

小麦理化性状对馒头加工品质的影响

周素梅,任霞,王强

中国农业科学院农产品加工研究所;农业部农产品加工与质量控制重点开放实验室,北京 100193

摘要 馒头是中国北方居民的传统主食,在人们生活中占重要地位。馒头品质的优劣取决于其加工原料——小麦面粉,而小麦面粉的品质则受小麦籽粒理化性质的直接影响。本文回顾了近年来国内外有关小麦与馒头品质方面的相关研究,重点对小麦籽粒的物理、化学性状、面粉的特征品质性状等影响馒头加工品质的研究成果进行总结,以期获得馒头加工原料品种与产品间的内在关联,为小麦育种与加工业提供有益参考。

关键词 小麦;品质;面粉;馒头

中图分类号 S512.1

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)23-0108-05

Effects of Physical and Chemical Properties of Wheat Flour on the Quality of Chinese Steamed Bread

ZHOU Sumei, REN Xia, WANG Qiang

Key Laboratory of Agricultural Product Processing and Quality Control; Institute of Agro-food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100193, China

Abstract Chinese Steamed Bread (CSB) is a traditional staple food in the north of China, which plays an important role in people's daily life. The quality of CSB mainly depends on the quality of wheat flour, which is in turn determined by the physical and chemical properties of wheat grain. This paper reviews the researches related with the qualities of wheat and CSB from abroad and China, especially, the physical and chemical properties of wheat grain, rheological properties of flour and their effects on the quality of CSB, where the relationship between the wheat cultivars and the products during CBS-making may be obtained, to provide some guidance for wheat breeding and CSB processing.

Keywords wheat cultivar; quality; wheat flour; Chinese Steamed Bread

0 引言

馒头是中国北方居民的传统主食,距今已有 1700 多年的历史,素有“中国面包”之称。在中国,用于食用消费的小麦中,制作馒头的小麦约占其总产量的 40%。然而,与西方有同等地位的面包相比,中国对馒头的研究工作起步较晚,在研究的深入和系统性方面尚存在一定的差距。

自 20 世纪 80 年代开始,以美国、加拿大、澳大利亚等为主的世界小麦主产国为了扩大对中国的小麦出口,开始关注对中国馒头以及本国小麦品种对中国馒头加工适应性的研究^[1-3]。近年来,随着国内传统主食工业化的发展,馒头加工终于从传统手工制作向机械化、规模化生产发展。生产规模扩

大后的科学问题,尤其是原料品质与产品品质的关系问题是生产者遇到的难点问题之一,也因此受到更多的关注。国内研究者遂开始了有关适合制作馒头的小麦品种及其品质性状等方面的研究^[4-8]。本文将对近年来国内外有关小麦、面粉及其与馒头品质特性的关系研究进行回顾,以期从中获得有关馒头加工适宜性原料品种和品质的信息,为相关科研与从业人员提供参考。

1 小麦籽粒物理品质对馒头加工品质的影响

小麦籽粒的物理品质性状主要涉及角质率、千粒重和容重。角质率是反映胚乳质地的指标,角质率高的品种不仅籽

收稿日期:2010-07-29;修回日期:2010-11-13

基金项目:国家公益性行业(农业)科研专项(200903043-01-01);国家自然科学基金项目(30871742)

作者简介:周素梅,副研究员,研究方向为粮油深加工与功能食品,电子信箱:zhousumeiyahoo.com.cn

粒透明度好,色泽和外观宜人,而且容重及出粉率通常较大。

王宪泽等^[4]研究认为,小麦角质率对馒头加工品质的影响很大,角质率高的品种蒸制的馒头体积和比容大。刘淑芬等^[9]研究表明,因角质率与面筋含量呈正相关,角质率高的品种,蒸制的馒头体积大,比容较大,适口性也好;半角质品种居中;粉质品种蒸制的馒头则质量普遍较差。由此,其研究认为角质率可以作为适宜馒头加工小麦品种的选取标准。张春庆等^[6]通过逐步回归和聚类分析则指出,若要提高馒头质量的总评分,应在提高沉淀值的前提下,适当降低角质率,但角质率也不应太低,以60%~80%为宜。

有关千粒重与馒头品质的关系,有研究认为千粒重与馒头的品质之间呈负相关^[10]。也有研究认为千粒重与馒头品质相关性不显著^[4]。李梦琴等^[11]的研究显示,容重与馒头的体积、比容、色泽、黏性及总分呈正相关,与馒头结构、外观则呈负相关。

综合看来,小麦籽粒的物理性状中角质率对馒头加工品质的影响较为显著,且结论较为统一。这一指标是公认的与小麦的蛋白质含量与组成有关的表现指标,在未来馒头适宜加工小麦品种选取时可作为重要筛查指标之一。

2 小麦籽粒化学组成对馒头加工品质的影响

2.1 蛋白质对馒头加工品质的影响

2.1.1 蛋白质含量对馒头加工品质的影响

蛋白质含量被认为是决定馒头品质的重要因素,此方面的研究最多,但结论差异较大。Rubenthaler等^[12]认为在软麦和中等硬度的小麦中,蛋白质含量对馒头品质影响很大,蛋白质含量越高,馒头品质越好。Lin等^[13]的研究认为:高蛋白质含量(>12%)面粉制作的馒头,表面皱缩颜色发黑;低蛋白质含量(<10%)的软质小麦制作的馒头,表面光滑,但质地和口感均较差;蛋白质含量在10%~12%的中等筋力的面粉最适宜制作馒头。Huang等^[14]的研究指出,当蛋白质含量低于10%时,蛋白质含量与馒头总评分呈显著线性正相关($r=0.77$);但随着蛋白质含量的进一步提高,总评分不再随蛋白质含量的增加而增加。Addo等^[15]通过研究34个美国软麦品种和29个硬麦品种,发现在软麦中,蛋白质含量升高对馒头品质有利,蛋白质含量与馒头体积呈极显著正相关($r=0.633, P<0.001$);而在硬麦中,蛋白质含量与馒头体积的相关性并不显著。

2.1.2 蛋白质质量对馒头加工品质的影响

小麦籽粒中的蛋白质按溶解度不同分为4大类,即清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和麦谷蛋白。其中麦谷蛋白和醇溶蛋白是构成小麦面筋的主要蛋白组分,面筋的强度主要由麦谷蛋白与醇溶蛋白的比值决定。麦谷蛋白则是由高分子量蛋白亚基(HMW-GS)和低分子量蛋白亚基(LMW-GS)构成。编码HMW-GS的基因为Glu-1(Glu-A1、Glu-B1、Glu-D1),分别位于染色体1A、1B和1D的长臂上,每个位点由两个基因组成,被编码为较高分子量的X型亚基和较低分子量的Y型亚基^[16],其中谷蛋白5+10亚基一直是国内外研究的热点。研究者已

有的共识是,麦谷蛋白D1的5+10亚基与强筋力的面筋相关;2+12亚基则对应弱筋力的面筋^[17-18]。

王宪泽等^[4]用SDS-PAGE法分别计算了Glu-A1、B1、D1等点内等位基因变异的馒头体积。结果表明,每个位点内均无显著差异。HMW-GS对馒头体积的影响虽没有像沉降值那样达到极显著水平,但影响趋势是一致的,即含有2*、1和5+10亚基对的小麦品种,蒸制的馒头体积均大,表现出正向效应。张春庆等^[9]对高分子量谷蛋白亚基的研究表明,含5+10泳带的小麦品种,其馒头体积明显偏大;对蛋白质谱带的解析结果表明,对馒头体积影响较大的有X₂、X₁₀、X₁₄、X₁₈4条谱带。其中X₂、X₁₄为正效应。范玉顶^[20]通过对HMW-GS与馒头品质的回归分析指出,蛋白质亚基对馒头品质性状的影响程度由大到小为:Glu-D1>Glu-B1>Glu-A1,其中5+10亚基对馒头的体积、比容影响较大,4+12亚基则对馒头的外观和结构影响显著。

2.2 淀粉对馒头加工品质的影响

淀粉是小麦籽粒中含量最丰富的组分,约占整个小麦胚乳质量的75%左右。已有研究显示,馒头品质不仅与淀粉含量有关,更受到淀粉组成,即直链淀粉与支链淀粉比值的影响。直链淀粉含量高的小麦粉制作的馒头体积小、结构差、老化速度快、口感差、弹韧性差;直链淀粉含量偏低或中等的小麦粉制作的馒头体积大,弹韧性好,食用品质高;支链淀粉含量较高时,馒头通常体积大、结构好、表面光亮、老化速度慢、复蒸性好^[21]。

张春庆等^[9]的研究显示,影响馒头总评分的是湿面筋和直链淀粉含量,影响白度的是湿面筋和支链淀粉含量,其中复相关系数分别为0.528和0.544。王展等^[22]研究认为,支链淀粉含量与馒头的质构参数、馒头体积及评分均无相关性;支链淀粉与直链淀粉的比值与馒头的硬度和咀嚼度呈负相关,与馒头评分呈显著正相关。

此外,在小麦磨粉过程中将不可避免产生一定数量的破损淀粉。破损淀粉在淀粉酶的作用下分解成糊精、麦芽糖、葡萄糖等可被酵母利用的碳源,促进馒头的发酵及特殊风味的生成。但是,破损淀粉也会增加面团的吸水率,造成面团发黏。通常认为,破损淀粉的含量要适宜,过高会使酶解反应过于强烈,产生馒头芯部发黏、体积变小的现象;过低则可能造成面粉吸水率低、面筋形成缓慢、发酵不充分、蒸制过程馒头糊化不充分等问题。一般制作馒头的小麦面粉,破损淀粉含量应以7%~10%为宜^[23]。

降落值亦是与小麦淀粉有间接关系的一个指标,反映小麦面粉中 α -淀粉酶活性。降落值越高,酶的活性越低。 α -淀粉酶对面粉加工品质的影响与破损淀粉有相似之处。适量的淀粉酶可保证酵母在发酵过程能够获得充分的营养,从而产生更多的CO₂气体,保证馒头的体积,细腻、均匀的内部质构以及良好的口感。如果淀粉酶活性偏高,则将导致淀粉过度糊化,产生过多的糊精、小分子糖,馒头体积偏小且瓢发黏。如果小麦面粉中天然的淀粉酶活力不足或表现为降落值偏高,

为确保馒头的品质,在加工中通常会额外添加外源的 α -淀粉酶以满足加工需要。有关馒头专用粉的降落值标准,参考同属发酵制品的面包的标准,可以保持在200~300s。也有研究者认为馒头专用粉的降落值应 $>250s$ ^[24]。

2.3 阿拉伯木聚糖对馒头加工品质的影响

小麦籽粒中含有3%~5%的阿拉伯木聚糖(Arabinoxylan, AX),因其主要集中在小麦的皮层组织中,因此磨粉去皮后的小麦面粉中,AX的含量仅有1.5%~3%。AX的基本结构是由以D-吡喃木糖残基(Xyl)经 β -(1-4)糖苷键连接而成的木聚糖主链和 α -L-呋喃阿拉伯糖基(Ara)侧链构成,因其主要由阿拉伯糖和木糖等五碳糖构成,故又常被称为戊聚糖^[25]。相对于蛋白质和淀粉组分,AX虽然在小麦面粉中的含量甚微,但对面粉品质的影响作用亦不容忽视,AX的吸水量占面团总吸水量的20%左右^[26]。

Michniewicz等^[27]在4种不同的面粉中添加一定量的戊聚糖进行粉质试验,结果显示,戊聚糖的加入不仅提高了面粉的吸水率,面团的形成时间和稳定时间也得以延长。Vanhamel等^[28]将黑麦水溶性戊聚糖加入面粉中进行揉混试验,发现戊聚糖的加入不改变揉混曲线的形状,但增加了曲线的峰高和峰下的面积,使面粉的筋力加强。许兆明等^[29]的研究亦显示,戊聚糖的添加使面团拉伸阻力显著增强、延伸性下降,拉力比数明显提高。推测其中的基本原理在于,戊聚糖的高黏度增加了面筋和淀粉膜的强度与延伸性,使蛋白质泡沫的抗热破裂能力增强,提高了面团的持气性,从而使发酵过程中产生的CO₂扩散速率得到延缓,面制品内部的质构更加细腻、均匀,体积更大^[30]。AX对面粉加工品质的影响目前已经得到大多数研究者的认可,但具体针对馒头品质的影响情况还较少见报道。

由以上研究可以看出,目前关于小麦籽粒与馒头加工品质的关系研究中,以籽粒蛋白质对馒头品质的影响研究较多,结论也相对集中。籽粒的淀粉组成虽已有初步结论,但指标不如破损淀粉、降落值等具体;AX等其他已知与面粉加工品质有关的化学物质,与馒头品质的关系则还有待进一步深入研究。

3 小麦面粉与面团品质特性对馒头加工品质的影响

3.1 面粉蛋白的品质特性

在面粉品质性状指标中,面筋特性是其中一个重要指标。面筋构成了面团的网络结构,在馒头加工过程中,能够将淀粉糖化发酵形成的气体保存于面团中,从而得到疏松、柔软而富有弹性的馒头。通常认为,制作馒头的小麦粉筋力范围较宽,筋力中等的小麦粉也可能制作质量较好的馒头。

刘淑芬等^[9]的研究表明,湿面筋含量低,且面筋弹性和延展性差、发酵时间短的小麦品种,蒸制的馒头体积小、比容低、馒头芯“蜂窝”大而不均匀;弹性差而湿面筋含量高的小麦粉,蒸制的馒头虽然体积大,但韧性差,吃起来没咬劲;面筋含量中等的小麦粉,蒸制的馒头体积大、比容高、弹性好、

气孔均匀细腻、食口性好。其研究亦指出,影响馒头质量的不仅是面筋含量,而且更重要的是面筋质量。面筋质量则主要由其组分决定。面筋的主要成分是醇溶蛋白和麦谷蛋白,醇溶蛋白赋予面团一定的延展性,麦谷蛋白负责面团的弹性。馒头的制作以平衡型面团,即具有适度弹性和延展性的面团为最佳,这与麦谷蛋白与醇溶蛋白的比值有关。

沉降值是另一个反映面粉中蛋白数量与质量的综合指标,同时也是影响馒头加工品质的重要指标之一。刘爱华等^[6]的研究认为沉降值与馒头体积与比容呈极显著正相关。郭波莉等^[31]的研究显示沉降值与馒头体积及弹性呈显著正相关,相关系数分别为0.637、0.523。张春庆等^[9]指出,沉淀值和面粉吸水量影响到馒头的重量及总评分,沉淀值和发酵成熟时间影响馒头体积及比容;沉淀值、发酵成熟时间和面团成熟体积影响馒头孔隙。然而,也有个别研究者认为馒头的品质与沉降值无明显相关性^[32]。

3.2 面团流变学性质

面团形成前后所表现出的特有的耐揉性、黏弹性、延展性等流变学特性受面粉中蛋白质含量、面筋含量等的影响,可为正确评价小麦与面粉品质、预测面制品品质提供科学依据。因此,有关面团流变学性质的研究日益受到重视。目前一般采用粉质仪和拉伸仪参数评价面团的流变学特性。粉质仪评价的是面团的耐揉性和稳定性,拉伸仪指标则反映面团的强度、抗延伸力和黏合力。

3.2.1 粉质仪参数

李菡等^[33]的研究揭示,粉质仪参数中的软化度、公差指数与馒头的体积、比容、高度分别呈显著或极显著负相关;软化度、公差指数越小,面团耐揉性越好,对机械搅拌的承受能力大,面团不易变软塌陷,蒸制的馒头体积大、松软、有弹性;评价值和断裂时间与馒头品质的关系亦表现为显著正相关,其中评价值影响馒头的体积和高度,其相关系数分别为0.4087和0.6772。制作优质馒头的面粉,其评价值一般应在53以上,断裂时间 $\geq 5min$ 。Huang等^[2]对43个澳大利亚小麦品种和6个中国小麦品种的粉质特性研究显示,粉质仪的形成时间、稳定时间等参数与馒头品质各参数间呈显著相关性。

3.2.2 拉伸仪参数

在拉伸仪参数中,能量(或抗性)和延伸度表现非常重要,且一般延伸性好的面粉其能量也大,它们与馒头品质的相关性比较显著。高能量的面粉,面团的持气能力强,蒸出的馒头容易体积大、孔隙均匀。Huang等^[2]的研究显示,拉伸仪的最大抗性 r 与馒头总评分的相关性最高($r=0.70, P<0.001$)。李梦琴等^[11]则认为,延伸度虽然较其他几个流变参数与馒头品质的相关系数相对较大,但只与馒头的黏性呈显著相关,相关系数为0.394。

3.2.3 糊化仪参数

小麦面粉的糊化特性是反映小麦淀粉品质特性的重要指标。范玉顶等^[7]利用RIL群体分析小麦糊化特性与馒头品质的关系,研究发现淀粉糊化曲线中的峰值黏度、反弹值、峰

值时间与馒头的外观、结构、弹性、黏性、总分5项指标呈显著正相关;但稀懈值与馒头各指标的相关性不显著。王放等^[34]对河南产10个小麦品种及其面粉和馒头品质进行的全面分析评价表明,衡量面粉中淀粉糊化特性的胶凝值对馒头品质的影响较大,相关系数达-0.6。

4 馒头加工品质评价

在中国现行国家或行业标准中,LS/T 3204—1993《馒头用小麦粉》(原SB/T 10139—93)、GB/T 17320—1998《专用小麦品种品质》及GB/T 21118—2007《小麦粉馒头》中均对馒头的制作和评价方法有规定。GB/T 21118—2007重点规定的是商品馒头的品质要求,虽然也涉及对感官质量和比容的要求,但只是对产品的基本要求,如比容只要求 ≥ 1.7 即可。原商业部标准LS/T 3204—1993和国家标准GB/T 17320—1998的附录中均有馒头制作和评价方法,但两标准所规定内容却明显不同,在制作方法上,LS/T 3204—1993规定的加水量是固定的(48%),GB/T 17320—1998则主要依据粉质仪吸水率来添加,而且较前者增加了呛粉和加碱的步骤,相关依据在标准编制者的研究论文中有交待^[35]。而在评分标准上,两标准对于样品的内部和外部分值比例及限值亦有区别。以比容为例,LS/T 3204—1993规定2.3mL/g为满分,为百分制的20分;GB/T 17320—1998则规定2.8mL/g为满分,满分值仅为百分制的15分。之后,何中虎等^[36]申请了“实验室北方馒头的制作及品质评价方法”的发明专利,在前两种方法的基础上,着重参考了澳大利亚面包研究所(BRI)制定的中国馒头的评价指标体系,增加了压缩弛性、色度计色值、延展率等客观性指标,借助质构仪、色差仪等对馒头品质进行客观评定,减少了过去主要依据感官评价带来的人为误差。郭波莉等^[31]利用质构仪(TA.XT2i/5)测定了馒头的弹性和回复性,认为馒头的感官品质与体积指标表现越好,质构仪测试的弹性和回复性数值越高,馒头品质越好。周显青等^[8]通过对比研究南北方馒头的制作及评价方法,也肯定了质构仪的质构分析(TPA)测试模式是馒头品质评价的重要辅助手段。TPA测试指标与感官评定指标间存在显著相关性,尤其弹性、硬度和黏附性对馒头品质评分的有效性。

国外对于馒头品质评价的研究虽然亦处于探索阶段,但其更倾向于倚重流变仪、质构仪、色差计等客观评价手段。Huang等^[37]较早开展了仪器测试与感官测试的相关性研究,结果表明,Minolta CR310色度计的X值与感官评价馒头皮色、心色呈极显著正相关($r=0.97, P<0.001$; $r=0.97, P<0.001$),内部质构的最大压缩力 P_1 与软度和黏性极显著负相关($r=0.99, P<0.001$; $r=0.98, P<0.001$),得出仪器测试适于馒头品质评价的结论。澳大利亚面包研究所对中国北方馒头的研究较为深入,制定了以感官评价(包括表面亮度、平滑度、内部结构)、比容、延展率、表面和内部色泽、压缩弛性等为一体的品质评价体系,大部分指标可由仪器完成,评价结果受主观

影响较小,被本领域研究者普遍认可。

5 结语

近年来,随着中国馒头工业化生产时代的来临,有关馒头加工专用小麦品种和面粉原料的选取、馒头品质改良等的研究正受到越来越多的重视。由于国内相关研究起步较晚,虽已初步明确影响馒头品质的小麦部分品质性状,但与面包、饼干等面制品的研究相比,小麦与馒头品质各指标关系的相关研究仍需要补充、完善,结论亦有待统一。在馒头加工品质评价方面,受到中国馒头品种、加工方法多样性的影响,馒头的制作和评价方法尚未完全统一,制作步骤和评分依据还需进一步研讨和标准化。此外,受中国农业生产分散经营的影响,小麦混种、混收、混储现象非常普遍,而且小麦的品质受年份、环境的影响难以忽略,因此,未来馒头加工原料的研究不应局限于某一小麦品种及其自身理化性状,应把配麦、制粉工艺以及添加剂的合理使用等考虑在内,这对于当前中国小麦制粉和馒头加工业可能更具现实意义。

参考文献 (References)

- [1] Faridi H A, Rubenthaler G L. Laboratory method for producing chinese steamed bread and effects of formula, steaming and storage on bread starch gelatinization and freshness in process[C]. 6th Int Wheat Genetics Symp, Kyoto, Japan, 1983: 863-867.
- [2] Huang S, Betker S, Quail K, et al. An optimized processing procedure by response surface methodology(RSM) for northern style Chinese steamed bread[J]. *Journal of Cereal Science*, 1993, 18(1): 89-102.
- [3] Zhu J, Huang S, Khan K, et al. Relationship of protein quantity, quality and dough properties with chinese steamed bread quality [J]. *Journal of Cereal Science*, 2001, 33(2): 205-212.
- [4] 王宪泽, 李茵, 郭恒俊, 等. 小麦加工品质性状与馒头质量性状的相关性[J]. *中国粮油学报*, 1998, 13(6): 6-8.
Wang Xezhan, Li Yin, Guo Hengjun, et al. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 1998, 13(6): 6-8.
- [5] 张春庆, 李晴祺. 影响普通小麦加工馒头质量的主要品质性状的研究[J]. *中国农业科学*, 1993, 26(2): 39-46.
Zhang Chunqing, Li Qingqi. *Scientia Agricultura Sinica*, 1993, 26(2): 39-46.
- [6] 刘爱华, 何中虎, 王光瑞, 等. 小麦品质与馒头品质关系的研究 [J]. *中国粮油学报*, 2000, 15(2): 10-14.
Liu Aihua, He Zhonghu, Wang Guangrui, et al. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2000, 15(2): 10-14.
- [7] 范玉顶, 李斯深, 孙海艳, 等. 利用 RIL 群体分析小麦淀粉黏度性状与馒头品质的关系[J]. *中国粮油学报*, 2005, 20(1): 6-8.
Fan Yuding, Li Sishen, Sun Haiyan, et al. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2005, 20(1): 6-8.
- [8] 周显青, 张玉荣. 馒头品质评价方法研究进展 [J]. *粮食加工*, 2008, 33(4): 64-66.
Zhou Xianqing, Zhang Yurong. *Grain Processing*, 2008, 33(4): 64-66.
- [9] 刘淑芬, 吴自强. 蒸制优质馒头与小麦品质的关系[J]. *作物杂志*, 1986

- (4): 27-28.
Liu Shufen, Wu Ziqiang. *Crops*, 1986(4): 27-28.
- [10] 黄宜新. 浅析影响馒头品质的主要因素 [J]. 西部粮油科技, 2003(5): 13-17.
Huang Yixin. *China Western Cereals & Oils Technology*, 2003(5): 13-17.
- [11] 李梦琴, 任红涛, 张剑, 等. 馒头品质与小麦品质指标相关性分析[J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(3): 318-321.
Li Mengqin, Ren Hongtao, Zhang Jian, et al. *Journal of Henan Agricultural University*, 2007, 41(3): 318-321.
- [12] Rubenthaler G L, Huang M L, Pomeranz Y. Steamed bread I. Chinese steamed bread formulation and interaction[J]. *Cereal Chem*, 1990, 67(5): 471-475.
- [13] Lin Z, Miskelly D M, Moss H J. Suitability of various Australian wheats for Chinese-style steamed bread[J]. *Sci Food Agric*, 1990, 53(2): 203-213.
- [14] Huang Sidi, 詹道润. 馒头用粉品质指标的评价 [J]. 麦类作物, 1997, 17(5): 54-57.
Huang Sidi, Zhan Daorun. *Triticale Crops*, 1997, 17(5): 54-57.
- [15] Addo K, Domeranz Y, Huang M L, et al. Steamed bread II. Rule of protein content and strength[J]. *Cereal Chem*, 1991, 68(1): 39-42.
- [16] Payne P I, Holt L M, Law C N. Structural and genetical studies on the high-molecular-weight subunits of wheat glutenin [J]. *Theor Appl Genet*, 1981, 60(4): 229-236.
- [17] Campbell W P, Wrigley C W, Cressey P J, et al. Statistical correlations between quality attributes and grain-protein composition for 71 hexaploid wheats used as breeding parents [J]. *Cereal Chem*, 1987, 64 (4): 293-299.
- [18] Cressey P J, Campbell W P, Wrigley C W, et al. Statistical correlation between quality attributes and grain-protein composition for 60 advanced lines of crossbred wheat[J]. *Cereal Chem*, 1987, 64(4): 299-301.
- [19] 张春庆, 李晴祺, 尹承侑. 高分子量和中分子量蛋白质谱带与普通小麦馒头加工体积的关系 [J]. 山东农业大学学报, 1996, 27 (4): 393-401.
Zhang Chunqing, Li Qingqi, Yin Chengyi. *Journal of Shandong Agricultural University*, 1996, 27(4): 393-401.
- [20] 范玉顶. 北方手工馒头的品质与小麦品质关系及 QTL 作图[D]. 山东: 山东农业大学, 2003.
Fan Yuding. Association between Northern style Hand-made Steamed Bread Quality and Wheat Quality and QTL Mapping [D]. Shandong: Shangdong Agricultural University, 2003.
- [21] 董彬, 郑学玲, 王凤成. 小麦粉组分特点和馒头品质关系 [J]. 粮食与油脂, 2005(2): 12-14.
Dong Bin, Zheng Xueling, Wang Fengcheng. *Cereals & Oils*, 2005(2): 12-14.
- [22] 王展, 印兆庆. 面粉中淀粉及其组分的含量与馒头品质关系的研究 [J]. 粮食与饲料工业, 2005(3): 13-14.
Wang Zhan, Yin Zhaoqing. *Cereal & Feed Industry*, 2005(3): 13-14.
- [23] 王晓曦, 邵青, 张振锋, 等. 小麦破损淀粉含量对制品蒸煮品质影响及其机理[J]. 粮食与油脂, 2001(3): 10-12.
Wang Xiaoxi, Shao Qing, Zhang Zhenfeng, et al. *Cereals & Oils*, 2001 (3): 10-12.
- [24] 杨学举, 张树华, 常文锁, 等. 中国麦制面食的需求趋势及相应对策 [J]. 麦类作物学报, 1999, 19(5): 10-12.
Yang Xueju, Zhang Shuhua, Chang Wensuo, et al. *Journal of Triticeae Crops*, 1999, 19(5): 10-12.
- [25] 周素梅, 王强, 张晓娜. 小麦中功能性多糖-阿拉伯木聚糖研究进展 [J]. 核农学报, 2009, 23(2): 297-301.
Zhou Sumei, Wang Qiang, Zhang Xiaona. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2009, 23(2): 297-301.
- [26] Izydorczyk M S, Biliaderis C G. Cereal Arabinoxylans: Advances in Structure and Physicochemical Properties [J]. *Carbohydrate Polymers*, 1995, 28(1): 33-48.
- [27] Michniewicz J, Biliaderis C G, Bushuk W. Effect of added pentosans on some physical and technological characteristics of dough and gluten[J]. *Cereal Chem*, 1991, 68(3): 252-258.
- [28] Vanhamel S, Cleemput G, Delcour J A, et al. Physicochemical and functional properties of rye non-starch polysaccharides. IV The effect of high molecular weight water-soluble pentosans on wheat-bread quality in a straight-dough procedure[J]. *Cereal Chem*, 1993, 70(3): 306-311.
- [29] 许兆明, 朱斌昕, 林仁, 等. 戊聚糖及其对面粉品质的影响[J]. 中国粮油学报, 1990, 5(3): 19-24.
Xu Zhaoming, Zhu Binxin, Lin Ren, et al. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 1990, 5(3): 19-24.
- [30] 吴雪辉, 陈永泉, 刘欣, 等. 戊聚糖对面粉品质的影响[J]. 华南农业大学学报, 1998, 19(1): 119-125.
Wu Xuehui, Chen Yongquan, Liu Xin, et al. *Journal of South China Agricultural University*, 1998, 19(1): 119-125.
- [31] 郭波莉, 魏益民, 张国权, 等. 馒头品质评价方法探析[J]. 麦类作物学报, 2002, 22(3): 7-10.
Guo Boli, Wei Yimin, Zhang Guoquan, et al. *Journal of Triticeae Crops*, 2002, 22(3): 7-10.
- [32] 王瑞, 李硕碧. 面包, 面条, 馒头质量与小麦面粉主要品质参数的相关分析[J]. 麦类作物学报, 1995, 15(3): 35-37.
Wang Rui, Li Shuobi. *Journal of Triticeae Crops*, 1995, 15(3): 35-37.
- [33] 李菡, 郭恒俊. 小麦加工品质对馒头的适宜性评价研究[J]. 粮食与饲料工业, 2003(4): 3-5.
Li Han, Guo Hengjun. *Cereal & Feed Industry*, 2003(4): 3-5.
- [34] 王放, 郑铁松, 张国治, 等. 面条及馒头专用粉的品质要求及小麦品种筛选研究[J]. 中国粮油学报, 1999, 14(2): 13-16.
Wang Fang, Zheng Tiesong, Zhang Guozhi, et al. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 1999, 14(2): 13-16.
- [35] 王乐凯, 赵乃新, 程爱华, 等. 馒头的实验室制作及品尝评价新方法 [J]. 中国粮油学报, 1998, 13(2): 29-32.
Wang Lekai, Zhao Naixin, Cheng Aihua, et al. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 1998, 13(2): 29-32.
- [36] 何中虎, 张艳, 陈东升. 实验室北方馒头的制作及品尝评价新方法: 中国, 200410101582.9[P]. 2006-07-05.
He Zhonghu, Zhang Yan, Chen Dongsheng. China, 200410101582.9[P]. 2006-07-05.
- [37] Huang S, Quail K, Moss R, et al. Objective methods for quality assessment of northern style Chinese steamed bread[J]. *Journal of Cereal Science*, 1995(21): 49-55.

(责任编辑 吴晓丽)