

小麦产量和品质对灌浆期不同阶段 低光照强度的响应

李永庚^{1,2} 于振文^{2*} 梁晓芳² 赵俊晔² 邱希宾²

(1 中国科学院植物研究所植被数量生态学重点实验室, 北京 100093)

(2 山东农业大学农学院, 农业部小麦栽培生理与遗传改良重点开放实验室, 山东泰安 271018)

摘要 在田间池栽条件下, 分别于小麦(品种: ‘济南17’和‘鲁麦21’)(*Triticum aestivum* cv. ‘Jinan17’ and ‘Lumai21’)灌浆的前期(开花后1~10 d), 中期(11~20 d)和后期(21~30 d)进行了遮去50%光合有效辐射的试验, 研究了产量和品质的变化及其生理原因。主要结论如下: 1)弱光条件下, 光合物质生产均受到严重抑制, 产量下降, 容重降低; 植株的氮素积累量减少、向子粒分配的比例低, 但子粒蛋白质含量、湿面筋含量升高, 其中, 子粒灌浆前期遮光升高的幅度最大。2)遮光后小麦子粒麦谷蛋白和醇溶蛋白含量均升高, 但麦谷蛋白升高的幅度大于醇溶蛋白, 使麦谷蛋白与醇溶蛋白的比例升高, 麦谷蛋白大聚合物(GMP)含量也升高, 粉质仪参数也显著提高; 子粒灌浆前期或中期遮光对上述指标的影响则较小, 子粒品质的形成与灌浆后期的光照条件关系更为密切。3)灌浆期相对较弱的光照强度对改善品质有利, 但以降低产量为代价, 两个品种的小麦所表现出的趋势基本一致。

关键词 小麦 光照 蛋白质 淀粉 品质

RESPONSE OF WHEAT YIELDS AND QUALITY TO LOW LIGHT INTENSITY AT DIFFERENT GRAIN FILLING STAGES

LI Yong-Geng^{1,2} YU Zhen-Wen^{2*} LIANG Xiao-Fang² ZHAO Jun-Ye² and QIU Xi-Bin²

(1 Laboratory of Quantitative Vegetation Ecology, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China)

(2 Wheat Planting Physiology & Heredity Improve Key Opening Laboratory of Agricultural Ministry, Agronomy College, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China)

Abstract Changes in the yields and quality, and the physiological response of wheat (*Triticum aestivum* cv. ‘Ji’nan17’ and ‘Lumai21’) grown under low light intensities (50% PPFD) at different filling stages were studied. Wheat was planted in 2.5 m × 2.0 m plots. The plots were shaded with white fabric that filtered 50% PPFD during three different filling stages: 1 – 10, 11 – 20, and 21 – 30 days after anthesis. Protein accumulation rate, nitrogen accumulation and distribution, kernel weight and yield, test weight, protein composition, protein content, wet gluten content, glutenin macropolymer (GMP) content, starch and protein quality were measured. The results showed that under 50% PPFD, wheat yield and test weight decreased sharply ($p < 0.05$), less nitrogen was distributed to kernels ($p < 0.05$), but protein content and wet gluten content increased significantly ($p < 0.05$), especially at the early filling stage. At the late filling stage, gliadin and glutenin content, glutenin macropolymer (GMP) content and glutenin/gliadin index increased significantly ($p < 0.05$). Thus, farinogram parameters, such as water absorption and dough stability time, improved at low light intensities ($p < 0.05$). However, these parameters changed only slightly during the early and middle filling stages ($p > 0.05$), which suggested that the late filling stage is an important stage during which light intensity influences protein quality. Shading or lower light intensity improved wheat quality, but yields decreased sharply, especially during the early grain filling stage. The two varieties, ‘Ji’nan17’ and ‘Lumai21’, showed similar responses to light levels at the different filling stages. Therefore, future investigations should be conducted to resolve the conflict between differences in yield and quality.

Key words Wheat, Light intensity, Protein, Starch, Quality

收稿日期: 2004-02-13 接受日期: 2004-11-19

基金项目: 国家自然科学基金(30200165 和 30471026)项目

* 通讯作者 Author for correspondence E-mail: zhenwenyu@sda.u.edu.cn

E-mail of the first author: liyongeng@ibcas.ac.cn/liyongeng@yahoo.com.cn

光照强度是影响小麦品质的重要环境因子。James 和 Gary(1968)发现,强光时叶片硝态氮含量升高、硝酸还原酶活性降低、蛋白质含量降低,遮光条件下粒重虽然下降但其子粒中蛋白质含量有升高的倾向, Spiertz(1977)在4种温度条件下得出光照强度与蛋白质含量呈负相关的结论。但不同灌浆阶段降低光照强度对小麦子粒蛋白质含量的影响情况目前尚不清楚,开展这项研究有利于深入了解天气状况和小麦群体结构对小麦蛋白质含量的影响。

小麦粗蛋白含量、湿面筋含量、沉淀值、面团形成时间和面团稳定时间均受栽培环境的影响,但不同的品质性状因环境变化的范围是不同的,变幅较大的指标有面团稳定时间和沉降值,而粗蛋白和湿面筋含量的变幅较小(朱金宝等,1995)。不同环境条件下小麦的蛋白质组分和 SDS-沉降值存在较大差异,这种差异主要是温度不同造成的(Graybosch & Peterson, 1995)。关于温度对小麦品质的影响,国内也有较多研究(王法宏等,1997;李永庚等,2003),但小麦子粒的加工品质是否受光照条件的影响,尚需进一步研究。

小麦淀粉对面条、馒头、面包等食品的加工品质有重要影响。何中虎(1999)等研究认为,低直链淀粉含量的面粉适合制作优质的面条;张春庆等(1996)认为,直链淀粉适中或偏低时,制成的馒头或面条具有较好的韧性和食用品质。衡量小麦淀粉品质的主要指标有膨胀势和高峰粘度(Crosbie, 1992; McCormick *et al.*, 1991; Bhattacharya, 1996; Liu *et al.*, 2003)。Zeng 等(1997)研究发现,面粉中直链淀粉含量每下降1%,用快速粘度仪分析的高峰粘度就升高22个单位,有利于改善面条品质。光照强度对小麦粒重与产量的影响已有很多报道,弱光条件下光合物质生产降低、粒重和产量下降(夏镇澳和王祝华,1961)。姚大年等(1999)发现,基因型和环境对小麦淀粉性状和面粉粘度参数均有显著的影响;但是光照条件对小麦淀粉品质的影响及其生理基础,尚不清楚。

小麦群体的光照条件主要受两方面因素的影响,一是天气状况,二是主要由小麦栽培密度调控的小麦群体结构。为此,在大田生产条件下采用遮光的方法,探讨了小麦灌浆不同阶段的光照条件对蛋白质品质的影响及其生理基础,期望为优质专用小麦生产提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 种植条件

田间试验在山东农业大学实习农场的水泥池栽基地进行,水泥池面积为 $2.5\text{ m} \times 2.0\text{ m} = 5.0\text{ m}^2$,水泥池内0~20 cm土壤有机质、全氮、速效氮、速效磷、速效钾含量分别为0.950%、0.096 5%、108.78 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、9.91 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、80.79 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试品种为‘济南17’(‘Ji’nan17’)和‘鲁麦21’(‘Lumai21’),种植密度均为 $150\text{ 株} \cdot \text{m}^{-2}$ 。1999年10月6日播种,次年6月10日收获。播种前造墒并深翻30 cm,按每平方米有机肥7.5 kg、纯氮10.5 g、 P_2O_5 13.5 g、 K_2O 22.5 g施入基肥。在小麦拔节期每平方米追施纯氮10.5 g,并灌水。其它管理同一般高产田。

1.2 试验设计

共设自然照光(用S0表示)、前期(开花后1~10 d)遮光(用S1表示)、中期(开花后11~20 d)遮光(用S2表示)和后期(开花后21~30 d)遮光(用S3表示)4个处理;重复3次,随机区组排列。用遮光网进行遮光处理,透光率为50%的光合有效辐射,遮光网距小麦冠层50 cm,以保证冠层通风良好。

1.3 取样方法

在小麦开花期标记同一日开花的麦穗。分别在小麦开花后0、5、10、15、20、25、30、35 d取样,每小区取10个单茎,分为子粒和营养器官,70℃烘干,用来进行干物重和营养分析。

1.4 测定方法

含氮量的测定:半微量凯氏定氮法,采用瑞士产KJ-419型半自动定氮系统测定含氮量,子粒含氮量乘以5.7后为子粒蛋白质含量。

蛋白质各组分含量:根据各种蛋白质组分在不同溶剂中的溶解特性,分步提取后取上清液,用双缩脲试剂显色后在540 nm比色,以牛血清蛋白做标准曲线。

麦谷蛋白大聚合物(GMP)含量:参照孙辉等(2000)的方法。50 mg小麦粉中加入1 ml 1.5%的SDS提取液,震荡摇匀,室温下 $15\ 500 \times g$ 离心15 min,弃上清液,采用双缩脲法测定残余物的含氮量作为GMP的含量。

湿面筋含量:用德国Brabender自动洗面筋机测定。

粉质仪参数:用德国Brabender公司生产的粉质仪做面粉粉质图,分析面团稳定时间和形成时间、吸水率等流变学特性。

RVA参数:用澳大利亚产RVA Super3型快速粘度仪测定。

膨胀势:采用McCormick等(1991)的方法测定。

SDS-沉降值: 采用 GB/T15685-1995 的方法。

1.5 数据处理与分析

利用 SPSS 10.0 汇总分析数据。

2 结果与分析

2.1 蛋白质积累速率

遮光后小麦子粒蛋白质的积累速率明显减慢, 其中灌浆前期遮光对蛋白质积累影响最为明显, 其次为中期和后期遮光。即, 随着遮光时间的后移, 遮光对蛋白质积累速率的影响也逐渐减弱(图 1)。

蛋白含量均显著升高($p < 0.05$)。灌浆期不同阶段遮光对醇溶蛋白的含量无显著影响(图 3A), 但麦谷蛋白的含量表现为灌浆后期遮光处理显著高于前期遮光处理(图 3B)。遮光处理的麦谷蛋白/醇溶蛋白的比例显著升高($p < 0.05$), 其中以灌浆后期遮光增加的幅度最大(图 3C)。



图 1 ‘济南 17’(A)和‘鲁麦 21’(B)的子粒蛋白质积累速率(PAR)

Fig.1 Protein accumulate rate (PAR) of ‘Ji’nan17’ (A) and ‘Lumai21’ (B) under different light intensity

小麦灌浆前期遮光(S1)、中期遮光(S2)、后期遮光(S3)和自然光照(S0)条件下的遮光率为 50% 的光合有效辐射 S0 represent the natural light intensity, S1, S2 and S3 represent 50% PPFD treatment during 1 - 10, 11 - 20, 21 - 30 days after anthesis

2.2 氮素的积累与分配

小麦遮光造成小麦氮素积累量和氮素收获指数显著降低, 其中, 灌浆前期遮光所造成的降低幅度最大, 中期次之, 后期最小。两个小麦品种所表现出来的趋势相一致, 但‘济南 17’的氮素积累量显著低于‘鲁麦 21’(图 2A), 而氮素收获指数显著高于‘济南 17’(图 2B)。

2.3 贮藏蛋白含量

麦谷蛋白与醇溶蛋白是小麦子粒中主要的贮藏性蛋白质种类, 其含量的多寡及其比例对加工品质有显著的影响。遮光后, 子粒中的麦谷蛋白和醇溶



图 2 ‘济南 17’和‘鲁麦 21’的氮素积累量(NA)与氮素收获指数(NHI)

Fig.2 Nitrogen accumulates (NA) and nitrogen harvest index (NHI) of ‘Ji’nan17’ and ‘Lumai21’ under different light intensity

图注同图 1 Note see Fig. 1

2.4 GMP 含量

GMP 是影响小麦品质的物质基础, 其含量高时有利于蛋白质品质的改善。遮光处理的小麦 GMP 含量均显著升高($p < 0.05$), 其中, 灌浆后期遮光处理的升高幅度最大(图 3D)。

2.5 蛋白质和湿面筋含量

蛋白质是影响小麦加工品质的物质基础, 面筋是小麦独有的蛋白质存在形式, 其含量高时有利于面包烘烤品质的改善, 含量低时有利于制作优质的糕点。遮光处理的小麦子粒蛋白质含量(图 4A)和湿面筋含量(图 4B)显著升高($p < 0.05$), 其中, 灌浆前期遮光处理的升高幅度最大, 后期遮光升高的幅度较小。

2.6 粒重、产量与容重

灌浆期遮光条件下, 小麦的粒重(图 5A)、产量(图 5B)和容重(图 5C)均显著降低($p < 0.05$), 其中, 灌浆前期遮光条件下降低幅度最大, 后期的影响较小。



图3 ‘济南17’和‘鲁麦21’的醇溶蛋白(Gli.)含量(A)、麦谷蛋白(Glu.)含量(B)及其比例(C)和谷蛋白大聚体(GMP)含量(D)的差异

Fig.3 Gliadin content (Gli., A) glutenin content (Glu., B), Glu./Gli. index (C) and glutenin macropolymer (GMP) content (D) of ‘Ji’nan17’ and ‘Lumai21’ under different light intensity
图注同图1 Note see Fig. 1

2.7 淀粉品质

膨胀势和高峰粘度是衡量小麦面粉加工品质的重要指标,与小麦子粒中的淀粉结构和组成关系密切。膨胀势或高峰粘度升高时,对制作优质的面条有利。前期、中期、后期遮光条件下,上述两个指标显著升高,有利于淀粉品质的提高;其中,子粒灌浆前期遮光对小麦面粉膨胀势和高峰粘度的影响最大,子粒灌浆中期遮光条件影响最小(表1)。

2.8 蛋白质品质

灌浆前期遮光条件下 SDS-沉降值显著升高,但中、后期遮光处理的沉降值显著降低($p < 0.05$)。遮



图4 ‘济南17’和‘鲁麦21’的蛋白质含量(A)和湿面筋含量(B)的差异

Fig.4 Protein content (A) and wet gluten content (B) of ‘Ji’nan17’ and ‘Lumai21’ under different light intensity
图注同图1 Note see Fig. 1



图5 ‘济南17’和‘鲁麦21’的粒重(A)、产量(B)和容重(C)的差异

Fig.5 Kernel weight (A), yield (B) and test weight (C) of ‘Ji’nan17’ and ‘Lumai21’ under different light intensity
图注同图1 Note see Fig. 1

表 1 小麦灌浆前期遮光(S1)、中期遮光(S2)、后期遮光(S3)和自然照光(S0)条件下的‘济南 17’和‘鲁麦 21’的淀粉和蛋白质品质指标(遮光率为 50%的光合有效辐射)

Table 1 Starch and protein quality of ‘Ji’nan17’ and ‘Lumai21’ under different light intensity. S0 represent the natural light intensity, S1, S2 and S3 represent 50% PPFD treatment during 1–10, 11–20, 21–30 days after anthesis

品种 Cultivar	处理 Treatments	淀粉品质指标 Starch quality features		蛋白质品质指标 Protein quality features		
		膨胀势 Swelling power ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	高峰粘度 Peak viscosity (RVU)	沉降值 Sedimentation volume (ml)	吸水率 Water absorption (%)	稳定时间 Stability time (min)
‘济南 17’ ‘Ji’nan17’	S0	6.82 ± 0.21	202.00 ± 1.21	53.0 ± 1.00	69.7 ± 0.33	7.40 ± 0.14
	S1	8.02 ± 0.34	208.42 ± 1.93	54.2 ± 0.55	70.9 ± 0.89	7.50 ± 0.25
	S2	7.20 ± 0.19	203.83 ± 1.24	51.1 ± 0.46	72.3 ± 0.76	8.00 ± 0.67
	S3	7.41 ± 0.28	207.00 ± 0.77	50.9 ± 0.29	75.9 ± 1.80	9.40 ± 1.33
‘鲁麦 21’ ‘Lumai21’	S0	9.26 ± 0.37	240.25 ± 1.47	35.0 ± 0.32	62.9 ± 1.71	2.40 ± 0.24
	S1	10.82 ± 0.26	246.92 ± 0.99	36.7 ± 0.21	65.5 ± 1.19	2.40 ± 0.33
	S2	9.52 ± 0.32	241.75 ± 1.12	34.7 ± 0.18	66.5 ± 1.08	3.30 ± 0.56
	S3	10.08 ± 0.17	242.83 ± 2.15	33.8 ± 0.27	67.9 ± 1.22	4.10 ± 0.27

光后小麦面粉的吸水率、面团稳定时间和面粉评价指数等粉质仪参数显著升高($p < 0.05$), 其中, 子粒灌浆后期遮光的升高幅度最大, 前期和中期遮光的影响较小(表 1)。

2.9 品质与粒重的关系

随着粒重的提高, 蛋白质含量、膨胀势和沉降值有降低的趋势。其中, 子粒蛋白质含量随粒重增加而显著降低($p < 0.05$)(图 6A), 膨胀势(图 5B)和沉降值(图 5C)随粒重降低的趋势不显著($p > 0.05$)。

3 讨论

小麦灌浆期日照时数较少或光照强度减弱, 对提高小麦子粒蛋白质含量有利(金善宝, 1996), 但小麦的加工品质不仅和蛋白质含量关系密切, 蛋白质的组成及其特性对加工品质也有显著的影响。本研究发现, 子粒灌浆期光照强度对小麦的子粒容重、蛋白质含量、湿面筋含量、SDS-沉降值的影响主要表现在灌浆前期(表 1), 弱光导致上述指标显著升高; 对粉质仪参数的影响主要表现在子粒灌浆后期, 表现为小麦面粉的吸水率和面团稳定时间等参数显著升高(表 1)。这表明灌浆前期是决定小麦蛋白质含量的主要时期, 灌浆后期是决定蛋白质品质的主要时期。

开花前营养体氮的调运是子粒氮素的主要来源, 子粒中的氮约有 60% 来自茎、叶开花前贮藏氮素的调运(梅楠, 1988; Smith & Gooding, 1996)。高蛋白品种除总吸氮量高和开花后吸氮能力较强外, 营养器官中贮藏的氮素输出较多、残留较少, 是子粒蛋白较高的小麦品种的一个重要特征(田纪春和张忠



图 6 小麦灌浆期遮光条件下子粒蛋白质含量与粒重(A)、面粉膨胀势与粒重(B)和沉降值与小麦粒重(C)的相互关系

Fig.6 Relationships between protein content and kernel weight (A), swelling power and kernel weight (B), sedimentation volume and kernel weight (C) under different light intensity

○ ‘济南 17’ ‘Ji’nan17’ ● ‘鲁麦 21’ ‘Lumai21’

义 1994)。小麦灌浆期光照强度减弱后,子粒中的蛋白质积累量减少,残留在营养器官中氮素的量显著增加,而转移到子粒中的氮素数量显著减少,造成氮素收获指数显著降低(图 2C),这表明子粒中蛋白质含量的升高并没有提高氮素的收获指数。

James 和 Gary(1968)研究发现,短日照时(8 h·d⁻¹)叶片硝态氮含量降低、硝酸还原酶活性降低、蛋白质含量降低。本研究发现,小麦受到弱光胁迫时氮素代谢活动受到抑制,并导致子粒中蛋白质积累速率降低(图 1),而子粒氮素含量的升高是由于粒重降低造成的(图 6A)。

弱光条件下麦谷蛋白和醇溶蛋白含量均升高(图 3A, B),但麦谷蛋白升高的幅度大于醇溶蛋白,导致麦谷蛋白/醇溶蛋白比值升高(图 3C),这是遮光后 GMP 含量也升高(图 3D)和粉质仪参数提高的重要生理基础(表 1),其中,子粒灌浆后期遮光对提高小麦的蛋白质品质较为有利。两个品种的小麦都表现出一致的趋势。

膨胀势和高峰粘度是决定小麦淀粉品质的重要指标(Crosbie, 1991)。本研究发现,遮光对小麦的淀粉品质改善是有利的,其中,灌浆前期遮光对小麦淀粉品质的改善最为有利(表 1)。但遮光条件下小麦光合物质生产能力显著降低,粒重和产量下降(图 5A, B),这影响小麦种植者和粮食加工企业的经济利益,人们是不能接受的。

总之,遮光显著降低小麦的粒重和品质;而子粒灌浆前期较弱的光照条件对提高淀粉品质有利,后期遮光对提高蛋白质品质有利。群体结构对小麦灌浆期的光照条件有显著影响,主要表现在种植密度方面(曹承富等, 1997; 孙连发, 1997),但是,如何通过栽培技术和措施协调(如小麦群体结构的合理调控)因小麦灌浆期光照不足引起的产量与品质之间的矛盾,尚需进一步研究。因此,在小麦栽培中如何根据各地的光照特点,研究合理的栽培技术对策,协调产量和品质之间的矛盾,是一个值得进一步研究的课题。

参 考 文 献

Cao CF (曹承富), Wang ZS (汪芝寿), Kong LC (孔令聪) (1997). Effect of nitrogen and density on wheat yield and quality. *Anhui Agricultural Science* (安徽农业科学), 25, 115 – 117. (in Chinese)

Crosbie GB, Lambe WJ, Tsutsui H, Gilmour RF (1992). The relationship between starch swelling properties, peak viscosity and boiled noodle quality in wheat flour. *Journal of Cereal Science*,

13, 145 – 150.

Graybosch RA, Peterson CJ (1995). Environmental modification of hard winter wheat flour protein composition. *Australian Journal of Plant Physiology*, 22, 45 – 51.

He ZH (何中虎) (1999). Survey on waxy wheat research. *Crop Magazine* (作物杂志), 2, 7 – 9. (in Chinese)

Jams EH, Gary MP (1968). Influence of intensity, quality, and duration of lighter on nitrogen reduction and assimilation in wheat. *Crop Science*, 9 – 10, 537 – 539.

Jin SB (金善宝) (1996). *Chinese Wheat Science* (中国小麦学). China Agriculture Press, Beijing. (in Chinese)

Li YG (李永庚), Jiang GM (蒋高明), Yang JC (杨景成) (2003). Effect of temperature on carbon and nitrogen metabolism, yield and quality of wheat. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), 27, 164 – 169. (in Chinese with English abstract)

Liu JJ., He ZH, Zhao ZD, Pena RJ, Rajaram S (2003). Wheat quality traits and quality parameters of cooked dry white Chinese noodles. *Euphytica*, 131, 147 – 154.

McCormick KM, Panozzo JF, Hong SH (1991). A swelling power test for selecting potential noodle quality wheat Australian. *Journal of Agricultural Research*, 42, 317 – 323.

Mei N (梅楠) (1988). Nitrogen balance of wheat-soil system and nitrogen utilization of wheat and its dry matter accumulation. *Journal of Beijing Agricultural College* (北京农学院学报), 2, 31 – 40. (in Chinese)

Smith GP, Gooding MG (1996). Relationship of wheat quality with climate and nitrogen application in regions of England. *Annual of Applied Biology*, 129, 97 – 102.

Spiertz JHJ (1974). Grain growth and distribution of dry matter in the wheat plant as influenced by temperature, light energy and ear size. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 22, 207 – 220.

Sun H (孙辉), Yao DN (姚大年), Li BY (李保云), Liu GT (刘广田), Zhang SZ (张树榛) (2000). Effects of genetic and environmental factors on the content of glutenin macropolymer. *Journal of Triticeae Crops* (麦类作物学报), 20, 23 – 27. (in Chinese with English abstract)

Sun LF (孙连发) (1997). Quality response of different HMW-GS wheat density. *Journal of Triticeae Crops* (麦类作物), 17(4), 27 – 30. (in Chinese)

Tian JC (田纪春), Zhang ZY (张忠义) (1994). Assimilation and distribution difference of nitrogen between higher and lower protein wheat. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 20, 76 – 83. (in Chinese with English abstract)

Wang FH (王法宏), Zhao JS (赵君实), Jing SM (荆叔民) (1997). Yield and quality of different genotype wheat in different ecological region. *Journal of Laiyang Agriculture College* (莱阳农学院学报), 14, 100 – 104. (in Chinese with English abstract)

Xia ZA (夏镇澳), Wang ZH (王祝华) (1961). Relationship be-

- tween wheat kernel formation and light density. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 3, 159–167. (in Chinese)
- Yao DN (姚大年), Li BY (李保云), Zhu JB (朱金宝), Liu GT (刘广田) (1999). Research on starch property and forecast index of noodle quality. *Chinese Agriculture Science* (中国农业科学), 32, 84–86. (in Chinese with English abstract)
- Zeng M, Morris CF, Batey IL, Wrigley CW (1997). Sources of variation for starch gelatinization, pasting and gelation properties in wheat. *Cereal Chemistry*, 74, 62–71.
- Zhang BJ (张宝军), Jiang JY (蒋纪芸) (1995). Quality of wheat and their influencing factors. *Wheat Crops of Overseas Agronomy* (国外农学—麦类作物), 4, 29–31. (in Chinese)
- Zhang CQ (张春庆), Li QQ (李晴祺), Yin CY (尹承佺) (1996). Relationship between higher and middle molecular weight protein of wheat and steamed bread volume. *Journal of Shandong Agricultural University* (山东农业大学学报), 27, 392–401. (in Chinese with English abstract)
- Zhu JB (朱金宝), Liu GT (刘广田), Liu SZ (刘树榛) (1995). Influence of genotype and environment on wheat bake quality. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 21, 679–684. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 李凤民 责任编辑: 张丽赫