

68 份小麦脂肪氧化酶活性和戊聚糖含量的测定和聚类分析

王 慧^{1,2}, 崔文礼¹, 张从合², 顾明超¹, 吴 萍¹, 郑文寅¹, 张文明¹, 姚大年^{1*}

(1. 安徽农业大学农学院, 合肥 230036; 2. 安徽荃银高科种业股份有限公司, 合肥 230088)

摘 要: 脂肪氧化酶 (LOX) 活性和戊聚糖是影响小麦营养和加工品质的重要因素。选用 68 个小麦品种(系) 作为试验材料, 测定其籽粒 LOX 活性、总戊聚糖、水溶性和非水溶性戊聚糖含量, 并进行方差分析。结果表明, LOX 活性、总戊聚糖、水溶性和非水溶性戊聚糖含量在品种间差异均达到极显著, LOX 活性和 3 种戊聚糖含量的平均值分别为 10.35 nkat·g⁻¹、4.49%、0.90% 和 3.59%, 变幅分别为 4.50~19.40 nkat·g⁻¹、2.93%~5.95%、0.49%~1.35% 和 1.92%~5.01%。采用最长距离法对参试的 68 个小麦品种籽粒的 LOX 活性、总戊聚糖、水溶性以及非水溶性戊聚糖含量进行聚类分析, 结果聚为 4 类。

关键词: 小麦; 脂肪氧化酶; 戊聚糖; 聚类

中图分类号: S512.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X (2014)01-0100-05

Determination and cluster analysis of lipoxygenase (LOX) activity and pentosan content in 68 wheat varieties

WANG Hui^{1,2}, CUI Wenli¹, ZHANG Conghe², GU Mingchao¹, WU Ping¹, ZHENG Wenyin¹, ZHANG Wenming¹, YAO Danian¹

(1. School of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei 230036; 2. Anhui Win-all Hi-tech Seed Co. LTD., Hefei 230088)

Abstract: Lipoxygenase (LOX) and pentosan are the most important factors which affect nutritional quality and processing quality of common wheat. Sixty-eight wheat varieties (lines) were selected to determine LOX activity, and the contents of total pentosan (TP), water-soluble pentosan (WSP) and water-insoluble pentosan (WIP), and variances among the wheat varieties were analyzed. The results indicated that the difference of LOX activity, content of TP, WSP and WIP were highly significant among the varieties. The means of LOX activity, the contents of WSP, WIP and TP were 10.35 nkat·g⁻¹, 4.49%, 0.90% and 3.59%, respectively. The range of them were 4.50-19.40 nkat·g⁻¹, 2.93%-5.95%, 0.49%-1.35% and 1.92%-5.01%, correspondingly. Based on the longest distance (Euclidean distance) method, all the varieties could be clustered into four major groups.

Key words: wheat; lipoxygenase; pentosan; cluster analysis

小麦是我国主要粮食作物之一, 是制粉和食品加工的重要原料。随着我国经济的发展和人民生活水平的提高, 市场对优质小麦的需求不断增加, 小麦品质改良日益受到人们的重视。然而, 国内外对小麦品质的研究多注重其蛋白质和淀粉品质性状, 忽视了含量较少但对品质有重要影响的组分, 脂肪氧化酶 (LOX) 和戊聚糖就是其中的组分^[1-3]。

脂肪氧化酶(Lipoxygenase, EC1.13.11.12, 简称

LOX)在小麦中的含量很低, 但对小麦的营养和加工品质都有重要的影响。脂肪氧化酶能专一催化多元不饱和脂肪酸的加氧反应, 主要作用底物是亚油酸酯和亚麻酸酯, 生成具有共轭双键的过氧化氢衍生物等挥发性物质, 能直接与食品中的蛋白质和氨基酸结合, 降低食品的风味^[4]。研究表明, LOX 会降解小麦中的类胡萝卜素, 使小麦粉失去许多营养成分, 进而造成麦类食品的营养价值下降^[1-2,5]。

收稿日期: 2012-11-14

基金项目: 国家自然科学基金 (31071404, 31371615), 教育部高校博士点基金 (20103418110002), 安徽省高校自然科学基金项目 (KJ2012Z105) 和安徽省资助创新项目 (11Z0101080) 共同资助。

作者简介: 王 慧, 硕士研究生。E-mail: wanghui19851223@163.com

* 通信作者: 姚大年, 博士, 教授, 博士生导师。E-mail: dnyao@163.com

Leenhardt 等^[1]认为栽培一粒小麦 (AA)、杜仓小麦 (AABB) 和面包小麦 (AABBDD) 的 LOX 活性差异达到 0.001 显著水平, 面包小麦的 LOX 活性是杜仓小麦的近 2.5 倍, 是一粒小麦的 7.5 倍, 认为 LOX 活性随着染色体倍数的增加而大幅度提高。Borrelli 等^[6]分别研究杜仓小麦和普通小麦品种的 LOX 活性, 结果表明, LOX 活性在杜仓小麦品种间存在显著差异, LOX 活性在很大程度上受基因型支配, 并在普通小麦上得出相似的结果。王慧等^[7]研究表明小麦 LOX 活性的基因型和环境差异均达到极显著, 基因型效应大于环境及基因型与环境互作效应。此外, LOX 还能够氧化小麦中一些脂类物质, 使面粉丧失麦香味而影响麦类食品口感^[1-2]。

戊聚糖不仅是小麦中主要抗营养因子之一^[8], 而且对小麦的硬度、加工品质、面团的粘稠度、流变学特性以及面包的烘焙品质和淀粉的回生等都有着重要的影响^[3,9-11]。戊聚糖 (Pentosans) 也称为阿拉伯木聚糖 (Arabinoxylans), 主要由阿拉伯糖 (Arabinose) 和木糖 (Xylose) 组成。根据溶解性不同, 可将戊聚糖分为水溶性戊聚糖 (Water-soluble pentosans, WSP) 和非水溶性戊聚糖 (Water-insoluble pentosans, WIP)^[3], 二者的和为总戊聚糖 (Total pentosans, TP)。研究表明, 小麦中的戊聚糖与蛋白质一起参与面筋网络结构的形成, 从而改善面团的加工性状, 提高面包的品质^[12-13], 但戊聚糖也会对饼干和糕点品质有负面影响^[3]。胥红研等^[14]研究表明, 中强筋小麦品种具有比弱筋小麦品种更高的戊聚糖含量, 弱筋小麦的水溶性戊聚糖含量与饼干直径呈显著负相关; 非水溶性戊聚糖、总戊聚糖与饼干直径亦呈极显著负相关; 同时密穗小麦可能是一个优良的弱筋、低戊聚糖含量的饼干小麦资源。Bettge 等^[15]认为小麦水溶性戊聚糖对面团及面筋品质起到正向作用。

因此, 研究小麦中的 LOX 活性和戊聚糖含量对增加小麦附加值有着重要意义。本试验初步分析了 68 个小麦品种 (系) 的 LOX 活性、总戊聚糖、水溶性和非水溶性戊聚糖的含量, 并对其进行相关和聚类分析, 旨在为针对 LOX 和戊聚糖的小麦品质改良提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为 68 个来源于豫鲁及北方部分省 (市)、苏皖及长江流域等南方部分省 (市) 和国外的小麦品种 (系) (表 1), 于 2010~2011 年在安徽

农业大学试验农场种植, 所有品种 (系) 种在同一地块, 田间采取随机区组试验, 3 次重复, 田间管理按常规进行。收获晒干后用 Foss Tecator 公司生产的 Cyclotec1093 型旋风磨 (0.5 mm 筛孔) 制成全麦粉用于脂肪氧化酶活性和戊聚糖含量测定。

1.2 试验方法

1.2.1 脂肪氧化酶活性的测定 参照 Catod 等的分光光度计法^[16]测定小麦籽粒中 LOX 活性, 并加以适当改良后进行。

底物配置: 0.5 mL 吐温溶解于 10 mL 0.05 mol·L⁻¹ pH9.0 的硼酸缓冲液中混匀, 再逐滴加入 0.5 mL 亚油酸, 混匀成乳浊液后加入 1.3 mL 1 mol·L⁻¹ 的 NaOH 至溶液澄清, 然后加入 90 mL 0.05 mol·L⁻¹ pH9.0 的硼酸缓冲液, 用 HCl 调节 pH 至 7.0 后定溶到 200 mL。

酶提取液: 称取 0.5 g 全麦粉或小麦粉, 加入 2.5 mL 0.1 mol·L⁻¹ pH7.5 的磷酸缓冲液在 4℃ 条件下混匀 30 min 后在 8000 r·min⁻¹ 4℃ 下离心 10 min 即为酶提取液。

反应体系: 9.5 mL 0.05 mol·L⁻¹ pH5.6 醋酸钠缓冲液加入 0.3 mL 亚油酸底物加入 60 μL 酶提取液, 用 UV-1100 型分光光度计 (上海美谱达公司生产) 在 234 nm 处用 1 cm 光程的石英比色皿测定共轭过氧化物的吸光度, 用底物作对照。每 15 s 记录一个数据, 观察 OD 值的变化。

LOX 计算公式: $A = [OD(30\text{ s}) - OD(15\text{ s})] / 0.01$
式中 A 为酶活性单位, OD(30 s) 为反应 30 s 的 OD 值, OD(15 s) 为反应 15 s 的 OD 值, 0.01 为一个常数, 即一分钟内 3 mL 的反应体系在 234 nm 吸光度下增加 0.01 作为一个酶活力单位。

1.2.2 戊聚糖含量的测定 采用地衣酚-盐酸法^[3]测定水溶性戊聚糖和总戊聚糖含量, 并换算出非水溶性戊聚糖含量。

1.3 统计分析

室内实验在安徽农业大学种子科学与工程实验室进行, 所有测得的数据均输入 Excel 进行整理。然后导入 DPS 统计分析软件进行方差分析、相关分析和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 脂肪氧化酶活性与戊聚糖含量的差异

测定结果表明 (表 1), 小麦品种 (系) 籽粒 LOX 活性与戊聚糖含量变异范围较大, 其中 LOX 活性的变幅为 4.50~19.40 nkat·g⁻¹, 平均值为 10.35 nkat·g⁻¹, 活性较高的为鹤麦 026、内白和 W1032 等,

活性较低的为周麦 12、陕优 228 和淮麦 19 等；总戊聚糖含量的变幅为 2.93%~5.95%，平均值为 4.49%，含量较高的为鲁麦 22、周麦 12 和西安 168 等，含量较低的为丰抗 2 号、Gamenya 和淮麦 19 等；水溶性戊聚糖含量的变幅为 0.49%~1.35%，平均值为 0.90%，含量较高的为鲁麦 22、扬麦 158 和

漯 9908 等，含量较低的为皖麦 52、皖麦 47 和皖麦 54 等；非水溶性戊聚糖含量的变幅为 1.92%~5.01%，平均值为 3.59%，含量较高的为鲁麦 22、西安 168 和周麦 12 等，含量较低的为丰抗 2 号、烟农 361 和 Gamenya 等。

表 1 68 份小麦品种(系) LOX 活性及戊聚糖含量的测定结果
Table 1 The distribution of LOX activity and pentosan content in 68 wheat varieties (lines)

编号 No	品种(系) Varieties	LOX 活性 /nkat·g ⁻¹ LOX activity	TP/%	WSP/%	WIP/%	编号 No	品种(系) Varieties	LOX 活性 /nkat·g ⁻¹ LOX activity	TP/%	WSP/%	WIP/%
1	周麦 11	4.50	4.30	0.81	3.48	36	皖麦 41	10.50	4.95	1.04	3.91
2	陕优 228	4.83	4.15	0.62	3.53	37	鄂麦 19	10.53	3.80	0.55	3.25
3	淮麦 19	4.87	3.33	0.84	2.50	38	鄂恩 1 号	10.63	3.62	1.06	2.56
4	内乡 188	5.07	4.31	0.67	3.64	39	扬麦 15	10.70	4.35	0.60	3.75
5	篙优 9409	5.27	3.88	0.56	3.32	40	烟农 21	10.70	3.96	0.79	3.17
6	安农 95081-8	5.43	4.08	0.81	3.27	41	漯 9908	10.97	4.51	1.30	3.21
7	源育三号	5.47	4.27	0.73	3.54	42	周优 102	11.07	3.70	1.17	2.53
8	扬麦 93111	5.57	3.96	0.84	3.13	43	豫麦 34	11.17	4.42	0.99	3.43
9	新麦 18	6.10	5.14	0.79	4.34	44	扬麦 16	11.23	4.63	0.92	3.72
10	Stardy	6.57	4.72	1.10	3.61	45	周麦 18	11.63	5.06	0.61	4.45
11	扬麦 158	6.80	3.84	1.35	2.49	46	皖麦 48	11.73	4.47	0.50	3.97
12	金麦王 1 号	6.90	3.91	0.83	3.08	47	皖麦 38	11.97	5.79	1.18	4.60
13	小冰 33	7.07	5.08	0.63	4.45	48	偃展 1 号	12.00	5.24	0.87	4.37
14	Kanto107	7.23	5.59	0.99	4.60	49	豫麦 50	12.30	4.42	0.99	3.43
15	太空 35	7.23	4.32	0.94	3.37	50	Gamenya	12.37	3.04	0.57	2.48
16	陕优 229	7.40	3.88	1.03	2.85	51	鄂麦 6 号	12.47	4.54	1.16	3.37
17	百农 64	7.43	3.51	0.87	2.64	52	烟农 19	12.57	5.06	0.84	4.22
18	新麦 208	7.57	5.48	0.97	4.51	53	邯郸 6172	12.93	4.99	0.87	4.12
19	Norin67	7.63	4.70	0.54	4.16	54	矮抗 58	13.03	5.37	0.82	4.56
20	小偃 6 号	7.87	4.50	1.11	3.39	55	济麦 21	13.07	3.66	0.61	3.05
21	皖麦 33	8.07	5.39	1.09	4.30	56	丰抗 2 号	13.43	2.93	1.01	1.92
22	泛麦 5 号	8.27	4.14	0.98	3.16	57	中优 9507	13.47	4.47	0.92	3.54
23	皖麦 52	8.30	4.84	0.49	4.35	58	徐麦 270	13.50	4.22	1.25	2.97
24	陕优 225	8.50	3.77	1.11	2.67	59	济宁 12	13.87	4.32	0.96	3.36
25	周麦 12	8.57	5.82	1.14	4.68	60	烟农 361	14.13	3.53	1.06	2.47
26	西安 168	8.90	5.81	0.80	5.01	61	Halberd	14.23	4.39	0.64	3.76
27	苏麦 3 号	9.17	5.21	1.13	4.08	62	周麦 16	15.13	3.90	0.88	3.03
28	川育 8 号	9.50	4.64	0.52	4.12	63	安农糯 1	16.67	5.54	1.14	4.40
29	扬麦 9 号	9.63	4.39	0.63	3.76	64	鲁麦 22	17.27	5.95	1.96	4.89
30	皖麦 47	9.77	3.65	0.49	3.16	65	江白	17.37	4.35	0.85	3.50
31	豫展 10 号	9.80	4.84	1.24	3.60	66	W1032	17.60	4.73	1.16	3.57
32	皖麦 54	10.00	3.79	0.50	3.30	67	内白	18.23	3.85	0.79	3.06
33	皖麦 44	10.00	4.85	1.27	3.58	68	鹤麦 026	19.40	4.83	1.00	3.83
34	富志 1 号	10.00	4.77	1.26	3.51		平均 Average	10.35	4.49	0.90	3.59
35	郑麦 9023	10.43	4.58	1.06	3.52		变幅 Range	4.50~ 19.40	2.93~ 5.95	0.49~ 1.35	1.92~ 5.01

注：按 LOX 活性从低到高顺序排列；因品种数量多，多重比较表略。

Note: The serial number for the varieties was arranged according to the LOX activities from high to low. The multiple comparison results were omitted because of lots of varieties.

表 2 68 份小麦品种 (系) LOX 活性及戊聚糖含量方差分析
Table 2 Variance analysis of lipoxygenase activity and pentosan content in 68 wheat varieties

变异来源 Source of variance	LOX 活性 LOX activity	总戊聚糖 TP	水溶性戊聚糖 WSP	非水溶性戊聚糖 WIP
品种间 Intervarietal	95.42**	39.79**	437.42**	36.86**
误差 Error	0.40	0.03	0.0003	0.03

注: “**”表示 F 测验达到 0.01 显著; $F_{(67, 67) 0.05}=1.49$, $F_{(67, 67) 0.01}=1.77$.

Note: “**”refers to significant difference at the 0.01 level, $F_{(67, 67) 0.05}=1.49$, $F_{(67, 67) 0.01}=1.77$.

方差分析结果表明, 品种间 LOX 活性、总戊聚糖含量、水溶性和非水溶性戊聚糖含量之间均达到极显著差异 (表 2)。说明不同小麦品种 (系) LOX 活性和戊聚糖含量存在着较大的差异。

2.2 脂肪氧化酶活性和戊聚糖含量的相关性

对 68 份小麦籽粒中的戊聚糖含量进行相关分析 (表 3), 结果表明总戊聚糖与水溶性戊聚糖含量呈显著正相关, 总戊聚糖与非水溶性戊聚糖含量呈极显著正相关, 这与崔文礼等研究的结果一致^[17]。

表 3 戊聚糖含量的相关分析

Table 3 Correlation analysis of pentosan content in different wheat varieties

	总戊聚糖 TP	水溶性戊聚糖 WSP
总戊聚糖 TP		
水溶性戊聚糖 WSP	0.25*	
非水溶性戊聚糖 WIP	0.94**	-0.09

注: “*”及“**”分别表示 0.05 及 0.01 水平上的显著性差异。

Note: “*”and“**”refer to significant difference at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

2.3 小麦品种 (系) LOX 活性和戊聚糖的含量聚类

采用最长距离法对供试的 68 个小麦品种 (系) LOX 活性、总戊聚糖含量、水溶性戊聚糖含量和非水溶性戊聚糖含量进行聚类分析, 从图 1 可以看出, 将供试品种聚为 4 类较为合适。

其中周麦 12、西安 168、新麦 208 等 26 个品种 (系) 聚为第 1 类, LOX 活性的变动范围为 4.5~8.9 nkat·g⁻¹, 总戊聚糖、水溶性和非水溶性戊聚糖含量的变动范围分别为 3.33%~5.93%、0.49%~1.35% 和 2.49%~5.01%; 矮抗 58、烟农 19、邯郸 6172 等 27 个品种 (系) 聚为第 2 类, LOX 活性的变动范围为 9.17~13.03 nkat·g⁻¹, 3 种戊聚糖含量的变动范围分别为 3.62%~5.95%、0.49%~1.34% 和 2.53%~4.61%; 济宁 12、中优 9507、徐麦 270 等 9 个品种 (系) 聚为第 3 类, LOX 活性的变动范围为 12.37~15.13 nkat·g⁻¹, 3 种戊聚糖含量的变动范围分别为 2.93%~4.47%、0.57%~1.25% 和 1.92%~

3.76%; 鲁麦 22、安农糯 1、鹤麦 026 等 6 个品种 (系) 聚为第 4 类, LOX 活性的变动范围为 16.67~19.40 nkat·g⁻¹, 3 种戊聚糖含量的变动范围分别为 3.85%~5.82%、0.79%~1.16% 和 3.06%~4.87%。

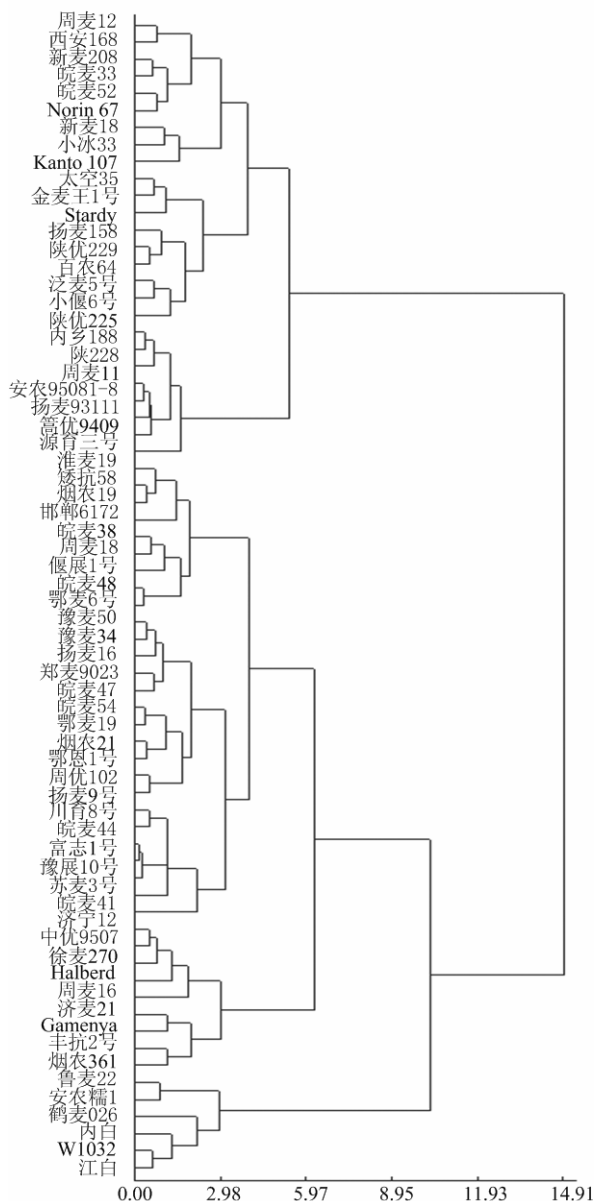


图 1 68 份小麦品种 (系) LOX 活性与戊聚糖含量的聚类分析

Figure 1 The cluster analysis of LOX activity and pentosan content in 68 wheat varieties

3 讨论

Leenhardt 等^[1]和 Leach 等^[5]研究了 LOX 活性与小麦黄色素以及面粉中营养成分等的关系, 结果表明 LOX 会偶联氧化小麦面粉中的类胡萝卜素, 可以取代化学漂白剂使小麦粉变白, 提高其商品性; 但是过高的 LOX 活性则会破坏小麦的黄色素, 使小麦粉过于白而失去了许多营养成分。姜丽娜^[18]等研究得出, 作为面包、饼干等烘焙食品的原料, 需要选用水溶性戊聚糖含量较高的小麦品种; 郑学玲等^[19]研究发现面粉的水溶性戊聚糖对面包、饼干等烘焙食品的改良效果最好, 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。

本研究结果表明, 68 个小麦品种(系)间的 LOX 活性在品种间差异达到极显著, 说明小麦的 LOX 活性在很大程度上受基因型支配, 这与 Borrelli 等人^[6]的研究结果基本相似。总戊聚糖、水溶性及非水溶性戊聚糖含量在品种间差异也达到极显著, 这与 Hong^[9]和姚大年等^[20]的研究结果较为一致。莫惠栋^[21]认为, 从育种家利用品种资源而言, 可能两三个重要性状的聚类最有用; 从品种资源的分类而言, 则应尽可能反映品种的综合性状, 因而有较多性状参与聚类。本研究对小麦籽粒 LOX 活性、总戊聚糖、水溶性和非水溶性戊聚糖含量 4 个因素综合考虑, 以此 4 个性状为依据进行聚类分析, 结果聚为 4 类。这些分类, 为根据不同的育种目标选择不同的育种材料提供了参考依据。

参考文献:

- [1] Leenhardt F, Lyan B, Rock E, et al. Genetic variability of carotenoid concentration and lipoxigenase and peroxidase activities among cultivated wheat species and bread wheat varieties [J]. *Eur J Agronomy*, 2006, 25: 170-176.
- [2] Irvine G N, Winkler C A. Factors affecting the color of Macaroni. II, kinetic studies of pigment destruction during mixing[J]. *Cereal Chem*, 1950, 27: 205-218.
- [3] Rouau X, Moreau D. Effect of an enzyme preparation containing pentosanases on the breadmaking quality of flours in relation to changes in pentosan properties[J]. *Cereal Sci*, 1994, 19: 259-272.
- [4] Kühn H, Thiele B J. The diversity of the lipoxigenase family[J]. *Febs Lett*, 1999, 449: 7-11.
- [5] Leach R C, Mares D J. Quantitative trait locus associated with lipoxigenase activity in bread wheats: a tool to improve the market ability of Australian bread wheat [C]//In *Cereals 2004. Proc of 54th Australian cereal chemistry conference and 11th wheat breeder assembly*. 2004: 130-133.
- [6] Borrelli G M, De Leonardis A M, Platani C, et al. Distribution along durum wheat kernel of the components involved in semolina color[J]. *Journal of Cereal Science*, 2008, 76: 1-9.
- [7] 王慧, 郑文寅, 樊宏, 等. 不同小麦品种籽粒中 LOX 活性及基因型和环境互作分析[J]. *中国粮油学报*, 2011, 26(1): 11-14.
- [8] 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.
- [9] Hong B H, Rubenthaler G L, Allen R E. Wheat pentosans(I): cultivar variation and relationship to kernel hardness[J]. *Cereal Chemistry*, 1989, 66 (5): 369-373.
- [10] 李春喜, 邱宗波, 姜丽娜, 等. 小麦品种籽粒戊聚糖含量的初步研究[J]. *麦类作物学报*, 2002, 22(1): 47-50.
- [11] 姚大年, 钱森和, 张文明, 等. 戊聚糖在小麦品质改良中的研究与利用[J]. *安徽农业大学学报*, 2005, 32(2): 183-186.
- [12] Graybosch R A. Waxy wheats: origin, properties, and prospects[J]. *Trends of Food Science and Technology*, 1998, 9: 135-142.
- [13] 陈东升, Kiribuchi-Otobe C, 徐兆华, 等. Waxy 蛋白缺失对小麦淀粉特性和中国鲜面条品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2005, 38(5): 865-873.
- [14] 胥红研, 张媛, 王海燕, 等. 不同品质类型小麦戊聚糖含量及其与品质的关系[J]. *麦类作物学报*, 2009, 29(4): 613-617.
- [15] 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.
- [16] Catod L, Halmos A L, Small D M. Measurement of lipoxigenase in Australian white wheat flour: the effect of lipoxigenase on the quality properties of white salted noodles[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2006, 86: 1670-1678.
- [17] 崔文礼, 姚大年, 张文明, 等. 138 个小麦品种(系)戊聚糖含量的研究[J]. *中国粮油学报*, 2010, 25(2): 11-17.
- [18] 姜丽娜, 邵云, 张霞, 等. 小麦籽粒戊聚糖含量及相关遗传特性分析[J]. *麦类作物学报*, 2004, 24(2): 28-31.
- [19] 郑学玲, 姚惠源, 李利民, 等. 小麦麸皮及面粉戊聚糖对面团特性及面包等烘焙品质影响的比较研究[J]. *中国粮油学报*, 2005, 20(2): 21-25.
- [20] 姚大年, 钱森和, 张文明, 等. 不同品种小麦中戊聚糖含量的初步研究[J]. *粮食与饲料工业*, 2007(5): 9-10; 15.
- [21] 莫惠栋. 江浙沪大麦品种农艺性状的聚类分析[J]. *中国农业科学*, 1987, 20(3): 28-38.