两种冠温型冬小麦籽粒蛋白质和淀粉组分积累动态

朱云集^{1,2} 马冬云^{1,2} 李向阳¹ 郭天财^{1,2} 王晨阳^{1,2}

(1 河南农业大学, 郑州 450002) (2 国家小麦工程技术研究中心, 郑州 450002)

摘要 于 2001 ~ 2003 年对河南省主要推广的 3 个冬小麦 (*Triticum aestivum*) 品种冠温特征、籽粒蛋白质和淀粉组分积累动态进行了研究。结果表明: ‘豫麦 50’ 在灌浆后期冠层温度明显降低, 表现为冷尾型, 而 ‘豫麦 34’、‘豫麦 70’ 冠层温度有上升的趋势, 表现为暖尾型, 在灌浆末期冷尾型与暖尾型小麦冠层温度相差超过 2.5 °C。不同冠温小麦籽粒蛋白质和淀粉组分积累动态表现出差异: 暖尾型小麦清蛋白、球蛋白积累量在灌浆后期显著高于冷尾型品种, 最终醇溶蛋白积累量品种间差异不显著, 麦谷蛋白积累量在花后 15 d 以前差异不显著, 但开花 20 d 后暖尾型小麦麦谷蛋白积累量增大, 与冷尾型小麦差异达到 1% 显著水平, 最终麦谷蛋白与总蛋白质含量比例亦表现出同样的趋势, 麦谷蛋白含量与灌浆中、后期冠层温度和整个灌浆期平均冠层温度均达到显著正相关, 相关系数分别为 0.778 1、0.865、0.968 7; 不同冠温型小麦淀粉组分积累量与直/支差异不大, 但淀粉糊化特性表现出明显的差异, 除稀懈值外, 暖尾型小麦与冷尾型小麦峰值粘度、低谷粘度、最终粘度、糊化时间、糊化温度和反弹值差异分别达到 1% 显著水平。

关键词 冬小麦 冠温特征 蛋白质组分 淀粉组分 积累

ACCUMULATION DYNAMICS OF PROTEIN AND STARCH COMPONENTS IN GRAIN OF TWO WINTER WHEAT CULTIVARS WITH DIFFERENT CANOPY TEMPERATURE CHARACTERISTICS DURING THE FILLING STAGE

ZHU Yun-Ji^{1,2} MA Dong-Yun¹ LI Xiang-Yang¹ GUO Tian-Cai^{1,2} and WANG Chen-Yang^{1,2}

(1 Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

(2 National Engineering Research Centre for Wheat, Zhengzhou 450002, China)

Abstract Canopy temperature during the grain filling stage can affect grain yield and quality. Previous studies have focused on the effects of canopy temperature on physiological characteristics and yield, and its measurements have been used widely in recent years to study genotypic responses to drought and heat stress. This paper aims to understand the effects of canopy temperature on the main quality traits of winter wheat (*Triticum aestivum*) cultivars. The dynamic changes in the accumulation of protein and starch components during the filling stage in the grain of winter wheat cultivars with different canopy temperature characteristics were studied in Henan Province over two growing seasons (2001 - 2003). The results indicated that the canopy temperature of the three cultivars changed a lot during the filling stage. During the early stage, average canopy temperatures were maintained but there was a strong change in temperature among the cultivars during the mid and late filling stage, especially in the late filling stage. In the mid and late stage, the canopy temperature of ‘Yumai 50’ decreased and expressed a cold tail type. The canopy temperature of ‘Yumai 34’ and ‘Yumai 70’ tended to rise at the mid and late stages and expressed a warm tail type. The difference in canopy temperatures between the cold and warm tail type cultivars could be greater than 2 °C. There were differences in patterns of protein and starch accumulation in the grain among cultivars. Accumulation of albumin, globulin and glutenin were significantly different in the late grain filling stage between warm and cold tail type cultivars, but there were no differences in gliadin accumulation. No significant differences of glutenin accumulation was observed within 15 d post-anthesis, but by 20 d after anthesis, significant differences (1% level) were observed between the two cultivars with different canopy temperature characteristics during the grain filling stage. Accumulation content of glutenin of ‘Yumai 34’ and ‘Yumai 70’ at harvest were 46.19% and 19.7% higher than ‘Yumai 50’, respectively. The ratio of glutenin to total protein showed the same trend and indicated that the rising canopy temperature during the filling stage resulted in higher accumulations of glutenin. The content of glutenin was positively and significantly correlated with canopy temperature in the mid, late and total grain fill-

ing stage. The content of starch and amylose/amylopectin during the grain filling stage did not show significant differences between the two types of cultivars, but significant differences (1% level) were found in pasting parameters, such as the peak of viscosity, through viscosity, final viscosity, pasting time, pasting temperature and setback value with the exception of the breakdown value. In particular, through viscosity of 'Yumai 34' and 'Yumai 70' were both 84.4% higher than that of 'Yumai 50', and final viscosity was 60.9%, 58.2% higher than that of 'Yumai 50', respectively.

Key words Winter wheat, Canopy temperature character, Protein components, Starch components, Accumulation

蛋白质和淀粉是冬小麦(*Triticum aestivum*)的主要品质性状,小麦的加工品质不仅与籽粒中蛋白质含量有关,与蛋白质的质量即蛋白质各组分的类型、含量以及比例密切相关(李志西等,1998;杨学举等,1999)。淀粉是小麦籽粒的主要成分,约占籽粒干重的65%,面粉重量的70%~80%,小麦淀粉含量及颗粒状况影响面粉的出粉率、白度、 α -淀粉酶活性(降落值)和灰分含量以及淀粉的直/支比和糊化特性等,决定着加工产品的外观品质和食用品质(McCormick *et al.*, 1991; Holm, 1992)。不少研究指出:基因型和环境条件影响蛋白质和淀粉的合成与积累(曹广才和王绍中,1994;范雪梅等,2004),冠层温啡是在自然条件下小麦灌浆期体温的观测值,有关不同冠温小麦叶片的生理特性变化以及与产量的关系前人已作了不少研究(Reynolds *et al.*, 2000; 张嵩午等,2002),但对不同冠温型小麦籽粒蛋白质和淀粉组分积累动态的研究较少。由于小麦体温变化与籽粒灌浆进程、主要品质性状形成积累同步,本试验以河南省小麦生产中广泛推广的具有不同冠温特征小麦品种为供试材料,研究其籽粒灌浆过程中蛋白质和淀粉组分积累动态变化,旨在为生产上通过冠层温度变化预测小麦品质,小麦品质育种实施早代无损筛选,和采取栽培调优技术措施,实现小麦优质高产提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 试验设计

试验于2001~2003年在河南农业大学郑州科教示范园区进行,属黄淮平原冬麦区,为暖温带半湿润气候。土质为壤土,有机质含量 $15\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,全氮含量 $1.12\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效氮含量 $75.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷含量 $30.0\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾含量 $120\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。播种前底施干鸡粪 $1\ 875.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, P_2O_5 $138.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$, K_2O $165.0\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,氮肥施用纯N $216\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,基追比为7:3,分别基施和拔节期追施。选用我国冬麦区尤其是河南省生产中主要推广的30个

小麦品种(系),主要有'济麦17'(山东农业大学提供)、'陕农65'(西北农林科技大学提供)、'皖麦19'(安徽农业大学提供)、'河农341'(河北农业大学提供)、'徐麦26'(徐州市农科所提供)、'中优9507'(山西农业大学提供)、'豫麦70'(河南省内乡农科所提供)、'SW8688'(四川省农业科学研究院提供)、'华麦9号'(华中农业大学提供)、'豫麦18'(河南省才智种子有限公司提供)、'豫麦49'(河南省平安科技有限公司提供)、'豫麦34'(河南省郑州市农科所提供)、'豫农9901'(河南农业大学提供)、'国麦1号'(国家小麦工程技术研究中心提供)和'豫麦50'(河南省农业科学研究院小麦研究所提供)等,随机区组设计,3次重复,小区 $5\text{ m}\times 2.9\text{ m}$ 。于10月9日,采用2BJM精密播种机,按基本苗 $180\times 10^4\text{ 株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 播种,一般大田进行栽培管理。

1.2 试验测定

1.2.1 冠层温度测定

测定时期从生育中期到成熟,用中国农业大学生产的BAU-1型红外测温仪测定小麦冠层温度。观测时间以晴天午后(13:00~15:00)各品种冠层温度差异最明显时为主,按照农田小气候观测的对称法进行。用往返重复读数法测定,每隔3 d测定1次。视场角取 5° ,比辐射率为0.98,观测时感应器置于肩臂高度(1.5 m),以 30° 瞄准小区内中间的冠层,其测点为群体生长一致、有代表性的部位,避开裸地影响。上述测定值均以对籽粒形成灌浆有关键意义的开花-成熟期为重点(张嵩午等,2002)。

1.2.2 籽粒取样

在开花期标记同一天开花的麦穗,花后每5 d取样1次,剥取籽粒烘干。

1.2.3 制粉

Brabender Quadrumat Junior 实验磨制粉。

1.2.4 蛋白质组分

采用累进提取法测定清蛋白、球蛋白、谷蛋白和醇溶蛋白含量(赵乃新等,1998)。

1.2.5 淀粉含量用旋光法测定

直链淀粉含量的测定按照双波长法测定,参考并通过作图法测定不同波长下直链淀粉标样的吸收图谱,确定直链淀粉两波长分别为 $\lambda_1 = 622\text{ nm}$, $\lambda_2 = 430\text{ nm}$, 直链淀粉标样来自美国 Sigma 公司。支链淀粉含量 = 总淀粉 - 直链淀粉(鲍士旦, 1996)。

1.2.6 淀粉糊化特性测定

采用德国 Brabender 公司生产的微型糊化粘度仪(Micro Visco-Amylo-Grzph, MVAG)测定。

1.2.7 数据处理与分析方法

两年的试验结果趋势基本一致,文中仅列出 2002~2003 年度试验数据进行分析。数据采用 SPSS10.0 统计分析系统进行分析。

2 结果与分析

2.1 不同小麦品种冠层温度表现特征

有关小麦冠层温度类型的判别参考张嵩午的方法(张嵩午等, 2002)。以所测定的 30 个品种冠层温度平均值为基准,从中选出具有典型冠温中间型,即冠层温度表现沿基准线上下穿越,但生育后期持续升高或降低的小麦品种‘豫麦 34’、‘豫麦 70’和‘豫麦 50’。依据测定数据,绘出 3 个品种灌浆成熟期间冠层温度依日序变化图(图 1),结果表明,3 个品种均属于冠层温度中间型小麦,冠层温度出现了沿冠层温度基准线向上、向下的明显穿越,‘豫麦 50’在灌浆后期冠层温度明显降低,表现为冷尾型;而‘豫麦 34’和‘豫麦 70’则在灌浆后期冠层温度有上升的趋势,表现为暖尾型,在灌浆后期两类小麦的冠层温度与平均冠层温度差值达到 1% 的显著水平,冠温差值绝对值超过 2.5 $^{\circ}\text{C}$ 。

2.2 不同冠温型小麦籽粒蛋白质组分积累动态变化

图 1 冷尾、暖尾型小麦冠温与平均冠温差值
Fig.1 Average canopy temperature difference of cold tail and warm tail wheat

2.2.1 醇溶蛋白和麦谷蛋白积累量变化

从图 2、3 可以看出,3 个品种醇溶蛋白含量随灌浆进程总趋势上升,灌浆中期有变化,但最终醇溶蛋白积累量 3 个品种间差异不显著;谷蛋白含量则随籽粒发育成熟而升高,在花后 15 d 以前,品种间积累量差异不显著,从花后 20 d 开始,两个暖尾型品种麦谷蛋白积累量显著高于冷尾型品种,最终麦谷蛋白积累量两种冠温型品种之间差异达到 1% 的显著水平,‘豫麦 34’、‘豫麦 70’积累量分别高于‘豫麦 50’ 46.19% 和 19.7%。由此可以推断,小麦生育后期冠层温度的升高对麦谷蛋白积累有促进作用。

图 2 麦谷蛋白积累动态变化
Fig.2 Dynamic change of glutenin accumulation in grain
图例同图 1 Legends see Fig. 1

图 3 醇溶蛋白积累动态变化
Fig.3 Dynamic change of gliadin accumulation in grain
图例同图 1 Legends see Fig. 1

2.2.2 清蛋白和球蛋白含量变化

从图 4、图 5 可以看出,在籽粒发育过程中,清蛋白和球蛋白在籽粒干重中的比例均呈下降趋势。清蛋白含量花后不同天数测定值在两种冠温型品种

之间存在差异,除花后 30 d 外,在整个灌浆期‘豫麦 34’、‘豫麦 70’清蛋白含量高于‘豫麦 50’,其中在灌浆末期两个暖尾型品种与冷温型品种达到 5% 显著水平。球蛋白含量表现不同,在花后 15 d 以前,‘豫麦 50’球蛋白积累量高于其它两个品种,在花后 20 d 以后‘豫麦 34’、‘豫麦 70’ 积累量赶上‘豫麦 50’,最终暖尾型品种球蛋白积累量显著高于冷温型品种。

图 4 清蛋白积累动态变化
Fig.4 Dynamic change of albumin accumulation in grain
图例同图 1 Legends see Fig. 1

图 5 球蛋白积累动态变化
Fig.5 Dynamic change of globulin accumulation in grain
图例同图 1 Legends see Fig. 1

2.2.3 不同冠温型小麦籽粒蛋白质各组分占总蛋白质含量比例

从 3 个品种籽粒蛋白组分与总蛋白质含量的比例分析结果(表 1)来看,冷尾型品种‘豫麦 50’醇溶蛋白和剩余蛋白所占比例较高,与两个暖尾型品种所占比例相比达到 1% 显著水平,其余蛋白组分均以‘豫麦 34’所占比例最高,清蛋白所占比例‘豫麦 34’与其它两个品种相比达 1% 显著水平,球蛋白、麦谷蛋白所占比例‘豫麦 34’、‘豫麦 70’与‘豫麦 50’达 1% 显著水平。由此推测,小麦生育后期冠层温度较高对提高清蛋白、球蛋白和麦谷蛋白在总蛋白质中所占比例有利,由此也提高了麦谷蛋白/醇溶蛋

白,对加工品质改善有积极作用(王月福等,2002)。从冠层温度与蛋白组分相关分析结果(表 2)来看,不同冠温型小麦籽粒粗蛋白含量与不同灌浆阶段冠层温度均呈正相关,其中灌浆后期冠层温度和整个灌浆期的平均冠层温度与籽粒粗蛋白含量达到显著正相关,相关系数分别为 0.772 5 和 0.768 7;麦谷蛋白含量与灌浆中、后期冠层温度和整个灌浆期平均冠层温度均达到显著正相关,相关系数分别为 0.778 1、0.865、0.968 7;球蛋白含量与灌浆后期冠层温度呈显著正相关,相关系数为 0.781 7;醇溶蛋白与各期冠层温度呈正相关,但未达显著水平。

2.3 不同冠温型小麦籽粒灌浆过程中直、支链淀粉含量及直/支链淀粉变化趋势

试验结果表明(图 6、7),‘豫麦 34’、‘豫麦 70’、‘豫麦 50’的直链淀粉含量均随灌浆进程呈上升趋势,在灌浆前期‘豫麦 70’的积累量高于‘豫麦 34’和‘豫麦 50’,但在灌浆后期 3 个品种的直链淀粉积累量趋于一致。支链淀粉积累量在花后 20 d 以后‘豫麦 34’一直高于其它两个品种,3 个品种淀粉积累量之间差异不显著。3 个品种籽粒灌浆过程中直/支链淀粉‘豫麦 34’表现出稳定上升,而其它两个品种表现出在花后 10 d 较高,而后下降,花后 15 d 后上升趋势。由此可见,灌浆后期冠层温度的升高对淀粉组分的积累以及直/支链淀粉影响不大。

图 6 直链淀粉含量变化
Fig.6 Dynamic change of amylose content in grain
图例同图 1 Legends see Fig. 1

2.4 不同冠温型小麦淀粉糊化参数

淀粉糊化特性影响面包、面条和馒头等食品的外观品质与食用品质,尤其与面条质量密切相关(王晨阳等,2004)。从不同冠温型小麦的籽粒淀粉糊化参数(表 3)来看,两个暖温型品种表现相同,测定数值略有差异,但不显著,但暖温型小麦与冷温型小麦

除稀懈值差异不显著外,其余糊化参数均达到 1% 的显著水平,其中以低谷粘度两类品种差距最大,暖尾型品种同时较‘豫麦 50’高 84.4%,峰值粘度‘豫麦 34’、‘豫麦 70’分别较‘豫麦 50’升高 58.3%和

58.4%,最终粘度分别高 60.9%和 58.2%。由此可见,灌浆期间冠层温度高低对小麦籽粒淀粉糊化特性影响较大。

图 7 支链淀粉含量变化
Fig.7 Dynamic change of amylopectin content in grain
图例同图 1 Legends see Fig.1

图 8 直链淀粉/支链淀粉变化
Fig.8 Changes of amylose/amylopection in grain
图例同图 1 Legends see Fig.1

表 1 不同冠温型小麦籽粒蛋白质各组分占总蛋白质比例

品种 Cultivars	清蛋白 Albumin	球蛋白 Globulin	醇溶蛋白 Gliadin	麦谷蛋白 Glutenin	剩余蛋白 Other protein
‘豫麦 70’ ‘Yumai 70’	11.06 ^{bB}	4.97 ^{bB}	31.57 ^{bB}	42.06 ^{bB}	9.57 ^{bB}
‘豫麦 34’ ‘Yumai 34’	14.80 ^{aA}	5.83 ^{aA}	28.43 ^{cC}	44.88 ^{aA}	6.14 ^{cC}
‘豫麦 50’ ‘Yumai 50’	9.05 ^{cB}	2.97 ^{cC}	35.71 ^{aA}	39.07 ^{cC}	12.95 ^{aA}

同列内平均值后有相同小写或大写字母的表示差异未达到 5% 或 1% 显著水平 Within column, means followed by the same small or capital letters are not significantly different at 5% or 1% levels, respectively

表 2 不同小麦品种冠层温度与蛋白组分的相关系数

冠层温度 Canopy temperature	灌浆前期 Early grain filling stage	灌浆中期 Middle grain filling stage	灌浆后期 Late grain filling stage	整个灌浆期 Total grain filling stage
麦谷蛋白 Glutenin	0.556 1	0.778 1 [*]	0.865 [*]	0.968 7 [*]
醇溶蛋白 Gliadin	0.423 2	0.436 1	0.328 9	0.384 6
清蛋白 Albumin	-0.078 4	0.234 6	0.200 9	0.126 4
球蛋白 Globulin	0.356 2	0.248 4	0.781 7 [*]	0.381 3
粗蛋白 Crude protein	0.478 9	0.743 4	0.772 5 [*]	0.768 7 [*]

* : 5% 显著水平 Significant level at 5%

表 3 不同冠温型小麦籽粒淀粉糊化参数

项目 Items	糊化时间 Pasting time (min)	反弹值 Setback value (BU)	糊化温度 Pasting temperature (°C)	峰值粘度 Peak viscosity (BU)	低谷粘度 Through viscosity(BU)	最终粘度 Final viscosity (BU)	稀懈值 Breakdown value(BU)
‘豫麦 34’ ‘Yumai34’	8.13 ^{aA}	268.5 ^{abA}	90.0 ^{aA}	560.5 ^{aA}	454.5 ^{aA}	732.5 ^{aA}	99.5 ^{aA}
‘豫麦 70’ ‘Yumai70’	8.13 ^{aA}	258.5 ^{bA}	90.0 ^{aA}	561.5 ^{aA}	454.5 ^{aA}	720.0 ^{aA}	103.5 ^{aA}
‘豫麦 50’ ‘Yumai 50’	7.59 ^{bB}	204.5 ^{cB}	85.6 ^{bB}	353.0 ^{cB}	246.0 ^{cC}	455.0 ^{cC}	105.5 ^{aA}

同列内数值后有相同小写或大写字母的表示差异未达到 5% 或 1% 显著水平 Within column, Values followed by the same small or capital letters are not significantly different at 5% or 1% levels, respectively

3 讨 论

据研究,冠层温度是环境条件和小麦本身生物学特性相结合的产物,是植株体内进行复杂代谢过程的反映(张嵩午等,2002)。当前小麦生产上推广的主体品种大多属于冠层温度中间型,据其灌浆中、后期温度升高或降低又分为暖尾型和冷尾型小麦,由于灌浆期间冠层温度高低影响其生理代谢能力,有研究认为改善中间型小麦的代谢体系对实现小麦高产、稳产十分重要(Reynolds *et al.*, 2000; 张嵩午等,2000; 朱云集等,2004)。小麦蛋白质占粒重的13%左右,是决定其营养和加工品质的重要因素,有关小麦籽粒蛋白质及各组分积累规律的研究认为,在灌浆前期合成的蛋白质是清蛋白和球蛋白,而醇溶蛋白和麦谷蛋白主要在灌浆中后期积累。环境条件和栽培措施影响蛋白质的组成和分布,其中温度是主要的影响因子,不同温度条件下小麦的蛋白质组分和 SDS 沉降值存在较大差异,高温降低蛋白组分的积累量和比例(李永庚等,2003)。在本试验年份气候条件下,采用具有不同冠温特征的小麦品种为供试材料进行研究,发现蛋白质各组分的形成时期与前人研究结果一致,而且在小麦灌浆期间尤其灌浆中后期冠层温度的高低对蛋白质组分的积累有较大影响,冠温与蛋白质含量、麦谷蛋白积累量有显著的正相关关系,暖尾型小麦清蛋白、球蛋白、麦谷蛋白在灌浆后期以及最终积累量显著高于冷尾型小麦,尤其是麦谷蛋白积累量差异达1%的显著水平,也由此提高了暖尾型小麦籽粒中麦谷蛋白/醇溶蛋白,而麦/谷在1.33~1.58,与当前优质小麦选育与利用目标基本一致(王月福等,2002)。

淀粉占普通小麦成熟籽粒的65%左右,约有25%直链淀粉和75%支链淀粉组成。已有研究表明,小麦籽粒淀粉含量随着灌浆进程呈S型曲线上,不论强势粒还是弱势粒,其支链淀粉积累峰值均在花后20 d左右出现(王芳和王宪泽,2004),直/支随灌浆进程,呈S形变化,即在灌浆前期下降,中期上升,后期又下降。不同生态条件影响淀粉组分的积累与比例(方先文等,2002)。在本试验气候条件下,灌浆后期冠层温度高低对淀粉组分积累量影响不大,这可能因为灌浆后期淀粉积累量较少、占整个灌浆期淀粉积累量比例较小的原因,但对与加工品质密切相关的淀粉糊化特性影响较大,尤其对淀粉糊化的主要参数——高峰粘度、低谷粘度、最终粘度、糊化时间、糊化温度和反弹值影响较大,暖尾型

小麦与冷尾型小麦差异达到1%显著水平。

国外对冠层温度的研究多集中在预测作物对逆境条件的反映(Rashid *et al.*, 1999; Ayeneh *et al.*, 2002)。冠层温度与小麦主要品质性状的关系,启示我们可将方便快捷的冠层温度测定方法,作为小麦品质育种早代无损筛选的间接手段,并可采取有效的农艺技术,结合化学调控的措施,改善小麦灌浆期环境条件,调节小麦灌浆期间冠层温度,以达到改善小麦品质的目的。有关冠层温度与品质性状形成的内在生理机制有待进一步研究。

参 考 文 献

- Ayeneh A, Ginkel MV, Reynolds MP, Ammar K (2002). Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Research*, 79, 173–184.
- Bao SD (鲍士旦) (1996). *Quality Aanalysis on Farm, Husbandry and Fishery Products* (农畜水产品品质分析). China Agriculture Press, Beijing, 206–213. (in Chinese)
- Cao GC (曹广才), Wang SZ (王绍中) (1994). *Wheat Ecology of Quality* (小麦品质生态). China Science and Technology Press, Beijing, 89–92, 11–12. (in Chinese with English abstract)
- Fan XM (范雪梅), Jiang D (姜东), Dai TB (戴廷波), Jing Q (荆奇), Cao WX (曹卫星) (2004). Effects of post-anthesis drought and waterlogging on the quality of grain formation in different wheat varieties. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), 28, 680–685. (in Chinese with English abstract)
- Fang XW (方先文), Jiang D (姜东), Dai TB (戴廷波), Cao WX (曹卫星) (2002). Accumulation orderliness of starch components in wheat grain. *Jiangsu Journal of Agriculture Sciences* (江苏农业学报), 18, 139–142. (in Chinese with English abstract)
- Holm J (1992). Bioavailability of starch in various wheat based bread product: evaluation of metabolic responses in healthy subjects and rate and extent of *in vitro* starch digestion. *American Journal of Clinical Nutrition*, 55, 420–429.
- Li RG (李永庚), Jiang GM (蒋高明), Yang JC (杨景成) (2003). Effects of temperature on carbon and nitrogen metabolism, yield and quality of wheat. *Acta Phytoecologica Sinica* (植物生态学报), 27, 164–169. (in Chinese with English abstract)
- Li ZX (李志西), Wei YM (魏益民), Zhang JG (张建国) (1998). Study on the effects of wheat protein components on dough properties and baking quality. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association* (中国粮油学报), 13, 1–5. (in Chinese with English abstract)
- McCormick KM, Panozzo JF, Hong SH (1991). A swelling power test for selecting potential noodle quality wheats. *Australian Journal of Agricultural Research*, 42, 317–323.

- Rashid A, Stark JC, Tanveer A, Mustafa T (1999). Use of canopy temperature measurements as a screening tool for drought tolerance in spring wheat. *Journal of Agronomy & Crop Science*, 182, 231 – 237.
- Reynolds MP, Delgado MI, Gutierrez-rodriguez BM, Laique-Saavedra A (2000). Photosynthesis of wheat in a warm, irrigated environment. I. Genetic diversity and crop productivity. *Field Crops Research*, 66, 37 – 50.
- Wang CY (王晨阳), Ma DY (马冬云), Zhu YJ (朱云集), Guo TC (郭天财), Feng W (冯伟), Zhou SM (周苏玫) (2004). Effects of different irrigation and nitrogen application regimes in winter wheat on cooking qualities of Chinese noodle. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 37, 256 – 262. (in Chinese with English abstract)
- Wang F (王芳), Wang XZ (王宪泽) (2004). Study on formation dynamic of grain and activity of related enzyme. *Journal of Triticeae Crops* (麦类作物学报), 24, 57 – 60. (in Chinese with English abstract)
- Wang YF (王月福), Yu ZW (于振文), Li SX (李尚霞), Yu SL (余松烈) (2002). Effects of nitrogen application amount on content of protein components and processing quality of wheat grain. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 35, 1071 – 1078. (in Chinese with English abstract)
- Yang XJ (杨学举), Lu SY (卢少源), Zhang RZ (张荣芝) (1999). Relations between protein grops and bread-baking quality characters of wheat. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association* (中国粮油学报), 14, 1 – 5. (in Chinese with English abstract)
- Zhao NX (赵乃新), Gu XH (顾小红), Lan J (兰静), Shan H (单宏), Cheng AH (程爱华) (1998). Study on relationship between quality traits and protein components. *Tritical Crops* (麦类作物), 18, 45 – 47. (in Chinese with English abstract)
- Zhang SW (张嵩午), Wang CF (王长发), Feng BL (冯佰利), Zhang B (张宾), Hao YB (郝彦宾) (2002). The specific characteristics of wheat with polymorphic canopy temperature. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 22, 1414 – 1419. (in Chinese with English abstract)
- Zhang SW (张嵩午), Wang CF (王长发), Zhou CJ (周春菊), Feng BL (冯佰利), Miao F (苗芳) (2000). Middle type wheat and its specific character. *Journal of Triticeae Crops* (麦类作物学报), 20, 40 – 45. (in Chinese with English abstract)
- Zhu YJ (朱云集), Li XY (李向阳), Guo TC (郭天财), Ma DY (马冬云) (2004). Study on connection between wheat canopy temperature and yeld in filling stage. *Henan Science* (河南科学), 22, 798 – 801. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 骆世明 责任编辑: 姜联合