33a
	S_1	0.75c	+8.70	2.18c	+5.31	0.34a
	S_2	0.85a	+23.19	2.46a	+18.84	0.35a
	S_3	0.78b	+13.04	2.27b	+9.66	0.34a
宁麦9号 Ningmai 9	S_0	0.55c		1.92c		0.29a
	S_1	0.57c	+3.64	1.97c	+2.60	0.29a
	S_2	0.67a	+21.82	2.22a	+15.63	0.30a
	S_3	0.62b	+12.73	2.10b	+9.38	0.30a

HMW-GS:高分子量谷蛋白亚基 High-molecular-weight glutenin subunit; LMW-GS:低分子量谷蛋白亚基 Low-molecular-weight glutenin subunit;

HMW/LMW:高分子量与低分子量谷蛋白亚基的比值 The ratio of HMW-GS to LMW-GS.

应较小。

2.5 小麦籽粒产量、蛋白质组分含量、加工品质指标的互作效应

由表5可知,强筋、中筋和弱筋3个小麦品种之间的籽粒产量、蛋白质含量、谷蛋白含量、醇溶蛋白

含量、面团形成时间、稳定时间、湿面筋含量及沉降值的差异均达到极显著水平;不同遮光处理对上述指标的影响亦达到极显著水平。互作效应分析表明,湿面筋含量的品种与遮光处理互作效应达显著水平,其他指标达极显著水平。

表3 遮光对小麦千粒重、籽粒产量和蛋白质产量的影响

Table 3 Effects of shading on 1000-grain weight, grain yield and protein yield of wheat

品种 Cultivar	处理 Treatment	千粒重 1000-grain weight		籽粒产量 Grain yield		蛋白质产量 Protein yield	
		(g)	IDR (%)	(kg·hm ⁻²)	IDR (%)	(kg·hm ⁻²)	IDR (%)
济麦20	S ₀	36.2a		8366.9a		1151.3a	
Jimai 20	S ₁	35.6a	-1.7	7526.7b	-10.0	1076.3b	-6.5
	S ₂	30.8b	-14.9	6565.2c	-21.5	1015.0c	-11.8
	S ₃	31.1b	-14.1	6691.5c	-20.0	1003.7c	-12.8
泰山23	S ₀	46.7a		9711.4a		1360.6a	
Taishan 23	S ₁	45.6a	-2.4	8878.7b	-8.6	1284.7b	-5.6
	S ₂	41.0b	-12.2	7985.4c	-17.8	1230.6c	-9.6
	S ₃	41.8b	-10.5	8213.9c	-15.4	1238.7c	-9.0
宁麦9号	S ₀	33.3a		6810.8a		818.7a	
Ningmai 9	S ₁	33.0a	-0.9	6371.8b	-6.4	784.4b	-4.2
	S ₂	30.4b	-8.7	5998.7c	-11.9	776.2c	-5.2
	S ₃	31.2b	-6.3	6099.6c	-10.4	772.2c	-5.7

表4 遮光对小麦籽粒面团形成时间、稳定时间、湿面筋含量和沉降值的影响

Table 4 Effects of shading on dough development time, stability time, wet gluten content and sedimentation volume of wheat kernel

品种 Cultivar	处理 Treatment	面团形成时间 Dough development time		面团稳定时间 Dough stability time		湿面筋含量 Wet gluten content		沉降值 Sedimentation volume	
		(min)	IDR (%)	(min)	IDR (%)	(min)	IDR (%)	(min)	IDR (%)
济麦20	S ₀	5.2d		15.7d		30.6b		40.2d	
Jimai 20	S ₁	5.7c	+9.6	16.8c	+7.0	31.7b	+3.6	42.6c	+6.0
	S ₂	6.4a	+23.1	19.2a	+22.3	34.6a	+13.1	46.8a	+16.4
	S ₃	6.0b	+15.4	17.7b	+12.7	34.3a	+12.1	44.5b	+10.7
泰山23	S ₀	2.7d		3.3d		33.8b		27.3d	
Taishan 23	S ₁	2.9c	+7.4	3.5c	+6.1	34.7b	+2.7	28.6c	+4.8
	S ₂	3.2a	+18.5	4.0a	+21.2	37.2a	+10.1	31.1a	+13.9
	S ₃	3.0b	+11.1	3.7b	+12.1	36.3a	+7.4	30.8b	+12.8
宁麦9号	S ₀	2.6c		2.7c		26.2b		20.6c	
Ningmai 9	S ₁	2.6c	+0.0	2.7c	+0.0	26.5b	+1.1	21.0c	+1.9
	S ₂	3.0a	+15.4	3.0a	+11.1	27.9a	+6.5	22.9a	+11.2
	S ₃	2.8b	+7.7	2.9b	+7.4	27.8a	+6.1	21.8b	+5.8

表5 不同品种和不同遮光处理小麦籽粒产量、蛋白质组分含量、加工品质指标的方差分析(F值)

Table 5 Variance analysis of grain yield, protein components contents, processing quality indicators among different cultivars and different shading treatments (F value)

处理 Treatment	产量 Grain yield	谷蛋白含量 Glutenin content	醇溶蛋白含量 Gliadin content	总蛋白含量 Total protein content	面团形成时间 Dough development time	面团稳定时间 Dough stability time	湿面筋含量 Wet gluten content	沉降值 Sedimentation volume
品种 Cultivar	739.77 **	1914.99 **	1693.94 **	14324.4 **	3599.19 **	50525.2 **	1079.56 **	11540.2 **
遮光 Shading	167.86 **	549.93 **	581.33 **	2325.7 **	77.95 **	232.8 **	89.84 **	242.9 **
品种×遮光 Cultivar×shading	8.74 **	20.78 **	16.68 **	69.33 **	10.68 **	101.63 **	5.15 *	21.6 **

* P<0.05; ** P<0.01.

3 讨 论

灌浆期弱光使小麦光合物质生产能力下降^[7,12], 千粒重显著降低^[5,13]。史忠良等^[14]认为, 在灌浆期光照强度减少1/2时, 小麦结实率和千粒重普遍下降, 结实率减少19.1%, 千粒重损失27.1%。本试验结果表明, 灌浆期各阶段遮光后, 小麦粒重均降低, 导致产量下降, 灌浆中期遮光对粒重的影响最大, 产量最低。夏镇澳等^[15]研究表明, 小麦花后11~22 d遮光对粒重的影响最大。分析其原因, 小麦籽粒灌浆中期是胚乳细胞中A淀粉粒迅速充实时期, 也是B淀粉粒增生时期, 光照强度减弱导致粒重降低可能与胚乳中A淀粉粒充实积累缓慢, B淀粉粒数量增长受抑制有关, 具体机理还需要进一步研究。

籽粒蛋白质含量是决定小麦籽粒加工品质的基础, 前人研究发现, 光照不足有利于小麦^[16~18]、水稻^[19~20]、玉米^[21~22]籽粒蛋白质含量的提高, 这是由于光照不足影响作物光合强度和碳水化合物的积累, 使蛋白质含量相对提高。任万军等^[23]认为, 随光强降低, 水稻籽粒蛋白质含量显著升高, 49%和69%遮光处理比对照分别提高了1.4%和3.7%。本试验研究亦表明, 灌浆期不同阶段60%遮光处理的籽粒蛋白质含量提高幅度为2.4%~12.4%, 且灌浆中期遮光处理提高幅度大, 但灌浆中期遮光处理蛋白质产量最低, 说明蛋白质含量高是在降低产量的条件下实现的, 灌浆期遮光后, 小麦籽粒产量和蛋白质产量均降低。

前人有关小麦花后不同遮光处理对蛋白质组分与加工品质影响的研究结论不同^[8,24~25]。牟会荣等^[8]指出, 拔节至成熟期弱光对成熟期小麦籽粒清蛋白和球蛋白含量无显著影响, 但显著提高了醇溶蛋白和谷蛋白含量, 导致面团形成时间和稳定时间提高。郭翠花等^[25]研究表明, 花后遮光显著增加了小麦籽粒谷蛋白和醇溶蛋白含量, 提高了面团延展性、形成时间和稳定时间。另有报道认为, 花后5 d至成熟期遮光, 小麦籽粒的清蛋白和球蛋白含量增加, 谷蛋白含量降低^[18]。本研究表明, 灌浆期各阶段遮光对小麦籽粒中清蛋白+球蛋白含量无显著影响, 显著增加了济麦20和泰山23的谷蛋白和醇溶蛋白含量, 从而提高了两小麦品种的面团形成时间、稳定时间和沉降值, 其中灌浆中期遮光处理的提高幅度较大, 灌浆中期和后期遮光亦显著提高了宁麦9号的谷蛋白和醇溶蛋白含量。表明小麦籽粒的醇

溶蛋白和谷蛋白含量及加工品质的形成与灌浆中期的光照条件更为密切, 中期遮光有利于改善强筋和中筋小麦品种的蛋白质品质, 而对弱筋小麦品种不利。

不同小麦品种的籽粒产量和蛋白质产量对弱光的适应能力存在差异^[7~8], 在灌浆期光照强度减少50%时, 小麦千粒重平均降低27.3%, 不同品种间差异较大^[14]。牟会荣等^[8]指出, 拔节至成熟期遮光22%和33%时, 扬麦158和扬麦11的籽粒产量分别比对照下降4.1%~9.9%和15.3%~25.8%, 蛋白质产量分别下降3.0%~8.3%和10.4%~14.1%。本研究表明, 灌浆期遮光对不同小麦品种的千粒重、籽粒产量、蛋白质组分含量和加工品质指标的影响亦存在差异, 调节幅度表现为济麦20>泰山23>宁麦9号。表明在籽粒产量、蛋白质含量、面团稳定时间及沉降值等方面, 强筋小麦济麦20对弱光敏感, 而弱筋小麦宁麦9号具有较强的适应弱光能力。关于不同小麦品种产量和品质对灌浆期遮光的响应存在差异的生理原因还有待进一步研究。

参考文献

- [1] Liu X (刘 霞), Yin Y-P (尹燕枰), Jiang C-M (姜春明), et al. Effects of weak light and high temperature stress after anthesis on flag leaf chlorophyll fluorescence and grain fill of wheat. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(11): 2117~2121 (in Chinese)
- [2] Parrott D, Yang L, Shama L, et al. Senescence is accelerated, and several proteases are induced by carbon “feast” conditions in barley (*Hordeum vulgare* L.) leaves. *Planta*, 2005, **222**: 989~1000
- [3] Mu H-R (牟会荣), Jiang D (姜 东), Dai T-B (戴廷波), et al. Effect of shading on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characters in wheat flag leaves. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2008, **41**(2): 599~606 (in Chinese)
- [4] Wardlaw IF, Moncur L. The response of wheat to high temperature following anthesis. I. The rate and duration of kernel filling. *Australian Journal of Plant Physiology*, 1995, **22**: 391~397
- [5] Spiertz JH. The influence of temperature and light intensity on grain growth in relation to the carbohydrate and nitrogen economy of the wheat plant. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 1997, **24**: 182~197
- [6] Yu S-L (余松烈). Wheat in Shandong Province. Beijing: China Agriculture Press, 1990: 567~573 (in Chinese)

- [7] He M-R (贺明荣), Wang Z-L (王振林), Gao S-P (高淑萍). Analysis on adaptability of wheat cultivars to low light intensity during grain filling. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2001, **27**(5): 640–644 (in Chinese)
- [8] Mu H-R (牟会荣), Jiang D (姜东), Dai T-B (戴廷波), et al. Effects of shading on the nitrogen redistribution in wheat plant and the wheat grain quality. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(7): 1718–1724 (in Chinese)
- [9] Fang B-T (方保停), Zhang S-Q (张胜全), Wang M (王敏), et al. Effects of darkening photosynthetic organs on grain protein synthesis of winter wheat in water-saving cultivation. *Journal of Triticeae Crops* (麦类作物学报), 2008, **28**(2): 266–270 (in Chinese)
- [10] He Z-F (何照范). *Grain Quality and Its Analysis Technology*. Beijing: China Agriculture Press, 1985: 37–41 (in Chinese)
- [11] Wieser H, Antes S, Seilmeier W. Quantitative determination of gluten protein types in wheat flour by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Cereal Chemistry*, 1998, **75**: 644–650
- [12] Wang ZL, Yin YP, He MR. Allocation of photosynthates and grain growth of two wheat cultivars with different potential grain growth in response to pre- and post-anthesis shading. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 2003, **189**: 280–285
- [13] Cai K-Z (蔡昆争), Luo S-M (骆世明). Effect of shading on growth development and yield formation of rice. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 1999, **10**(2): 193–196 (in Chinese)
- [14] Shi Z-L (史忠良), Ma A-P (马爱萍), Qiu S-Y (仇松英), et al. Influences of light intensity on rate of fructify and weight of 1000 grains of wheat variety. *Journal of Shanxi Agricultural Sciences* (山西农业科学), 1998, **26**(4): 16–18 (in Chinese)
- [15] Xia Z-A (夏镇澳), Wang Z-H (王祝华). The effect of light intensity on the growth and development of wheat grains. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 1964, **3**(2): 159–167 (in Chinese)
- [16] Li Y-G (李永庚), Yu Z-W (于振文), Liang X-F (梁晓芳), et al. Response of wheat yields and quality to low light intensity at different grain filling stages. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 2005, **29**(5): 807–813 (in Chinese)
- [17] Sun Y-K (孙彦坤), Wang L-J (王丽娟), Yan H (严红). Influence of climate factors during grain filling process on yield and protein content in different types of grain quality of spring wheat: The influence of light intensity. *Chinese Journal of Agrometeorology* (中国农业气象), 2003, **24**(3): 5–6 (in Chinese)
- [18] Li T (李天), Da S-L (大杉立), Shan A-C (山岸徹), et al. Effects of weak light on rice starch accumulation and starch synthesis enzyme activities at grain filling stage. *Chinese Journal of Rice Science* (中国水稻科学), 2005, **19**(6): 545–550 (in Chinese)
- [19] Ren W-J (任万军), Yang W-Y (杨文钰), Zhang G-Z (张国珍), et al. Effect of low-light stress on nitrogen accumulation, distribution and grains protein content of Indica hybrid. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2003, **9**(3): 288–293 (in Chinese)
- [20] Aguirre A, Rubiolo OJ, Ribotta PD, et al. Effects of incident radiation and nitrogen availability on the quality parameters of triticale grains in Argentina. *Experimental Agriculture*, 2006, **42**: 311–322
- [21] Jia S-F (贾士芳), Dong S-T (董树亭), Wang K-J (王空军), et al. Effect of shading on grain quality at different stages from flowering to maturity in maize. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2007, **33**(12): 1960–1967 (in Chinese)
- [22] Li C-H (李潮海), Zhao Y-L (赵亚丽), Yang G-H (杨国航), et al. Effects of shading on photosynthetic characteristics of different genotype maize. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(6): 1259–1264 (in Chinese)
- [23] Ren W-J (任万军), Yang W-Y (杨文钰), Xu J-W (徐精文), et al. Effect of low light on grains growth and quality in rice. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2003, **29**(5): 785–790 (in Chinese)
- [24] Zhang X-L (张学林), Wang Z-Q (王志强), Guo T-C (郭天财), et al. Effects of latitude on grain's protein components of winter wheat cultivars. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(8): 1727–1732 (in Chinese)
- [25] Guo C-H (郭翠花), Gao Z-Q (高志强), Miao G-Y (苗果园). Effect of shading at post flowering on photosynthetic characteristics of flag leaf and response of grain yield and quality to shading in wheat. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2010, **36**(4): 673–679 (in Chinese)

作者简介 石玉,女,1979年生,博士,讲师。主要从事小麦栽培生理生态研究,发表论文10篇。E-mail: shiyu@sdau.edu.cn

责任编辑 张凤丽