

基因型与环境对小麦戊聚糖含量及 RVA 黏度的影响

杨 梅¹, 蒲宗君², 郑文寅¹, 张文明¹, 姚大年¹

(1. 安徽农业大学农学院, 安徽合肥 230036; 2. 四川省农科院作物所, 四川成都 610066)

摘要: 为研究基因型与环境对小麦戊聚糖含量及 RVA 黏度的影响, 选取 10 个小麦品种(系)和 5 个生态试验点, 测定了小麦籽粒中的总戊聚糖(TP)、水溶性戊聚糖(WSP)、非水溶性戊聚糖含量(WIP)和 RVA 黏度等共 10 个性状, 探讨了 3 种戊聚糖含量和 7 个 RVA 性状的影响因素及相互关系。结果表明, 包括总戊聚糖、水溶性戊聚糖含量在内的 10 个性状均受到基因型、环境以及基因型与环境互作的影响。其中, 基因型方差和环境方差在所有性状上均达到显著或极显著, 基因型与环境互作方差在水溶性戊聚糖和 7 个 RVA 性状上达到极显著; 戊聚糖含量的环境变异 > 基因型变异 > 基因型与环境互作变异, 而 RVA 黏度性状的基因型变异均大于环境变异。水溶性戊聚糖含量与高峰黏度呈显著负相关。

关键词: 小麦; 基因型; 环境; 戊聚糖含量; RVA 黏度

中图分类号: S512.1; S314

文献标识码: A

文章编号: 1009-1041(2011)03-0487-06

Effects of Genotypes and Environments on Pentosan Content and RVA Viscosity of Wheat

YANG Mei¹, PU Zong-jun², ZHENG Wen-yin¹, ZHANG Wen-ming¹, YAO Da-nian¹

(1. China College of Agronomy, Anhui Agriculture University, Hefei, Anhui 230036, China;

2. Crop Research Institute, Sichuan Academy of Agriculture Science, Chengdu, Sichuan 610066, China)

Abstract: Ten traits in the grains of ten wheat varieties (lines) planted in five environments, including total pentosan (TP), water-soluble pentosan (WSP), water-insoluble pentosan (WIP) and seven RVA viscosity traits, were determined to investigate their correlation and the effect factors. The results showed that all the ten traits were affected by the genotypes, environments and their interaction. Genotypic (G) variances and environmental (E) variances were significant or greatly significant difference, G×E variances was greatly significant difference for WSP and seven RVA viscosity traits. In pentosan content traits, environmental variation was more than genotypic variation, and G×E variation was the smallest; While, genotypic variations were more than environmental variations for all the seven RVA viscosity traits. WSP content was negatively and significantly correlated with the peak viscosity. The effects of genotype and environment were discussed in grain traits of wheat quality breeding and new wheat varieties selection breeding.

Key words: Wheat; Genotype; Environment; Pentosan content; RVA viscosity

小麦是我国重要的粮食作物, 随着人民生活水平的不断提高, 人们对小麦以及面制品品质越来越重视。戊聚糖(Pentosans)作为一种小麦籽

粒细胞壁物质以及一种蛋白质和淀粉之间的黏连物质, 很大程度上影响着蛋白质和淀粉之间的有效分离^[1], 从而影响面粉与面制品品质。戊聚糖

* 收稿日期: 2010-12-16 修回日期: 2011-02-15

基金项目: 国家自然科学基金项目(31071404)。

作者简介: 杨 梅(1984—), 女, 硕士研究生, 主要从事作物遗传育种研究。E-mail: sgyangmei@yahoo.com.cn

通讯作者: 姚大年(1955—), 男, 博士, 教授, 主要从事小麦遗传育种研究。E-mail: dnyao@163.com

分为两类,一类是水溶性戊聚糖(Water-soluble pentosans, WSP),一类是非水溶性戊聚糖(或水不溶性戊聚糖 Water-insoluble pentosans, WIP),二者的总和称为总戊聚糖(Total pentosan, TP)。戊聚糖所具有的黏度特性、吸水性、持水性和氧化胶凝特性,对面团流变学特性和面包、饼干的烘焙品质有非常重要的影响^[2-3]。有研究发现面粉的水溶性戊聚糖含量高,对面包等烘焙食品的改良效果较好;水溶性戊聚糖含量低,对饼干等烘焙食品的改良效果较好。非水溶性戊聚糖对面包、饼干等烘焙食品的品质改良效果不明显^[4]。

小麦的品质表现既受遗传控制也受环境条件的影响,同时对生态条件表现出一定的适应性和稳定性^[5-6]。大量研究表明,同一小麦品种在不同的环境条件下其品质有明显的差异,基因型和环境有明显的互作效应,同时其品质性状的稳定性也有所差异^[7-9]。但关于基因型和环境对小麦戊聚糖含量的影响缺少系统研究。本研究选用了10个小麦品种,在安徽省5个试验点种植,分析基因型和环境对其戊聚糖和RVA黏度特性的影响,旨在为优质小麦品种的选育、栽培以及加工利用等提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料共9个小麦品种(系),分别是扬06-164、皖垦麦076、扬辐麦5242、扬麦16、皖0202、扬06G86、07安徽03、定红201、皖0606,对照品种为扬麦158。2008年分别在安徽省合肥市、安庆市、六安市、凤台县和天长市5个试验点播种。随机区组设计,3次重复。

1.2 戊聚糖含量及RVA黏度的测定

试验样品由SS Tecator公司生产的Cyclo-tec1093型旋风磨制成全麦粉,测定RVA黏度指标,试验前过100目筛筛理测样品戊聚糖含量。

总戊聚糖(TP)的测定方法^[10]:准确称取面粉样品50 mg于50 mL离心管中,加入10 mL 2 mol·L⁻¹的盐酸,密封后在100℃水浴加热150 min,待冷却后加入20 mL蒸馏水,充分摇匀后于4 800 r/min下离心15 min,然后移取1.0 mL上清液,依次加入2 mL蒸馏水、3 mL的0.1% FeCl₃酸溶液和0.3 mL 1%的地衣酚醇溶液,涡旋振荡后于沸水浴中显色40 min,取出后在水流下迅速冷却,测定其在670 nm和580 nm处的吸

光值。

水溶性戊聚糖(WSP)的测定方法^[10]:准确称取面粉样品100 mg于50 mL的离心管中,加入10 mL蒸馏水,在30℃条件下置于往复振荡器上连续振荡120 min,然后于4 800 r/min下离心10 min,提取1.0 mL上清液,置于离心管中,并加入同体积的4 mol·L⁻¹盐酸溶液,盖紧盖子,在100℃水浴加热120 min。待冷却后再移取1.0 mL混合液,依次加入2 mL的蒸馏水、3 mL的0.1%的FeCl₃酸溶液和0.3 mL 1%的地衣酚醇溶液,涡旋振荡后于沸水浴中显色40 min,取出后在水流下迅速冷却,测定其在670 nm处的吸光值。

每个样品在测吸光值时做四次重复,再分别换算成戊聚糖含量后算平均值。

戊聚糖的计算公式:戊聚糖(%)=(C×0.88÷W)×10×n÷100

上式中,C为由标准曲线求得的木糖浓度;0.88:戊聚糖与木糖的比例;W为样品重量;n为稀释倍数。在制作标准曲线时,分别吸取0、0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 mL 100 μg·mL⁻¹的木糖标准液于10 mL试管中,分别加蒸馏水使总体积为3 mL的0.1%的FeCl₃酸溶液和0.3 mL 1%的地衣酚醇溶液,涡旋振荡后于沸水浴中显色40 min,取出后在水流下迅速冷却,水溶性戊聚糖用670 nm处测得的吸光值,总戊聚糖用670 nm和580 nm处测得的吸光值的差值。

非水溶性戊聚糖含量=总戊聚糖含量-水溶性戊聚糖含量。

用澳大利亚Newport Scientific公司的快速黏度仪(RVA)测定淀粉的高峰黏度、低谷黏度、稀懈值、糊化温度、反弹值、峰值时间和最终黏度。

1.3 统计分析

采用DPS统计软件进行方差分析和Duncan式多重比较以及相关分析。

2 结果与分析

2.1 多点试验的方差分析

安徽省淮南片2008—2009年度小麦品种区域试验的10个品种(基因型,G)、5个地点(环境,E)的10个性状的方差分析结果(表1)表明,除水溶性戊聚糖外,总戊聚糖、非水溶性戊聚糖、高峰黏度、低谷黏度、稀懈值、最终黏度、反弹值、峰值时间和糊化温度等品质性状的基因型方差均达到

极显著水平。除 WSP 和峰值时间不显著,TP 等 8 个性状的环境方差也达到极显著水平。水溶性戊聚糖的基因型与环境互作方差不显著,而其余 9 个性状的 G×E 达到极显著水平。从表 1 中还可以看出,总戊聚糖、水溶性和非水溶性戊聚糖含

量的环境变异>基因型变异>G×E 变异;而在 RVA 黏度的 7 个性状中,除了高峰黏度和稀懈值的基因型变异>环境变异>G×E 变异外,低谷黏度、最终黏度、反弹值、峰值时间和糊化温度都是基因型变异>G×E 变异>环境变异。

表 1 小麦籽粒戊聚糖含量和 RVA 黏度的方差分析

Table 1 Variation analysis of pentosan contents and RVA viscosity in wheat grains

性状 Trait	区组 Block	环境 Environment	基因型 Genotype	基因型×环境 G×E	误差 Error
DF	2	4	9	36	98
TP / %	0.40	13.41**	6.98**	4.82**	14.93
WSP / %	0.06	1.89	1.73	0.64	0.84
WIP / %	0.30	9.81**	6.08**	3.82**	14.42
高峰黏度 Peak viscosity /cp	121 598.17**	14 983 115.69**	42 486 681.63**	12 606 648.97**	6 480 969.83
低谷黏度 Hold through /cp	7 482.01**	2 962 950.27**	27 897 650.83**	9 562 357.07**	2 666 258.65
稀懈值 Break down /cp	1 989.76**	3 421 724.09**	3 957 977.79**	2 259 024.84**	989 437.57
最终黏度 Final viscosity /cp	129 636.05**	12 782 767.16**	65 693 142.56**	22 190 427.91**	6 567 204.61
反弹值 Set back /cp	13 574.92**	2 031 440.00**	10 706 708.27**	2 911 547.07**	1 514 965.75
峰值时间 Pasting time /min	0.013	1.90	9.06**	5.62**	3.10
糊化温度 Pasting temperature /℃	62.00**	796.74**	2 655.92**	1 683.47**	796.81

* 和 ** 分别表示 F 测验在 0.05 和 0.01 水平显著。

* and ** mean difference significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.2 不同基因型与不同环境条件下的性状表现

2.2.1 戊聚糖含量和 RVA 黏度的基因型差异

不同小麦品种(系)籽粒的总戊聚糖、水溶性戊聚糖、非水溶性戊聚糖含量及 RVA 黏度的 7 个指标值列于表 2。由表 2 可见,TP、WSP 和 WIP 含量的变幅分别为 5.16%~4.47%、1.27%~0.89% 和 4.11%~3.48%,平均值分别为 4.79%、1.05% 和 3.75%。皖 0606 的总戊聚糖和非水溶性戊聚糖含量最高,皖 0202 的水溶性戊聚糖含量最高,定红 201 的总戊聚糖含量和非水溶性戊聚糖含量最低,扬麦 16 的非水溶性戊聚糖含量最低,扬 06-164 的水溶性戊聚糖含量最低。

在 RVA 黏度的 7 个性状指标中,变幅分别是高峰黏度 3 966.47~1 806.60 cp,低谷黏度 2 428.80~725.07 cp,稀懈值 1 564.33~1 032.00 cp,最终黏度 4 118.07~1 594.80 cp,反弹值 1 782.60~747.80 cp,峰值时间 6.10~5.21 min,糊化温度 81.15~69.83℃,平均值分

别是 2 973.89 cp、1 707.03 cp、1 262.86 cp、3 066.23 cp、1 390.00 cp、5.89 min、74.58℃。扬辐麦 5242 的高峰黏度、低谷黏度、稀懈值、最终黏度、反弹值以及峰值时间表现最高值,07 安徽 03 的糊化温度值最高;而皖 0202 的高峰黏度、低谷黏度、最终黏度、反弹值和峰值时间表现最低值,定红 201 的糊化温度值最低以及扬麦 158 的稀懈值最低。

2.2.2 戊聚糖含量和 RVA 黏度的环境差异

由表 3 可以看出,TP、WSP 和 WIP 含量在五个地点间差异显著,除非水溶性戊聚糖含量的差异达到 0.05 显著水平外,总戊聚糖含量和水溶性戊聚糖含量差异均达到 0.01 极显著水平,变幅分别是 5.18%~4.26%(TP)、1.27%~0.94%(WSP)和 3.94%~3.25%(WIP)。其中,安庆试验点的三种戊聚糖含量均最高,六安试验点的总戊聚糖含量最低,天长试验点的水溶性戊聚糖含量最低。RVA 黏度的 7 个性状中,除峰值时间的

差异仅达到 0.05 显著水平外,高峰黏度、低谷黏度、稀懈值、最终黏度、反弹值以及糊化温度等 6 个性状差异均达到 0.01 极显著水平。它们在五个试验点之间的变幅分别是高峰黏度 3 294.80~2 380.97cp,低谷黏度 1 834.63~1 442.47 cp,稀懈值 1 415.67~1 028.05 cp,最终黏度 3 332.67~2 547.37 cp,反弹值 1 517.17~1 171.90 cp,

峰值时间 5.97~5.68 min,糊化温度 77.78~71.49℃;凤台试验点在低谷黏度、稀懈值、最终黏度、峰值时间和糊化温度等五个性状上表现出较高的平均值,六安试验点在高峰黏度、低谷黏度等全部 RVA 黏度性状上表现除较低的平均值,其余各试验点在不同的性状上表现各不相同。

表 2 戊聚糖含量和 RVA 黏度在不同品种间的多重比较

Table 2 Multiple comparative of pentosan contents and RVA viscosity in different wheat varieties

品种 Variety	TP /%	WSP /%	WIP /%	高峰黏度 Peak visc /cp	低谷黏度 Hold through /cp
扬 06-164	4.70cdeBCD	0.89eE	3.82abcABC	3 322.20bB	1 725.33cdC
皖垦麦 076	4.79cdeABCD	0.98dDE	3.81abcABC	3 175.47bcBC	1 978.60bB
扬辐麦 5242	4.76cdeABCD	0.96dDE	3.80abcABC	3 966.47aA	2 428.80aA
扬麦 16	4.64cdeCD	1.16bB	3.48dC	3 317.53bB	1 982.93bB
皖 0202	4.93abcABC	1.27aA	3.66bcdBC	1 806.60fF	725.07gF
扬 06G86	4.85bcdABCD	1.03cdD	3.82abcABC	3 039.73cdCD	1 954.40bB
07 安徽 03	4.53deCD	1.02cdD	3.51cdC	2 673.73eE	1 525.47eD
定红 201	4.47eD	0.99cdD	3.48dC	2 666.60eE	1 365.87fE
皖 0606	5.16aA	1.05cCD	4.11aA	2 891.40dDE	1 610.00deCD
扬麦 158	5.11abAB	1.14bBC	3.97abAB	2 879.20dDE	1 773.87cC
变幅 Ranges	5.16~4.47	1.27~0.89	4.11~3.48	3 966.47~1 806.60	2 428.80~725.07

品种 Variety	稀懈值 Break down /cp	最终黏度 Final visc /cp	反弹值 Set back /cp	峰值时间 Pasting time /min	糊化温度 Pasting temperature/℃
扬 06-164	1 416.87bB	3 383.33cdC	1 491.33bB	5.94bcABC	72.99dC
皖垦麦 076	1 423.53bB	3 296.73cdC	1 371.47cC	6.00abAB	80.72abA
扬辐麦 5242	1 564.33aA	4 118.07aA	1 782.60aA	6.10aA	71.86deCD
扬麦 16	1 281.27cC	3 726.60bB	1 583.67bB	6.02abAB	71.70deCD
皖 0202	1 061.53eDE	1 594.80gF	747.80eE	5.21eD	70.23eCD
扬 06G86	1 145.33dD	3 468.80cC	1 581.07bB	6.03abAB	78.95bcAB
07 安徽 03	1 141.60dD	2 869.60eD	1 310.80cC	5.97abcAB	81.15aA
定红 201	1 274.07cC	2 528.93fE	1 183.07dD	5.77dC	69.83eD
皖 0606	1 288.07cC	2 906.00eD	1 349.33cC	5.84cdBC	77.09cB
扬麦 158	1 032.00eE	3 219.40dC	1 498.87bB	6.05abA	71.26deCD
变幅 Ranges	1 564.33~1 032.00	4 118.07~1 594.80	1 782.60~747.80	6.10~5.21	81.15~69.83

小写和大写字母分别表示差异达到 0.05 和 0.01 显著水平,下同。

Different small and capital letters mean difference significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same are as in the following table.

2.3 戊聚糖含量和 RVA 黏度的相关性

由表 4 可以看出,总戊聚糖含量与非水溶性戊聚糖含量呈极显著正相关,水溶性戊聚糖与高峰黏度、稀懈值呈显著负相关;高峰黏度与低谷黏度、稀懈值、最终黏度、反弹值以及峰值时间呈极

显著正相关,低谷黏度与最终黏度、反弹值以及峰值时间呈极显著正相关,与稀懈值呈显著正相关,最终黏度与反弹值、峰值时间呈极显著正相关,反弹值与峰值时间也呈极显著正相关,这与阎俊等^[11]的研究结果基本一致。

表3 戊聚糖含量和 RVA 黏度在不同环境条件下的多重比较

Table 3 Multiple comparative of pentosan contents and RVA viscosity in different environmental conditions

性状 Trait	安庆 Anqing	天长 Tianchang	凤台 Fengtai	合肥 Hefei	六安 Liuan	变幅 Ranges
TP/%	5.18aA	4.89bB	4.78bB	4.87bB	4.26cC	5.18~4.26
WSP/%	1.27aA	0.94cC	1.00bBC	1.02bB	1.01bB	1.27~0.94
WIP/%	3.91aA	3.94aA	3.78aA	3.85aA	3.25bB	3.94~3.25
高峰黏度 Peak visco /cp	3 102.07bBC	3 294.80aA	3 141.00bAB	2 950.63cC	2 380.97dD	3 294.80~2 380.97
低谷黏度 Hold through /cp	1 732.53bcAB	1 815.80abAB	1 834.63aA	1 709.73cB	1 442.47dC	1 834.63~1 442.47
稀懈值 Break down /cp	1 282.87bB	1 415.67aA	1 423.03aA	1 164.23cC	1 028.50dD	1 415.67~1 028.05
最终黏度 Final visco /cp	3 332.67aA	3 266.90aAB	3 298.00aA	3 111.20bB	2 547.37cC	3 332.67~2 547.37
反弹值 Set back /cp	1 517.17aA	1 397.77bB	1 446.70bAB	1 416.47bB	1 171.90cC	1 517.17~1 171.90
峰值时间 Pasting time /min	5.95aA	5.97aA	5.97aA	5.90aA	5.68bB	5.97~5.68
糊化温度 Pasting temperature /℃	75.82bB	72.44cC	77.78aA	75.38bB	71.49cC	77.78~71.49

表4 戊聚糖含量和 RVA 黏度的相关性

Table 4 Correlation analysis between pentosan contents and RVA viscosity

	总戊聚糖 TP/%	水溶性 戊聚糖 WSP/%	非水溶性 戊聚糖 WIP/%	高峰黏度 Peak viscosity /cp	低谷黏度 Hold through /cp	稀懈值 Break down /cp	最终黏度 Final viscosity/cp	反弹值 Set back /cp	峰值时间 Pasting time /min
WSP/%	0.380								
WIP/%	0.870**	-0.130							
高峰黏度 Peak viscosity /cp	-0.140	-0.640*	0.190						
低谷黏度 Hold through /cp	-0.050	-0.540	0.230	0.960**					
稀懈值 Break down /cp	-0.280	-0.700*	0.080	0.780**	0.630*				
最终黏度 Final viscosity /cp	-0.090	-0.530	0.180	0.960**	0.980**	0.600			
反弹值 Set back /cp	-0.040	-0.530	0.240	0.940**	0.960**	0.510	0.980**		
峰值时间 Pasting time /min	-0.130	-0.590	0.170	0.840**	0.900**	0.410	0.910**	0.930**	
糊化温度 Pasting temperature /℃	0.001	-0.340	0.180	0.090	0.220	0.030	0.170	0.150	0.350

* 和 ** 分别表示在 0.05 和 0.01 水平上相关显著。

* * and ** refer to the correlation significant at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

3 讨论

戊聚糖是由阿拉伯糖和木糖聚合而成的,所以也叫阿拉伯糖基木聚糖,该糖能够与造粉体膜(Amyloplast membrane)相互作用,具有较强的吸水能力^[12]。Bettge 等^[13]认为,与造粉体膜相连的戊聚糖或许能够调节淀粉-蛋白质基质的黏合

力,从而对籽粒硬度有一定影响。小麦籽粒戊聚糖含量受到自身的基因型、环境以及二者的互作效应的影响。姜丽娜等^[14]研究发现基因型、环境以及二者的互作效应是影响小麦籽粒中总戊聚糖含量和水溶性戊聚糖含量的主要因素。李春喜等^[15]对不同生态条件下小麦籽粒中戊聚糖含量的研究结果也表明环境因素对戊聚糖含量有很大

的影响,但以基因型影响为主。而王莉芳等^[16]在不同生态点播期对小麦籽粒戊聚糖含量的影响研究表明,在播期、环境和基因型因子中以环境对戊聚糖含量的影响最大。张勇等^[17]研究表明,所有淀粉黏度参数均受基因型、环境以及二者互作效应的共同影响。姚大年等^[18]在面粉黏度特性与面条品质的相关性研究中发现,峰值黏度的高低与面条品质呈正相关关系。姚大年等^[19]的研究还发现,RVA黏度的七个性状指标中,除糊化温度受基因型效应影响大于环境效应以外,高峰黏度、低谷黏度、稀懈值、最终黏度、反弹值以及峰值时间的环境效应影响大于基因型效应。本研究结果表明,总戊聚糖、水溶性戊聚糖含量以及非水溶性戊聚糖含量在不同的品种和不同生态点间均达有极显著差异,环境效应对其影响大于基因型效应;对RVA黏度的7个性状来说,基因型效应大于环境效应,这与李春喜、姚大年、阎俊等^[15,19,20]的研究结果基本一致。因此,在小麦品质改良中,针对戊聚糖含量进行材料选择时,要注意环境变异的影响。

参考文献:

- [1] Izydorczyk M S, Biliaderis C G. Oxidative G. Studies of water-soluble pentosans from wheat[J]. *Cereal Science*, 1990, 11: 153-169.
- [2] 姚大年,钱森和,张文明,等. 戊聚糖在小麦品质改良中的研究和利用[J]. *安徽农业大学学报*, 2005, 32(2): 183-186.
- [3] Bettge A D, Morris C F. Relationships among grain hardness, pentosan fractions, and end-use quality of wheat[J]. *Cereal Chemistry*, 2000, 77(2): 241-247.
- [4] 郑学玲,李利民,姚惠源,等. 小麦麸皮及面粉戊聚糖对面团特性及面包等烘培品质的比较研究[J]. *中国粮油学报*, 2005, 20(4): 21-25.
- [5] 乔玉强,马传喜,黄正来,等. 小麦品质性状的基因型与环境及其互作效应分析[J]. *核农学报*, 2008, 22(5): 706-711.
- [6] 袁建,汪海峰,杨晓蓉. 影响小麦品质性状变异的主要因素[J]. *江苏农业科学*, 2001(2): 19-22.
- [7] 张华文,田纪春,刘艳玲. 小麦品种间籽粒品质性状表现及其相关性分析[J]. *山东农业科学*, 2004(6): 10-12.
- [8] 赵虹,王西成,李铁庄,等. 河南省小麦品种的品质性状分析[J]. *华北农学报*, 2000, 15(3): 126-131.
- [9] 杨学举,周进宝,万永红. 优质小麦品质形状的环境变异研究[J]. *麦类作物学报*, 2000, 20(3): 21-24.
- [10] Hashimoto S, Shogren M D, Pomeranz Y. Their estimation and significance (I): pentosan in wheat and milled wheat products [J]. *Cereal Chemistry*, 1987, 64(1): 30-40.
- [11] 阎俊,张勇,何中虎. 小麦品种糊化特性研究[J]. *中国农业科学*, 2001, 34(1): 9-13.
- [12] Kavitha R, Chandrashekar A. Content and composition of nonstarchy polysaccharides in endosperms of sorghums varying in hardness[J]. *Cereal Chemistry*, 1992, 69: 440-443.
- [13] Bettge A D, Morris C F. Relationships among grain hardness, pentosan fractions, and end-use quality of wheat[J]. *Cereal Chemistry*, 2000, 77: 241-247.
- [14] 姜丽娜,邵云,明红,等. 基因型和环境对小麦籽粒戊聚糖含量和黏度的影响[J]. *河南农业科学*, 2007(1): 17-19.
- [15] 李春喜,邱宗波,姜丽娜,等. 不同生态条件下小麦籽粒中戊聚糖含量的初步研究[J]. *华北农学报*, 2002, 17(2): 1-4.
- [16] 王莉芳,戴廷波,荆奇,等. 不同生态播期对小麦籽粒戊聚糖含量的影响[J]. *南京农业大学学报*, 2006, 29(4): 11-14.
- [17] 张勇,何中虎. 我国春播小麦淀粉糊化特性研究[J]. *中国农业科学*, 2002, 35(5): 471-475.
- [18] 姚大年,刘广田,朱金宝,等. 小麦品种面粉黏度性状及其与面条品质的相关性研究[J]. *中国农业大学学报*, 1997, 2(3): 52-68.
- [19] 姚大年,刘广田,朱金宝,等. 基因型和环境对小麦品种籽粒性状及馒头品质的影响[J]. *中国粮油学报*, 2000, 15(2): 1-4.
- [20] 阎俊,何中虎. 基因型、环境及其互作对黄淮海区小麦淀粉品质性状的影响[J]. *麦类作物学报*, 2001, 21(2): 14-19.