

小麦品种(系)籽粒 LOX 活性与部分品质性状关系的研究

吴萍, 陈瑞瑞, 任得强, 郑文寅, 张文明, 姚大年*

(安徽农业大学农学院, 合肥 230036)

摘要: 研究 10 个小麦品种(系)随机区组试验的 LOX 活性、蛋白质、湿面筋、沉降值、籽粒硬度、直链淀粉和 RVA 参数等 13 个品质性状及其相关性。结果表明, 除糊化温度之外, 其余 12 个品质性状的品种间均达到极显著; 全麦粉 LOX 活性与面粉 LOX 活性呈极显著正相关, 与最后粘度、反弹值、峰值时间和直链淀粉含量呈极显著负相关, 与低谷粘度呈显著负相关; 面粉 LOX 活性与低谷粘度、最后粘度、反弹值和峰值时间呈极显著负相关, 与高峰粘度和直链淀粉含量呈显著负相关。认为小麦品种(系)籽粒的 LOX 活性高对全麦粉和面粉的若干主要品质性状存负面的影响; 就针对籽粒 LOX 活性的品质改良而言, 认为在育种中应尽量筛选那些 LOX 活性较低的材料。讨论了脂肪氧化酶在小麦品质改良中的利用等问题。

关键词: 小麦; 品种; LOX 活性; 品质

中图分类号: S512.1

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2013)04-0564-06

Activity of LOX and relations among the relative characters in wheat varieties

WU Ping, CHEN Rui-ru, REN De-qiang, ZHENG Wen-yin, ZHANG Wen-ming, YAO Da-nian

(School of Agronomy, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: The LOX activity, protein, amylose, RVA parameters and other 9 quality traits showed that, in addition to pasting temperature, the difference of the remaining 12 quality traits were highly significant among the 10 wheat varieties in random plot experiment. Correlation analysis showed that the LOX activity of whole mills was high positively correlated with that of flour, high negatively or negatively correlated with the final viscosity, set back, peak time, amylose contents and low viscosity; LOX activity of flour was high negatively or negatively correlated with low viscosity, final viscosity, set back, peak time, peak viscosity and amylose contents. The high LOX activity show negative impact on the major quality traits of the whole wheat flour and flour in the grains. Therefore, we should screen the materials of low LOX activity in the breeding. Utilization of LOX to the improvement of wheat quality was discussed.

Key words: wheat; varieties; LOX activity; quality

小麦中脂肪氧化酶含量很低, 但是对小麦的储藏品质、营养品质和加工品质都有着重要的影响。脂肪氧化酶(Lipoxygenase, EC1.13.11.12, 简称 LOX)是一种含有非血红素铁的蛋白质, 广泛存在于自然界中^[1-3]。有研究发现, LOX 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^[4-5]。国内外有关研究表明, LOX

会偶联氧化小麦中的类胡萝卜素, 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 活性则会破坏小麦籽粒中的黄色素, 使小麦粉变得过于白而失去了许多营养成分, 进而造成麦类食品的营养价值下降^[6-7]。LOX 能够氧化小麦中一些脂类物质从而使小麦粉丧失麦香味而影响麦类食品的口感^[6, 8]。抗氧化学说认为, 类胡萝卜素可以降低氧化作用的损伤而对人体有一定的保健作用^[9]。综上所述, 研究小麦籽粒中 LOX 活性及其与品质

收稿日期: 2012-12-04

基金项目: 国家自然科学基金(31071404), 教育部高校博导基金项目(20103418110002), 安徽省高等学校省级自然科学研究项目(KJ2012Z105)和安徽省自主创新项目(11Z0101080)共同资助。

作者简介: 吴萍, 男, 硕士研究生。E-mail: wupingwlb@163.com

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

性状之间的关系对于改良小麦品质有着重要的现实意义。

本研究选择了皖麦 48 等 10 个小麦品种(系)为试材, 研究籽粒 LOX 活性及若干主要品质性状间的差异; 分析了全麦粉和面粉 LOX 活性与若干品质性状的关系, 旨在为针对 LOX 活性的小麦品质改良提供参考依据。

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试的 10 个小麦品种(系)分别是皖麦 19、皖麦 48、皖麦 52、安农 1032、郑麦 9023、郑麦 9405、豫麦 18-64、扬麦 12、淮麦 20 和烟农 19。于 2010~2011 年种植于安徽农业大学试验农场。田间采用随机区组设计, 3 次重复, 每重复 10 个小区, 每小区 10 行, 行长 2 m, 行距 25 cm, 每行 60 株左右。田间管理与大田生产水平一致, 于成熟期收获、晾晒, 然后在缸内储藏 2 个月备用。

1.2 实验方法

1.2.1 全麦粉和面粉制备 全麦粉用上海嘉定公司生产的 JFSD-100 型旋风磨制备, 过直径 0.5 mm 筛孔。面粉按常规实验方法制备, 即小麦籽粒经润麦 24 h 使水分达到 14% 左右, 用 Brabender 公司生产的 880110 型实验磨制粉, 过 100 目筛, 出粉率 60% 左右, 面粉密封放入冷藏柜中保存备用。

1.2.2 LOX 活性测定 参照 Larisa Catod 的分光光度计法^[10], 并加以适当改良后, 测定小麦籽粒中 LOX 活性。

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 mol·L⁻¹ 的 NaOH 1.3 mL 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 克全麦粉或小麦粉, 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 8 000 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。

1.2.3 戊聚糖含量测定 采用地衣酚-盐酸法^[11]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(非水溶性戊聚糖含量=总戊聚糖含量-水溶性戊聚糖含量):

总戊聚糖(TP)的测定方法: 准确称取 50 mg 面粉样品于 50 mL 离心管中, 加入 10 mL 2 N 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⁻¹ 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% 的 FeCl₃ 酸溶液和 0.3 mL 1% 的地衣酚醇溶液, 在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: 准确称取 100 mg 面粉样品于 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⁻¹ 下离心 10 min, 提取上清液 1.0 mL, 置于离心管中, 并加入同体积的 4 N 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 4 次重复, 再分别换算成戊聚糖含量后算平均值;

戊聚糖计算公式: 戊聚糖(%) = $(C \times 0.88 \div W) \times 10 \times n / 100$

(C: 由标准曲线求得的木糖浓度; 0.88: 戊聚糖与木糖的比例; W: 样品重量; n: 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。)

1.2.4 其他品质性状测定 近红外参数的测定: 使用 1255 型近红外光谱仪(美国 FOSS 公司)测定各供试材料的湿面筋含量、蛋白质含量、沉降值和硬度。

直链淀粉含量测定：采用李锐等^[12](1988)的微量样品直链淀粉含量测定方法，并参照国标《直链淀粉含量测定方法》(GB8648-87)加以适当改良后进行。直链淀粉含量测定步骤：称取小麦面粉 0.1 g，置于 100 mL 容量瓶中，加 1 mL 无水乙醇，湿润，加入 10 mL 1 mol·L⁻¹ NaOH 溶液，摇动混匀，在沸水中分散 15 min（脱去脂肪和色素等）；待沉淀后用移液器取下层沉淀的碱分散液 5 mL，置于 100 mL 容量瓶内，加入 1 mL 1 mol·L⁻¹ 乙酸和 1 mL 碘试剂，用蒸馏水定容至 100 mL，轻轻颠倒 10~15 次；静置 10 min 后在分光光度计 620 nm 波长处测定其吸光度。

快速粘度仪参数（RVA）的测定：用澳大利亚 Newport Scientific 公司生产的快速粘度测试仪（RVA）测定淀粉峰值粘度、糊化温度和稀懈值等 RVA 参数。

1.3 统计分析

试验在安徽农业大学试验农场和种子科学与工程实验室进行，数据处理采用 DPS（英文全称 Data Processing System）等统计软件进行方差分析、相关分析、Duncan 式多重比较以及聚类分析等；用 Excel 图表工具制图。

2 结果与分析

2.1 LOX 活性等若干品质性状的方差分析

由表 1 和表 2 可见，除糊化温度不显著以外，全麦粉脂肪氧化酶活性、面粉脂肪氧化酶活性、蛋白质含量、湿面筋含量、沉降值、籽粒硬度、高峰粘度、低谷粘度、最后粘度、稀懈值、反弹值、峰值时间以及直链淀粉含量的品种间差异均达到了极显著水平，说明不同的小麦品种脂肪氧化酶活性及若干品质性状均存在着较大的差异。

表 1 10 个小麦品种（系）脂肪氧化酶和近红外参数的方差分析

Table 1 Variance analysis of lipoxygenase activity and NIR parameters in ten wheat varieties

变异来源	全麦粉 LOX	面粉 LOX	蛋白质含量
Resource of variance	Lipoxygenas of whole mills	Lipoxygenas of flour	Protein content
品种间 Inter varieties	9	9	9
<i>DF</i>	9	9	9
<i>SS</i>	720.20	332.42	11.69
<i>MS</i>	80.02	36.94	1.30
<i>F</i>	19.92**	32.64**	8.83**
误差 Error	4.02	1.13	0.15

变异来源	湿面筋含量	籽粒硬度	沉降值	直链淀粉
Resource of variance	Wet gluten content	Hardness	Sedimentaion value	Amylose content
品种间 Inter varieties	9	9	9	9
<i>DF</i>	9	9	9	9
<i>SS</i>	30.56	5 846.86	649.85	493.89
<i>MS</i>	3.40	649.65	72.21	54.88
<i>F</i>	5.75**	26.59**	23.53**	482.80**
误差 Error	0.59	24.43	3.07	0.11

注：“**”表示 *F* 测验达到 0.01 显著；*F* (9,18) 0.05=2.46, *F* (9,18) 0.01=3.60。下同。

Note: ** refers to the significance of variance analysis at the 0.01 level, *F* (19, 38) 0.05=2.46, *F* (19,38) 0.01=3.60. The same below.

表 2 10 个小麦品种（系）RVA 参数及直链淀粉含量方差分析

Table 2 Variance analysis of RVA parameters and amylose contents in ten wheat varieties

变异来源	高峰粘度	低谷粘度	最后粘度	稀懈值	反弹值	峰值时间	糊化温度
Resource of variance	PK	Hold through	Final viscosity	Break down	Set back	Peak time	Pasting temperature
品种间 Inter varieties	9	9	9	9	9	9	9
<i>DF</i>	9	9	9	9	9	9	9
<i>SS</i>	17 797 497.4	12 263 498	28 130 595	1 432 093	3 859 465	15.90	680.18
<i>MS</i>	1 977 500	1 362 611	3 125 622	159 121.5	428 829.5	1.77	75.58
<i>F</i>	36.68**	24.35**	30.98**	13.88**	36.46**	66.89**	2.24
误差 Error	53 909.09	55 951.03	100 894.6	11 460.7	11 760.76	0.03	33.77

2.2 LOX 活性的多重比较

2.2.1 不同小麦品种（系）LOX 活性的比较 由表 3 可见，在供试的小麦品种（系）中，全麦粉 LOX 活性的变幅为 13.43~27.91 nkat·g⁻¹，平均值为 20.67

nkat·g⁻¹，活性较高的为安农 1032 (27.91 nkat·g⁻¹) 和郑麦 9405 (19.42 nkat·g⁻¹)；活性较低的为扬麦 12 (13.43 nkat·g⁻¹) 和皖麦 48 (13.43 nkat·g⁻¹)。面粉 LOX 活性的变幅为 5.63 nkat·g⁻¹~18.19 nkat·g⁻¹，平

均值为 $11.91 \text{ nkat}\cdot\text{g}^{-1}$, 活性较高的为安农 1032 ($18.19 \text{ nkat}\cdot\text{g}^{-1}$) 和郑麦 9405 ($15.34 \text{ nkat}\cdot\text{g}^{-1}$); 活性较低的为扬麦 12 ($5.63 \text{ nkat}\cdot\text{g}^{-1}$) 和皖麦 48 ($8.21 \text{ nkat}\cdot\text{g}^{-1}$)。

可见, 不同品种 (系) 间全麦粉和面粉的 LOX 活性均存在着显著差异, 而这种差异对于针对 LOX 活性的小麦品质改良是具有实际意义的。

表 3 10 个小麦品种 (系) 脂肪氧化酶活性、直链淀粉含量、近红外参数及 RVA 参数多重比较

序号 No.	品种 (系) Variety	全麦粉 LOX Lipoxygenase of whole mills	面粉 LOX Lipoxygenase of flour	蛋白质含量/% Protein contents	直链淀粉含量/% Amylose content
1	烟农 19	16.37 ^{bcd}	10.65 ^{de}	12.97 ^{cd}	12.82 ^{ef}
2	皖麦 48	13.43 ^{de}	8.21 ^f	11.9 ^e	13.90 ^{bc}
3	皖麦 52	14.47 ^{cd}	9.58 ^{ef}	13.57 ^{abc}	13.66 ^{cd}
4	皖麦 19	17.35 ^{bc}	11.27 ^{cde}	12.93 ^{cd}	13.43 ^{cde}
5	扬麦 12	13.43 ^e	5.63 ^g	13.9 ^{ab}	13.43 ^{cde}
6	淮麦 20	16.18 ^{bcd}	11.76 ^{cd}	13.07 ^{cd}	14.29 ^{ab}
7	郑麦 9023	18.08 ^{bc}	12.68 ^c	12.57 ^d	14.60 ^a
8	郑麦 9405	19.42 ^b	15.34 ^b	14.1 ^a	12.78 ^f
9	豫麦 18-64	15.83 ^{bcd}	11.66 ^{cd}	13.3 ^{bc}	13.13 ^{def}
10	安农 1032	27.91 ^a	18.19 ^a	13.67 ^{abc}	0.16 ^g
变幅 Range		13.43~27.91	5.63~18.19	11.9~14.1	0.16~14.60

高峰粘度/cp PK	低谷粘度/cp Hold through	最后粘度/cp Final viscosity	稀懈值/cp Break down	反弹值/cp Set back	峰值时间/min Peak time	糊化温度/℃ Pasting temperature
2 117.33 ^{de}	1 100.33 ^b	2 069.67 ^b	1 017.00 ^{cd}	969.33 ^c	5.65 ^b	70.17 ^{bc}
3 428.60 ^{bc}	2 400.67 ^a	3 949.33 ^a	1 028.00 ^{cd}	1 548.67 ^a	6.24 ^a	79.63 ^{ab}
3 827.67 ^{ab}	2 366.33 ^a	3 806.00 ^a	1 461.33 ^a	1 439.67 ^a	6.18 ^a	72.93 ^{abc}
3 628.00 ^{abc}	2 126.67 ^a	3 573.67 ^a	1 501.33 ^a	1 447.00 ^a	6.04 ^a	72.08 ^{bc}
3 902.67 ^a	2 534.00 ^a	4 164.00 ^a	1 368.67 ^{ab}	1 630.00 ^a	6.31 ^a	69.85 ^{bc}
3 242.67 ^c	2 162.33 ^a	3 622.33 ^a	1 080.33 ^{cd}	1 460.00 ^a	6.15 ^a	67.95 ^c
2 077.33 ^{de}	1 166.00 ^b	2 371.00 ^b	911.33 ^d	1 205.00 ^b	5.65 ^b	69.13 ^{bc}
1 773.67 ^e	887.33 ^b	1 850.00 ^{bc}	886.33 ^d	962.67 ^c	5.58 ^b	68.33 ^{bc}
3 581.67 ^{abc}	2 386.33 ^a	3 984.67 ^a	1 195.33 ^{bc}	1 598.33 ^a	6.29 ^a	82.93 ^a
2 431.67 ^d	1 048.67 ^b	1 490.33 ^c	1 383.00 ^{ab}	441.67 ^d	3.75 ^c	70.25 ^{bc}
1 773.67~3 902.67	887.33~2 534	1 490.33~4164	886.33~1 501.33	441.67~1 630	3.75~6.31	67.95~82.93

2.2.2 蛋白质、沉降值、直链淀粉等其他性状含量的比较 由表 3 可见, 在供试的小麦品种 (系) 中, 近红外参数中蛋白质含量的变幅为 11.90%~14.10%, 平均值为 13.00%, 含量最高的是郑麦 9405 (14.10%), 含量最低的是皖麦 48 (11.90%); 直链淀粉含量的变幅为 0.16%~14.60%, 平均值为 7.38%, 含量最高的是郑麦 9023 (14.60%), 含量最低的是安农 1032 (0.16%); 高峰粘度的变幅为 1 773.67~3 902.67 cp, 平均值为 2 838.17 cp, 高峰粘度值最高的是扬麦 12 (3 902.67 cp), 最低的是郑麦 9405 (1 773.67 cp); 低谷粘度的变幅为 887.33~2 534 cp, 平均值为 1 710.67 cp, 值最高的是扬麦 12 (2 534 cp), 最低的是郑麦 9405 (887.33 cp); 最后粘度的变幅为 1 490.33~4 146 cp, 平均值为 2 818.17 cp, 值最高的是安农 1 032 (4 146 cp), 最低的是扬麦 12 (1 490.33 cp); 稀懈值的变幅为

886.33~1 501.33 cp, 平均值为 1 193.83 cp, 值最高的是皖麦 19 (1 501.33 cp), 最低的是郑麦 9405 (886.33 cp); 反弹值的变幅为 441.67~1 630 cp, 平均值为 1 035.84 cp, 值最高的是扬麦 12 (1 630 cp), 最低的是安农 1032 (441.67 cp); 峰值时间的变幅为 3.7~6.31 min, 平均值为 5.03 min, 峰值时间最高的是扬麦 12 (6.31 min); 最低的是安农 1032 (3.7 min)。糊化温度的变幅为 67.95~82.93℃, 平均值为 75.44℃, 糊化温度最高的是豫麦 18-64 (82.93℃), 含量最低的是淮麦 20 (67.95℃)。

2.3 LOX 活性及若干品质性状的相关性

由表 4 相关分析可见, 全麦粉 LOX 活性与面粉 LOX 活性呈极显著正相关, 且相关系数达到 0.96, 与最后粘度、反弹值、峰值时间和直链淀粉含量呈极显著负相关, 且相关系数分别达到 -0.78、-0.86、-0.88 和 -0.76, 与低谷粘度呈显著负相关

(-0.71); 面粉 LOX 活性与低谷粘度、最后粘度、反弹值和峰值时间呈极显著负相关, 且相关系数分别达到-0.75、-0.80、-0.82 和-0.81, 与高峰粘度和直链淀粉含量呈显著负相关 (-0.67、-0.68)。LOX

活性与最后粘度、反弹值、峰值时间、直链淀粉含量和高峰粘度的显著或极显著负相关性说明小麦品种(系)籽粒的 LOX 活性高对全麦粉和面粉的若干主要品质性状存负面的影响。

表 4 10 个小麦品种(系)脂肪氧化酶及若干品质性状之间的相关分析
Table 4 Correlation analysis of lipoxygenase and the other quality traits in ten wheat varieties

性状 Character	全麦粉 LOX Lipoxygenase of whole mills	面粉 LOX Lipoxygenase of flour	高峰粘度 PK	低谷粘度 Hold through	最后粘度 Final viscosity	稀懈值 Break down
面粉 LOX	0.96**					
高峰粘度	-0.60	-0.67*				
低谷粘度	-0.71*	-0.75**	0.97**			
最后粘度	-0.78**	-0.80**	0.92**	0.98**		
稀懈值	-0.05	-0.16	0.69*	0.49	0.37	
反弹值	-0.86**	-0.82**	0.76**	0.87**	0.95**	0.13
峰值时间	-0.88**	-0.81**	0.57	0.71*	0.81**	-0.06
糊化温度	-0.20	-0.26	0.47	0.53	0.52	0.10
蛋白质	0.12	0.27	-0.07	-0.19	-0.23	0.29
湿面筋	0.23	0.44	-0.32	-0.31	-0.29	-0.22
沉降值	-0.12	0.11	-0.27	-0.23	-0.14	-0.26
籽粒硬度	-0.34	-0.15	-0.30	-0.20	-0.07	-0.46
直链淀粉含量 Amylose content	-0.76**	-0.68*	0.26	0.42	0.57	-0.31

性状 Character	反弹值 Set back	峰值时间 Peak time	糊化温度 Pasting temperature	蛋白质 Protein contents	湿面筋 Wet gluten content	沉降值 Sedimentaion value	籽粒硬度 Hardness
面粉 LOX							
高峰粘度							
低谷粘度							
最后粘度							
稀懈值							
反弹值							
峰值时间	0.94**						
糊化温度	0.45	0.34					
蛋白质	-0.29	-0.26	-0.38				
湿面筋	-0.22	-0.15	0.10	0.67*			
沉降值	0.03	0.25	-0.33	0.64*	0.68*		
籽粒硬度	0.17	0.37	-0.64*	0.27	0.16	0.72*	
直链淀粉含量 Amylose content	0.79**	0.93**	0.13	-0.32	-0.13	0.36	0.58

注: *、**分别为 0.05 及 0.01 水平上的显著性差异。

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

同时, 本研究测得高峰粘度与低谷粘度、最后粘度和反弹值呈显著正相关, 与稀懈值呈显著正相关; 低谷粘度与最后粘度和反弹值呈极显著正相关, 与峰值时间呈显著正相关; 最后粘度与反弹值和峰值时间呈极显著正相关; 反弹值与峰值时间和直链淀粉含量呈极显著正相关; 峰值时间与直链淀粉含量呈极显著正相关; 糊化温度与籽粒硬度呈显著负相关; 蛋白质含量与湿面筋含量和沉降值呈显著正相关; 湿面筋含量与沉降值呈显著正相关; 沉降值

与籽粒硬度呈显著正相关。

3 讨论

LOX 可以氧化蛋白质分子中半胱氨酸的二硫键(—S—S—), 包括分子间和分子内二硫键, 从而使不饱和脂肪酸发生氧化作用^[13]。Trufanov 等^[13](2007)研究了 LOX 活性与面团强度、形成时间、稳定时间和粗面筋含量等品质性状的相关性, 认为 LOX 活性与面团强度、形成时间、稳定时间、延展

性呈显著负相关,与弹延比呈正相关。Leenhardt 和 Leach 等^[8,14]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。目前,国内关于 LOX 活性与小麦品质性状关系的研究报道甚少。

小麦中的戊聚糖与蛋白质一起参与面筋网络结构的形成,从而改善面团的若干加工品质性状,提高面包的品质^[15],但戊聚糖也会严重影响饼干和糕点的品质^[16]。姜丽娜等研究得出,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^[17]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,供试材料的 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^[18]的研究结果基本一致。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^[19]和姚大年^[20]等的研究结果较为一致。

本研究中,随机区组试验 13 个品质性状中,除糊化温度外,其余 12 个品质性状在品种间均达到极显著差异;全麦粉 LOX 活性与面粉 LOX 活性呈极显著正相关,与最后粘度、反弹值、峰值时间和直链淀粉含量呈极显著负相关,与低谷粘度呈显著负相关;面粉 LOX 活性与低谷粘度、最后粘度、反弹值和峰值时间呈极显著负相关,与高峰粘度和直链淀粉含量呈显著负相关。认为小麦品种(系)籽粒的 LOX 活性高对全麦粉和面粉的若干主要品质性状存负面的影响;就针对籽粒 LOX 活性的品质改良而言,认为在育种中应尽量筛选那些 LOX 活性较低的材料。

参考文献:

- [1] Gilibert M P, Carmona F G. Chromatographic analysis of lipoxygenase products [J]. *Analytica Chimica Acta*, 2002, 465: 319-335.
- [2] Yamamoto A, Fujii Y, Yasumoto K, et al. Product specificity of rice germ lipoxygenase [J]. *Cereal Research Communications*, 1980, 15(1): 1-5.
- [3] 郑文寅, 姚大年, 张文明, 等. 脂肪氧化酶及其在小麦品质改良中的研究与应用[J]. *粮食与饲料工业*, 2009(8): 5-6.
- [4] Kühn H, Thiele B J. The diversity of the lipoxygenase family. Many sequence data but little information on biological significance. [J]. *FEBS Lett*, 1999, 449(1): 7-11.
- [5] 孙君明, 伍树明, 陶文静, 等. 大豆脂肪氧化酶-1 缺失基因(lx1)的 RAPD 标记[J]. *中国农业科学*, 2004, 37(2): 170-174.
- [6] 杜连起. 酶在面包生产中的应用[J]. *陕西粮油科技*, 1995, 20(2): 34-48.
- [7] 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.
- [8] Leach R C, Mares D J. Quantitative trait locus associated with lipoxygenase in bread wheats: a the tool to improve the marketability of Australian bread wheat[C]// In cereals 2004, proc. of the 54th Australian Cereal Chemistry Conference and 11th Wheat Breeder Assembly. 2004: 130-133.
- [9] Yamamoto A, Fujii Y, Yasumoto K, et al. Product specificity of rice germ lipoxygenase [J]. *Cereal Research Communications*, 1980, 15 (1): 1-5.
- [10] Cato L, Halmos A L, Small D M.. Measurement of lipoxygenase in Australian white wheat flour: the effect of lipoxygenase on the quality properties of white salted noodles [J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2006, 86: 1670-1678
- [11] 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.
- [12] 李锐, 黄超武. 水稻单粒直链淀粉含量的测定方法[J] *广东农业科学*, 1988(5): 7-9.
- [13] Trufanov V A, Permyakova M D, Pshenichnikova T A, et al. The effect of intercultivar substitution of wheat *Triticum aestivum* L. Chromosomes on lipoxygenase activity and its correlation with the technological properties of flour [J]. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2007, 43(1): 91-97.
- [14] Leenhardt F, Lyana B, Rocka E, et al. Genetic variability of carotenoid concentration and lipoxygenase and peroxidase activities among cultivated wheat species and bread wheat varieties [J]. *Europ J Agronomy*, 2006, 25(2): 170-176.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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焙品质的比较研究[J]. *中国粮油学报*, 2005, 20(2): 21-25.
- [18] Borrelli G M, De Leonardi 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.
- [19] 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.
- [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.