

储藏微环境对小麦中蛋白质含量变化规律的影响

王若兰, 刘晓林, 赵妍, 刘莉, 马玉洁

(河南工业大学粮油食品学院, 河南郑州 450001)

摘要: 将小麦储藏模拟四个小麦主产区-蒙新、华北、华中和华南等的储粮微环境条件(15℃, 50% RH; 20℃, 65% RH; 28℃, 75% RH和35℃, 85% RH)下, 研究小麦蛋白质组分及巯基和二硫键含量的变化规律。结果表明: 储藏时间对各微环境储藏小麦总蛋白质含量的影响不显著($P>0.05$); 至储藏末期(240d)时, 三种储藏条件(20℃, 65% RH; 28℃, 75% RH和35℃, 85% RH)下小麦醇溶蛋白和巯基含量比低温低湿组(15℃, 50% RH), 分别减少 2×10^{-4} 、 1×10^{-4} 、 1.2×10^{-3} g/g和0.13、0.55、0.75 $\mu\text{mol/g}$, 谷蛋白和二硫键含量分别增加 5×10^{-4} 、 1.3×10^{-3} 、 2.4×10^{-3} g/g和0.22、0.27、0.42 $\mu\text{mol/g}$; 高温高湿(35℃, 85% RH)条件下, 小麦醇溶蛋白、谷蛋白、巯基和二硫键含量变化显著($P<0.05$), 且谷蛋白/醇溶蛋白的比例升高, 更易于诱导游离巯基氧化为二硫键。显然, 低温低湿储粮条件, 更有利于保持小麦蛋白质组分的稳定而实现小麦安全储藏。

关键词: 储藏微环境; 蛋白质组分; 巯基; 二硫键

文章编号: 1673-9078(2014)6-47-51

Effect of Storage Microenvironment on the Variation of Wheat Protein

WANG Ruo-lan, LIU Xiao-lin, ZHAO Yan, LIU Li, MA Yu-jie

(College of Food Science and Technology, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: Wheat was stored in four different storage microenvironments, which were simulated the four main wheat-growing areas, Meng-Xin, north China, central China, south China (15℃, 50% RH; 20℃, 65% RH; 28℃, 75% RH, 35℃, 85% RH), the variation law of wheat protein composition and content of sulfhydryl and disulfide was explored in this paper. It was showed that in each treatment group, the impact of storage time on the total protein content was not significant ($P>0.05$). At the end of storage period (240 d), compared to the low temperature and humidity (15℃, 50% RH) condition, wheat gliadin and sulfhydryl content stored under the other three storage conditions were reduced 2×10^{-4} , 1×10^{-4} , 1.2×10^{-3} g/g and 0.13, 0.55, 0.75 $\mu\text{mol/g}$, respectively, while gluten and disulfide content were increased 5×10^{-4} , 1.3×10^{-3} , 2.4×10^{-3} g/g and 0.22, 0.27, 0.42 $\mu\text{mol/g}$, respectively. Under high temperature and humidity conditions (35℃, 85% RH), the gliadin, gluten, sulfhydryl and disulfide content of wheat changed significantly ($P<0.05$), leading to the increase of gluten/gliadin proportion and oxidate more free sulfhydryl to disulfide bond. At low temperature and humidity (15℃, 50% RH), the wheat protein was more stable and might store safely.

Key words: storage microenvironment; protein composition; sulfhydryl; disulfide bond

我国是世界上最大的小麦生产和消费国, 每年小麦产量大约在1亿t左右, 占全国粮食总产量的23%左右^[1]。小麦是我国第二大粮食作物, 其种植面积和产量仅次于水稻, 是我国人民日常食用蛋白质的主要供应源之一。作为我国最主要的食品及食品原料之一, 小麦在制作许多传统食品中是不可替代的, 因此其食用价值与营养价值的高低与人们的饮食质量密切相

收稿日期: 2013-12-18

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2012AA101705-2);

公益性行业(农业)科研专项经费项目(201003077)

作者简介: 王若兰(1960-), 女, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 粮食储藏技术及品质控制。

通讯作者: 赵妍(1982-), 女, 博士, 讲师, 研究方向: 农产品保鲜与贮藏, 粮食储藏技术及品质控制

关。随着我国农业生产的发展, 小麦产量的不断增加, 小麦储备任务呈现与日俱增的趋势, 小麦的品质日益受到人们的重视, 如何保障小麦储藏安全成为一项十分重要的任务。保障小麦储藏安全, 不仅要提高小麦的产量, 也要减少储藏过程中小麦品质的劣变。

小麦品质的劣变是一个过程性现象, 而能够反映这一变化的指标较多, 其中蛋白质组分和巯基、二硫键是重要的反映指标。张进忠等^[2]通过研究发现小麦收获后在储藏过程中品质的变化不是由于总蛋白质含量的升高引起, 而是由于蛋白质组分发生了变化。尹阳阳等^[3]研究了稻谷储藏中巯基与质构特性的关系, 表明稻谷巯基的变化和质构的变化相关性极显著。Chrastil等^[4]通过实验发现小麦谷蛋白中二硫键含量越高, 蛋白质分子量越大, 加工而成的面条越硬, 黏性越小。现

有的文献大多是从蛋白质变化的一个方面来反映小麦的储藏稳定性,用于试验的小麦储藏条件也较为单一。而本文采用智能恒温恒湿箱作为载体,模拟我国小麦主产区的典型温湿度微环境,并研究储藏微环境对小麦籽粒蛋白质组分、巯基和二硫键含量的影响,以期丰富储藏期间小麦蛋白质的变化规律,为小麦的安全储藏提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料和试剂

试验材料:2012年购买自河南瑞星种业有限公司,品种为瑞星一号小麦(容重801 g/L,沉降值45.38 mL,吸水率61.5%,稳定时间6.4 min)。

主要试剂:考马斯亮蓝G-250溶液:称取100 mg考马斯亮蓝G-250,溶于95%的乙醇中,加入85%的(m/v)磷酸100 mL,最后用去离子水定容至1000 mL,混匀,过滤后于4℃冰箱中保存备用。

Tris-Gly缓冲液(pH 8.0):每升溶液中含有10.4 g Tris, 6.9 g甘氨酸, 1.2 g EDTA; Tris-Gly-8M Urea溶液:在Tris-Gly缓冲液中加入480 g尿素; Tris-Gly-10M Urea溶液:在Tris-Gly缓冲液中加入600 g尿素; Ellman's试剂:200 mg DTNB溶于50 mL Tris-Gly缓冲液; 脲-盐酸胍溶液:8 M脲+5 M盐酸胍溶液(由Tris-Gly缓冲液配制而成); 12% TCA溶液:称量12 g TCA,加蒸馏水定容至100 mL。

1.2 主要仪器设备

HWS型智能恒温恒湿箱,宁波东南仪器有限公司; FW-200型高速万能粉碎机,北京中兴伟业仪器有限公司; JXFM110型锤式旋风磨,上海嘉定粮油仪器有限公司; PHS-3C型精密酸度计,上海大普仪器有限公司; METTLER-MS105DU分析天平,北京西化仪科技有限公司; TGL-16C台式离心机,上海安亭科学仪器厂; HY-4调速多功能振荡器,江苏省金坛市医疗仪器厂; 752-紫外可见分光光度计,上海菁华科技仪器有限公司。

1.3 试验条件和样品处理

根据我国不同地域的气候差异和农业耕作特点,我国可划分为七大储粮区域^[1],依据蒙新储粮区、华北储粮区、华中储粮区和华南储粮区这四个小麦主产区的年平均温湿度条件,设计了A: 15℃, 50% RH; B: 20℃, 65% RH; C: 28℃, 75% RH; D: 35℃, 85% RH四种微环境条件,并在恒温恒湿箱中进行小麦人工

模拟储藏,储藏时间为240 d,每隔60 d取A、B、C、D处理组小麦样品用锤式旋风磨在16800 r/min的转速下磨成粉末,过200目的筛网,装自封袋备用。

1.4 测定方法

1.4.1 总蛋白含量的测定

总蛋白含量采用GB/T 5511-2008测定。

1.4.2 小麦籽粒蛋白质组分的测定

1.4.2.1 小麦蛋白质组分的提取与分离

小麦清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和谷蛋白的提取与分离参照金玉红等^[6]的方法,并加以改进。

清蛋白的提取:称取小麦粉样品0.500 g置于50 mL离心管中,加入去离子水3 mL,用玻棒搅拌均匀,再用2 mL去离子水冲洗玻棒,在振荡器上220 r/min振荡30 min, 4000 r/min离心15 min,上清液移入50 mL容量瓶。向离心管的沉淀中加入5 mL去离子水并搅拌均匀,再次振荡和离心。同一离心管的样品提取3次,合并上清液,最后用去离子水定容到50 mL,待测。

球蛋白的提取:向上述残渣加入3 mL 10%的NaCl溶液搅拌均匀,再用2 mL 10%的NaCl溶液冲洗玻棒,振荡和离心步骤同清蛋白。最后用10%的NaCl溶液定容到50 mL,待测。

醇溶蛋白的提取:在上述盐溶液提取球蛋白后的残留物中加入3 mL 70%的乙醇,搅拌均匀,用2 mL 70%的乙醇冲洗玻棒,220 r/min振荡1 h, 4000 r/min离心15 min,上清液移入50 mL容量瓶,提取3次,最后用70%的乙醇定容到50 mL,待测。

谷蛋白的提取:向上述醇溶蛋白提取后的残渣中加入3 mL 0.2%的NaOH溶液,用玻棒搅拌均匀,2 mL 0.2%的NaOH溶液冲洗玻棒,220 r/min振荡1 h, 4000 r/min离心15 min,上清液移入50 mL容量瓶,提取3次,最后用0.2%的NaOH溶液定容到50 mL,待测。

1.4.2.2 小麦蛋白质组分含量的测定^[7]

采用考马斯亮蓝G-250比色法,以牛血清蛋白做标准曲线,测定蛋白质组分含量。

1.4.3 小麦蛋白中游离巯基和二硫键含量的测定

游离巯基和二硫键的测定参照王金水^[8]所采用的Ellman's试剂比色法。

其计算方法为:

游离巯基含量计算: $-SH(\mu\text{mol/g})=73.53A \times D/C$,

注:A是所测吸光值;C是样品的蛋白质浓度(mg/mL);D为稀释因子。

二硫键的含量计算:

$-S-S-(\mu\text{mol/g})=(\text{总巯基含量}-\text{游离巯基含量})/2$

1.5 试验数据的统计分析

所有试验均重复测定三次，结果取平均值。试验数据处理采用SAS 8.2统计软件进行Duncan's多重差异分析 (P=0.05)。

2 结果与分析

2.1 小麦籽粒总蛋白含量的变化

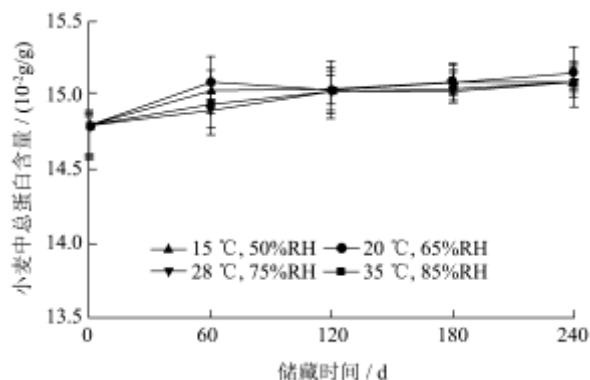


图1 小麦储藏期间总蛋白含量的变化

Fig.1 Total protein content of wheat during storage

蛋白质的含量和质量与小麦面团的流变学特性有着密切关系，并决定小麦加工品质的优劣^[2]。由图1可知，在整个储藏期间，四个不同处理组的小麦籽粒总蛋白含量变化趋势相似，各组之间无显著差异 (P>0.05)；随着储藏期的延长，各处理组小麦籽粒总蛋白含量基本保持不变，储藏时间对总蛋白含量的影响不显著 (P>0.05)。这说明小麦收获后在储藏过程中其加工品质的变化不是由于总蛋白质含量的变化引起的。小麦籽粒的总蛋白含量与其加工品质关系不大。

2.2 小麦籽粒各蛋白质组分含量的变化

储藏期间小麦蛋白质组分变化和小麦加工品质密切相关。清蛋白和球蛋白统称为可溶性蛋白，决定小麦的营养品质，由于技术的限制，对可溶性蛋白的研究较为有限^[9]；而醇溶蛋白和谷蛋白为贮藏蛋白质，是面筋的主要成分，分别赋予面团的延展性和弹性^[10]，二者的数量和比例关系决定面筋质量，可在一定程度上反映小麦加工品质的优劣。只有二者以一定比例结合时，方能赋予小麦较好的加工品质，结合比例过高或过低均会造成加工品质的劣变^[11]。Susanne A等^[12]认为醇溶蛋白和谷蛋白在一定的外界环境条件下积累量不同，其质量、组分含量及其比例均与加工品质有着紧密的联系。吴新连等^[13]认为小麦在储藏过程中蛋白质的变化与形成小麦面筋的麦醇溶蛋白和麦谷蛋白的比例变化密切相关。因此，小麦贮藏蛋白含量及醇溶

蛋白和谷蛋白的比例关系是影响小麦加工品质的重要因素，故可通过对该方面内容的研究，分析小麦储藏期间的加工品质变化规律。

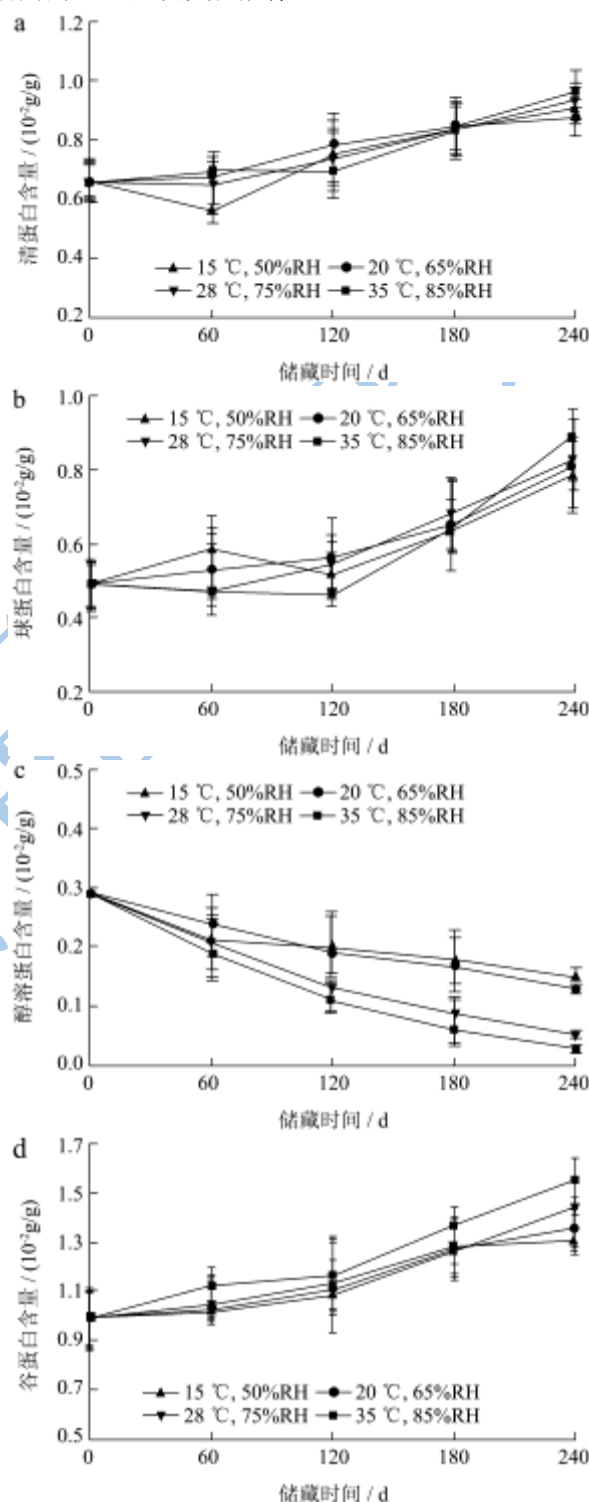


图2 小麦储藏期间清蛋白(a)、球蛋白(b)、醇溶蛋白(c)和谷蛋白(d)含量的变化

Fig.2 The content of albumin (a), globulin (b), gliadin (c) and gluten (d) of wheat during storage

张树华等^[14]研究发现，小麦清蛋白和球蛋白含量与面团形成时间、稳定时间、吸水率之间的相关系数

为负值,其含量的升高不利于面团筋力的提高。由图2a、2b可以看出,随着储藏时间的延长,四个不同处理组小麦清蛋白、球蛋白含量总体呈现上升趋势,这可能造成面团形成时间、稳定时间、吸水率降低,导致小麦加工品质的劣变。

由图2c、2d可以看出,随着储藏时间的延长,四个不同处理组小麦醇溶蛋白含量均呈现出下降的趋势,而谷蛋白含量则均呈现上升趋势,这可能是由于低分子量的醇溶蛋白在小麦储藏过程中发生了聚合,醇溶蛋白被空气氧化为谷蛋白所致^[15]。该变化导致谷蛋白与醇溶蛋白之间比例增加,而谷蛋白与醇溶蛋白之间比例的不断增加,会导致小麦加工品质劣变。

不同温湿度微环境对小麦蛋白组分的影响不同,由图2c可以看出,小麦储藏于A和B条件下时,整个储藏期间醇溶蛋白下降趋势平缓;而储藏于C和D条件下时,醇溶蛋白下降幅度较大,尤其在D条件下,相比于A条件,随着储藏时间的延长,醇溶蛋白含量分别降低了 2×10^{-4} 、 9×10^{-4} 、 1.2×10^{-3} 和 1.2×10^{-3} g/g差异显著($P < 0.05$)。当储藏期结束时(240 d),D条件下小麦醇溶蛋白含量较原始样品减少了89.66%,显著低于A条件下小麦醇溶蛋白的减少量(48.28%)。由图2d可以看出,小麦储藏于A、B、C三种条件下时,整个储藏期间其谷蛋白上升趋势平缓;而储藏于D条件下时,其谷蛋白上升幅度较大。结果表明,在储藏期结束时(240 d),D处理组小麦谷蛋白含量显著高于其它三个处理组($P < 0.05$),含量较原始样品增加了55.00%。这可能与在低温低湿条件下,小麦酶活性较低,醇溶蛋白不易氧化有关;而在D条件下,小麦新陈代谢能力增强,抗氧化能力降低,醇溶蛋白转化为谷蛋白的趋势增强,造成谷蛋白与醇溶蛋白之间的比例不断升高,因此,小麦储藏于D条件下时,加工品质更易劣变,也说明温湿度的调控是保持小麦加工品质、保证小麦安全储藏的重要因素。

2.2.1 小麦籽粒中巯基含量的变化

巯基作为抗氧化成分,较其他一些抗氧化基团更易于氧化^[16],因此能够维持细胞的正常代谢与保护细胞膜的完整性。蛋白质中巯基含量的下降,可能会诱导细胞发生凋亡,从而导致小麦籽粒的衰老^[17]。从图3中可以看出,随着储藏时间的延长,四个不同处理组小麦巯基含量均呈减少趋势;相比A条件,在储藏中期(120 d),储藏于B、C、D条件下的小麦巯基含量减少显著($P < 0.05$),达到了32.84%、35.96%和37.30%;而在储藏240 d时,储藏于C、D条件下的小麦其巯基含量减少了48.89%和51.86%,相比于A、B条件差异显著($P < 0.05$);说明在较高的温湿度条件下(35 °C, 85%

RH和28 °C, 75% RH),巯基可能被氧化而造成其含量下降,且该效果随储藏期的延长而愈加明显。巯基可以清除自由基^[18],而巯基含量的减少,可能会使小麦籽粒中的自由基增加,使小麦细胞发生老化,加工品质劣变。

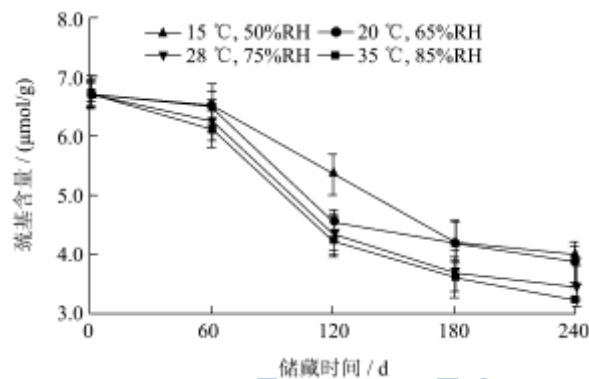


图3 小麦储藏期间巯基含量的变化

Fig.3 Sulfhydryl content of wheat during storage

2.2.2 小麦籽粒中二硫键含量的变化

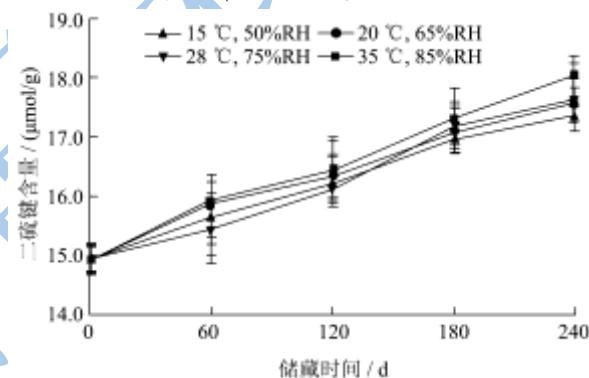


图4 小麦储藏期间二硫键含量的变化

Fig.4 Disulfide bond content of wheat during storage

活性氧的累积能引起蛋白质的氧化,导致二硫键的形成。从图4中可以看出,四个不同处理组小麦二硫键含量均随储藏时间的延长而增加,该变化趋势与巯基(图3)相反,说明在储藏期间,小麦的巯基与二硫键发生了氧化还原反应,巯基和二硫键之间发生了一定程度的转化,这和张来林等^[19]关于不同储藏条件对稻谷和大豆蛋白中的巯基和二硫键含量变化的研究结果相一致。从图4可以看出,在整个储藏期间,D组小麦二硫键含量均最高,尤其当储藏期结束时(240 d),含量较原始样品增加了21.05%,和其它三个处理组相比差异显著($P < 0.05$)。这可能是由于高温高湿的条件(35 °C, 85% RH),使得小麦新陈代谢加快,加速了氧化反应的进行,巯基转化为二硫键,这会导致小麦蛋白质的变性,使面筋的吸水能力降低,失去弹性和延伸性,面团流变特性发生变化,加工品质劣变。

3 结论

本文通过模拟四个小麦主产区-蒙新、华北、华中和华南的储粮微环境(15℃, 50% RH; 20℃, 65% RH; 28℃, 75% RH和35℃, 85% RH), 来研究储藏过程中小麦蛋白质的变化规律。结果表明: 在四个储藏微环境条件下小麦的总蛋白质含量无显著差异($P>0.05$), 而蛋白质组分发生变化, 清蛋白、球蛋白均呈上升趋势; 至储藏末期(240 d), 相比于低温低湿条件(15℃, 50% RH), 其它三种储藏条件(20℃, 65% RH; 28℃, 75% RH和35℃, 85% RH)下, 小麦醇溶蛋白和巯基含量分别减少 2×10^4 、 1×10^4 、 1.2×10^3 g/g和0.13、0.55、0.75 $\mu\text{mol/g}$, 谷蛋白和二硫键含量则分别增加 5×10^4 、 1.3×10^3 、 2.4×10^3 g/g和0.22、0.27、0.42 $\mu\text{mol/g}$; 高温高湿条件(35℃, 85% RH)下小麦醇溶蛋白、谷蛋白、巯基和二硫键含量变化显著($P<0.05$), 谷蛋白/醇溶蛋白的比例升高, 更易于诱导更多的游离巯基氧化成为二硫键, 使小麦籽粒发生老化。因此, 储藏温湿度的调控是保持小麦品质、保证小麦安全储藏的重要因素。高温高湿条件(35℃, 85% RH)容易导致小麦中蛋白质的变化; 而低温低湿条件(15℃, 50% RH)则有利于保持小麦中蛋白质的稳定从而实现安全储藏。

参考文献

- [1] 闫李慧,王金水,金华丽,等.基于近红外光谱技术的面粉水分无损检测模型的建立[J].现代食品科技,2011,27(2):235-238
YAN Li-hui, WANG Jin-shui, JIN Hua-li, et al. Establishment of nondestructive testing model of moisture content in wheat flour by near infrared spectroscopy [J]. Modern Food Science and Technology, 2011, 27(2): 235-238
- [2] 张进忠,王金水,周长智,等.不同储藏条件下小麦蛋白质变化研究[J].郑州粮食学院学报,1997,18(4):72-76
ZHANG Jin-zhong, WANG Jin-shui, ZHOU Chang-zhi, et al. Study on the change of wheat proteins stored under different conditions [J]. Journal of Zhengzhou Grain College, 1997, 18(4): 72-76
- [3] 尹阳阳,卞科,魏红艳.稻谷储藏过程中巯基与质构特性的关系[J].农产品加工,2010,6:71-73
YIN Yang-yang, BIAN Ke, WEI Hong-yan. Relationship between thiol group and textural characteristics during rice storage [J]. Processing of agricultural products, 2010, 6: 71-73
- [4] Chrastil J, Zarins Z M. Influence of storage on peptide subunit composition of rice oryzenin [J]. J. Agric. Food Chem., 1992, 40(6): 927-930
- [5] 王若兰.粮油储藏学[M].北京,中国轻工业出版社,2009
WANG Ruo-lan. Grain and oil storage [M]. Bei Jing, China Light Industry Press, 2009
- [6] 金玉红,张开利,付聿成,等.小麦蛋白质含量对小麦芽质量的影响[J].中国粮油学报,2006,21(3):39-42
JIN Yu-hong, ZHANG Kai-li, FU Yu-cheng, et al. The influence of protein content on the quality of wheat malt [J]. Journal of The Chinese Cereals and Oils Association, 2006, 21(3): 39-42
- [7] Christos D G, Konstantinos G, George Z. Mechanism of coomassie brilliant blue G-250 binding to proteins: a hydrophobic assay for nanogram quantities of proteins [J]. Anal. Bioanal. Chem., 2008, 391: 391-403
- [8] 王金水.酶解-膜超滤改性小麦面筋蛋白功能特性研究[D].广东广州:华南理工大学,2007
WANG Jin-shui. Functional properties of modified wheat gluten by enzymatic hydrolysis-membrane ultrafiltration [D]. Guangzhou, Guangdong: South China University of Technology, 2007
- [9] 付苗苗,王晓曦.小麦蛋白质及其各组分与面制品品质的关系[J].粮食与饲料工业,2006,8:10-12
FU Miao-miao, WANG Xiao-xi. Wheat protein and its components and the relationship between pasta quality [J]. Cereal Feed Industry, 2006, 8: 10-12
- [10] 郑子懿,陆启玉,章绍兵.冷冻面条品质影响因素的研究进展[J].现代食品科技,2013,29(2):434-437
ZHENG Zi-yi, LU Qi-yu, ZHANG Shao-bing. Research of the factors influencing the frozen noodle quality [J]. Modern Food Science and Technology, 2013, 29(2): 434-437
- [11] J Zhu, K Khan. Characterization of gluten in protein fractions from sequential extraction of hard red spring wheats of different bread making quality [J]. Cereal Chemistry, 2004, 81(6): 681-685
- [12] Susanne A, Herbert W. Effects of high and low molecular weight glutenin subunits on rheological dough properties and bread making quality of wheat [J]. Cereal Chemistry, 2001, 78(2): 157-159
- [13] 吴新连,孙美侠,廖江明,等.小麦在华南地区浅圆仓储藏过程中的品质特性变化[J].现代食品科技,2012,28(8):918-921
WU Xin-lian, SUN Mei-xia, LIAO Jiang-ming, et al. Changes of quality properties of wheat during storage in large squat silo of South China [J]. Modern Food Science and Technology, 2012, 28(8): 918-921
- [14] 张树华,杨学举,张彩英.小麦蛋白质组分含量与面团流变学性状的关系[J].甘肃农业大学学报,2011,46(2):65-70
ZHANG Shu-hua, YANG Xue-ju, ZHANG Cai-ying. Relationships between protein composition content and dough

- rheological traits in wheat flour [J]. Journal of Gansu Agricultural University, 2011, 46(2): 65-70
- [15] 徐瑞,谭晓荣,王晓曦.小麦后熟期间主要品质相关因素的变化[J].农业机械,2012,5:54-57
XU Rui, TAN Xiao-rong, WANG Xiao-xi. The change of main quality factors in wheat during after-ripening [J]. Agricultural Machinery, 2012, 5: 54-57
- [16] 陈湘宁,张艳艳,李里特,等.大豆蛋白水解产物中巯基的热稳定性和抗氧化作用的研究[J].食品与发酵工业,2005,31(7): 19-22
CHEN Xiang-ning, ZHANG Yan-yan, LI Li-te, et al. Heat-stability and antioxidative activity of sulfhydryls in soy protein hydrolysate [J]. Food and Fermentation Industries, 2005, 31(7): 19-22
- [17] 田悦,杜军保.二硫键和巯基在蛋白质结构功能中的作用及分析方法[J].实用儿科临床杂志,2007,22(19):1499-1501
TIAN Yue, DU Jun-bao. Effect of disulfide bond and mercapto-group on structure and function of protein and analytical method [J]. Journal of Applied Clinical Pediatrics, 2007, 22(19): 1499-1501
- [18] Tong L M, Sasaki S, McClements D J, et al. Antioxidant activity of whey in a salmon oil emulsion [J]. J. Food Sci., 2000, 65(8): 1325-1329
- [19] 张来林,黄文浩,肖建文,等.不同储藏条件对大豆、稻谷蛋白中巯基和二硫键的影响研究[J].粮食加工,2012,37(3):67-70
ZHANG Lai-lin, HUANG Wen-hao, XIAO Jian-wen, et al. Study on the effect of different storage conditions on -sh and -s-s- from soybean and rice protein [J]. Grain Processing, 2012, 37(3): 67-70