

大豆膳食纤维对面团流变学特性及面制品品质影响的研究进展

陈姿含, 管 晓

(上海理工大学 医疗器械与食品学院, 上海 200093)

摘 要:随着人们对均衡膳食和高品质面制品需求的不断提高,通过添加大豆膳食纤维改良面团流变学特性,进而在一定程度上改良面制品品质成为新的研究热点。该文综述了近年来添加大豆膳食纤维改善面团流变学特性及面制品品质方面的研究进展。同时,归纳了大豆膳食纤维改善面团流变学特性及面制品品质的作用机理,为加工富含大豆膳食纤维的高品质面团及面制品提供参考。

关键词:大豆膳食纤维;面团;流变学特性;面制品;品质

中图分类号:TS210.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2011)05-0869-05

Research Advance of Effects of Soybean Dietary Fiber on the Rheological Properties of Dough and Qualities of Flour Products

CHEN Zi-han, GUAN Xiao

(School of Medical Instruments and Food Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: With the rising demands for a balanced diet and high quality flour products, addition of the soy dietary fiber has become a hot research spot. Soy dietary fiber could improve the rheological properties of dough and the quality of the flour products. The effects of addition of soybean dietary fiber on the rheological properties of wheat dough and flour products in recent years were reviewed in this paper. Furthermore, the research methods and related conclusions were concerned. Meanwhile, the mechanisms of soybean dietary fiber on the qualities of dough and flour products were also summarized. In some levels, it will provide some reference for the processing of soybean dietary fiber-rich pasta and flour products with high quality.

Key words: Soybean dietary fiber; Dough; Rheological properties; Flour products; Quality

面团是一类介于固态与液态食品之间的既有弹性又有黏性的流变体,面团流变学特性是面团耐揉性和粘弹性的综合表现,是小麦品质的重要指标。面团的流变学特性不仅仅决定了食品加工过程中面团的操作性能,而且对最终产品的品质产生重要的影响^[1-2]。面团流变学特性受许多因素影响^[3],近年来,通过添加膳食纤维来改善面团流变学特性,从而改良面制品品质的方法成为研究的热点。

膳食纤维(Dietary fiber, DF)被誉为是第七营养素^[2],在均衡现代人的合理膳食方面扮演着越来越重要的角色。大豆膳食纤维具有产量高、质量优的特点,可以作为生产膳食纤维的大宗原料。将大豆膳食纤维添加至面团中,一方面可以使我国小麦粉品质普遍低于国际水平的现状得到改善,另一方面也使深受北方人喜爱的面制品成为推动人们均衡膳食的有力载体^[4]。值得关注的是,将大豆膳食纤维添加到面制品中,不仅能起到均衡膳食的作用,

还能使面团的流变学特性得到改善,从而可在一定程度上提升面制品的品质。因此,大豆膳食纤维对面团流变学特性影响的研究具有重要的研究价值,对面制品品质的提升具有一定的工业生产指导意义。

该文综述了近十年来关于添加大豆膳食纤维对面团流变学特性影响的相关研究,并考察了添加大豆膳食纤维对面制品,包括馒头和面条品质的改良情况。根据目前的研究进展,深入讨论添加大豆膳食纤维改善面团流变学特性和面制品品质的作用机理,为进一步生产具有良好流变学特性的面团及开发添加大豆膳食纤维的面制品提供理论支持和技术指导。

1 大豆膳食纤维对面团流变学特性的影响

膳食纤维是一种不被人体胃肠道酶类降解的

收稿日期:2011-04-11

基金项目:上海市晨光计划资助项目(09CG50);上海市研究生创新基金资助项目。

第一作者简介:陈姿含(1987-),女,在读硕士,研究方向为食品资源综合利用。E-mail:chenzihan1987@126.com。

通讯作者:管晓(1979-),男,博士,讲师,主要从事食品功能与营养方面的研究。E-mail:gnxo@163.com。

一类多糖大分子,分子中暴露的游离羟基能与水相互作用,因此面团在添加纤维后其性质会发生相应改变,进而影响面团的流变学性质^[5-6]。目前,面团流变学特性主要通过粉质仪、拉伸仪绘制的粉质曲线图、拉伸曲线图来反映^[7]。

肖安红等^[8]通过 AACC54-21 方法对不同品质小麦粉添加量和不同粒度的大豆豆皮膳食纤维后分别进行粉质和拉伸实验,分析大豆豆皮膳食纤维对小麦粉流变性质的影响。结果表明,面团的形成时间和弱化度随膳食纤维添加比例的增大呈上升趋势;并且当大豆豆皮膳食纤维添加百分比到达某一值时,面团稳定时间会出现一个峰值,即面团的粉质特性发生了较大的变化。一般而言,面团吸水率、形成时间、稳定时间和评价值的数值越大而弱化度的数值越小,表明面团粉质特性越好^[9]。因此添加大豆豆皮膳食纤维在某一合适比例时,会使面团的粉质特性达到最佳。同时,面团拉伸实验结果显示,膳食纤维对面团拉伸特性的影响存在双重性,在一定范围内,拉伸曲线面积、抗拉阻力、拉伸比例数值越大,而延伸性越小,表明面团拉伸特性越好^[10]。大豆豆皮膳食纤维的加入引起面团拉伸特性的变化取决于2种对立变化趋势的相对强弱,即只有当大豆豆皮膳食纤维添加量最佳时,面团的抗拉阻力最大、延伸性最小、拉伸比例最大。拉伸特性还与小麦粉本身筋力有关^[11]。

王苏闽等^[11]在大豆豆皮与麦麸膳食纤维对面团流变学特性影响的研究中指出:豆皮与麦麸膳食纤维的添加对面团的粉质特性均起到一定的改良作用,但对面团的拉伸特性却有不同程度的恶化作用。当添加1%~2%的豆皮膳食纤维与1%~4%的麦麸膳食纤维时,对面团流变学的综合特性起到促进作用。为进一步验证大豆膳食纤维对面团流变学特性的改善,王苏闽^[12]又考察了大豆豆渣膳食纤维对面团流变学特性影响,结果证明添加豆渣膳食纤维对面团流变学特性的双重作用,与采用大豆豆皮膳食纤维效果类似,即添加适宜比例的大豆豆渣膳食纤维时,面团的流变学特性得到显著改善。

根据已有的报道不难发现,面团中添加大豆膳食纤维后对其5个粉质参数均产生积极的影响,即可以明显提高面团的吸水率、形成时间和稳定时间,减小其弱化度,从而使面团的综合评价价值增大。但其拉伸特性的相关参数变化并不一致,随着膳食纤维添加量的增加,面团拉伸曲线的面积(粉力或

能量)和延伸度减小,而拉伸阻力和拉力比数升高,即对面团的拉伸性有正反2个方面的作用,因此存在一个最适添加量,此时面团的拉伸特性最优。另外,大豆膳食纤维最优添加量确定还与膳食纤维的含量、粒度等有关。

2 大豆膳食纤维对面制品品质的改善

面团流变学特性作为影响面制品品质的重要特性之一^[13],对面制品的品质改良具有重要的意义。对面制品品质评价包括主观评价和客观评价,其中主观评价能直接反映消费者对产品的接受程度,但受主观因素影响较大,试验结果的可靠性较差;客观评价是基于食品的流变学特性,借助于客观手段对面制品品质进行分析评判,具有一定的科学性和可比性^[14]。以上述评价方法为基础,在馒头和面条等我国传统面制品的品质改善研究中,大豆膳食纤维发挥了重要作用。

2.1 大豆膳食纤维对馒头品质的改善

生面团流变学特性对馒头的最终体积有显著的影响。白建民等^[15]研究表明,在一定范围内,面团的吸水率、形成时间、稳定时间和粉质指数的增加能促进馒头体积的增大,而弱化度和公差指数的增加会导致馒头体积的减小。此外,拉伸面积与馒头体积呈正相关($r=0.939$),面团样品在延伸度为150 mm或最大阻力比较小时,馒头有最大体积。拉伸比与馒头体积之间没有明显的线性关系,但当拉伸比小于3.5时,馒头体积随着拉伸比的增大有一定上升趋势。

肖安红等^[16]研究认为,在面团中添加适量膳食纤维,能使面团的形成时间、稳定时间、吸水率、评价值增加,弱化值减小,并有效改善馒头品质和质地,增加馒头的比容,改善结构和弹性等。在大豆豆皮膳食纤维添加量为3%、加水量50%的条件下,馒头品质最好。因此大豆膳食纤维可作为面粉品质改良剂用,使馒头在储藏过程中保持弹性,从而有效地延缓馒头的老化。

2.2 大豆膳食纤维对面条品质的改善

吸水率和烹煮损失是评价面条质量的重要指标。面条吸水率大,品质相对较好,出品率高;烹煮损失小,表明淀粉流失少,面条不易糊汤^[17]。孙小凡等^[17]的实验表明,随着豆渣膳食纤维添加量的增加,面条烹煮损失逐渐减小,吸水率逐渐增加,有利于提高产品的出品率。但当豆渣膳食纤维添加量

达9%时,面条烹煮损失略有升高;随着豆渣膳食纤维添加量的进一步增加,面团稳定时间减小,面团筋力减弱,面条的烹煮损失增加,面条品质变劣。孙晓燕等^[18]研究发现不同种类膳食纤维对面条品质的改善效果不同。面条中膳食纤维添加技术的关键是掌握添加量和膳食纤维的种类,若含果胶或葡甘聚糖较多,不仅不断条、不混汤,还比较清爽。张晨等^[19]报道了面条中豆渣膳食纤维的适宜添加量为3%~6%。一般添加处理后的面条韧性良好,耐煮耐泡,强度增加,更为清爽适口。

3 大豆膳食纤维对面团流变学特性及面制品品质影响的机理研究

大量研究证明,添加大豆膳食纤维在改良面制品品质与改善面团流变学特性之间存在质和量的高度相关性。郑刚等^[20]指出脱脂大豆粉可改善面团流变学特性,特别是粉质特性和拉伸特性的部分参数变化与感官评价的结果高度相关。此外,肖安红等^[16]对添加大豆皮膳食纤维所引起的面团粉质特性与馒头质构实验特性进行对比,结果表明添加大豆皮膳食纤维可同步改良面团流变学特性和馒头品质。这说明大豆膳食纤维对面团流变学特性带来优化的同时,也可以使面制品品质得到改善。但是影响面团流变学特性及面制品品质的最优大豆膳食纤维添加量存在差异。

宋健等^[1]基于面团的粉质特性和拉伸特性,逐一探讨了膳食纤维对改善面团流变学特性的影响,大豆膳食纤维的高吸水性,使得面团中面筋的吸水能力增大,吸水速率降低,从而面筋吸收水分形成面团的时间延长,保水性更强。由于面团的稳定性得到提升,过度揉搓后弱化度小,面团发软发粘的情况得到控制,最终改善面团的揉混特性。此外,大豆膳食纤维中含有的多聚糖成分与面团中的蛋白发生交联,使得面团的抗拉阻力增大,表现为面团的弹性增强,一定程度上改善了面团的延展特性。揉混特性和延展特性的同步变化改善了面团流变学特性。

与影响面团流变学特性的机理相似,对于大豆膳食纤维改善面制品品质的机理研究有以下2个方面:首先,面团吸水率和馒头、面条等含水量提升的直接原因是大豆膳食纤维的吸水力和持水作用,这一作用的物质基础是大豆膳食纤维中所含有的

极性基团^[21]。其次,蛋白质作为小麦粉最重要的成分之一,其水化形成的面筋是面团的框架结构,对馒头体积、质构及面条强度、烹煮品质等起决定性作用^[8]。研究表明,大豆膳食纤维对面筋结构具有十分重要的影响^[21-22]。

综上所述,不难发现大豆膳食纤维对面团流变学特性的改善和对面制品品质的改良机理是具有相通性。此外,添加大豆膳食纤维对面团流变学特性和面制品品质的影响情况相似,即随着大豆膳食纤维的添加,二者皆先呈现改良效果,继续添加则恶化作用加剧。

通常认为,一切能加强面筋网络结构的成分均可改良面团特性,而一切能破坏或冲散面筋网络的成分均会恶化面团品质^[22]。因此,问题的焦点集中在大豆膳食纤维对面筋网络结构的影响上,大豆膳食纤维在改善面团中面筋网络结构过程中引起了面团流变学特性的变化,从而对面制品品质有了一定程度的改良作用。

大豆膳食纤维对面筋网络结构的作用是具有两面性的。其中恶化作用可以从添加大豆皮膳食纤维稀释小麦粉中蛋白质含量的角度进行解释,由此引起了面团中能形成网络结构的面筋含量减少,过量膳食纤维的加入必然使膨胀的大豆膳食纤维形成空间障碍而限制面筋的充分扩展^[17],最终造成面团特性的恶化,主要表现在面团的延伸性下降,导致面制品软塌等。同时,大豆膳食纤维中所含有的具有明显强化面筋结构的基团对面团品质的改善是至关重要的。首先,大豆膳食纤维中含有大量的多糖化合物,如阿拉伯半乳聚糖、阿拉伯聚糖、酸性果胶类物质和半乳糖甘露聚糖等,由于此类物质属多糖凝胶体,可依靠主链间氢键等非共价作用力形成连续的、具有一定黏弹性的三维凝胶网络结构,故可改良面团的特性^[23];其次,大豆皮膳食纤维中含有的不溶性戊聚糖,是已知的面团品质改良剂。戊聚糖改良面团品质的机理在于通过酚酸的活性双键与小麦粉蛋白质结合成更大分子的网络结构,因此能强化面团,起到对面团及面制品品质的改良作用^[24-25];再次,大豆膳食纤维的高持水性也有利于面筋网络结构的维持^[12],随着面团形成时间和稳定时间的延长,断裂时间也呈增长趋势,弱化度则下降。

另外,大豆膳食纤维粒度和种类对面团流变学特性和面制品品质也有一定的影响,这是大豆膳食

纤维颗粒与水的接触面积以及水分的渗透速度的综合作用结果^[17],即添加合适粒度大豆膳食纤维使面制品口感更加细腻。

由此可见,大豆膳食纤维对面团流变学特性和面制品品质的恶化与改良作用是由大豆膳食纤维本身特性以及添加量对面团及面制品造成的2种变化趋势的强弱关系所致。当添加量适宜时,大豆膳食纤维的高持水性功效以及所含的凝胶体与戊聚糖对面团的改良作用能掩盖对面筋的稀释所带来的恶化作用,对面团特性表现出较明显的改良效果^[11]。在膳食纤维的强持水性作用下,和面时易吸水膨胀,与部分吸水的面筋蛋白一起形成网络有利于改善馒头面条的品质,表现为馒头体积增大,韧性增强,弹性变大,而且由于在馒头制作时吸收更多的水,使馒头老化延缓;也使得制作的面条更加爽滑适口、劲道有力,汤清有滋味等^[20,26]。

4 展 望

鉴于现阶段应用大豆膳食纤维改良面制品品质的研究现状,还有以下工作需要进一步完善:第一,由于企业生产的动力是降低成本,所以在开发膳食纤维改良的面粉及面制品时,如何进一步降低大豆膳食纤维的生产成本从而创造更大的经济效益是至关重要的;第二,由于大豆膳食纤维的添加可以同时改善面制品的感官品质和营养价值,所以可以考虑生产更多的含有大豆膳食纤维的功能性面制品,使得健康、营养、美味的饮食更具有普遍性;第三,改良面团流变学特性中所使用的膳食纤维的添加量与制作品质改良的面制品的添加量并非完全一致,可以进一步考察其相关性,取得二者之间的良好平衡,从而更好地指导工业生产和大众饮食。

参考文献

- [1] 宋欢,明建,赵国华. 添加膳食纤维对面团及面制品品质的影响[J]. 食品科学,2009(2):493-496. (Song H, Ming J, Zhao G H. Overview on effects of addition of dietary fiber on qualities of dough and products of wheat flour[J]. Food Science,2009(2):493-496.)
- [2] Burkitt D P, Townen H C. Refined carbohydrate foods and disease: some implications of dietary fiber[M]. London: Academic Press, 1975.
- [3] 游玉明,陈井旺. 面团流变学特性研究进展[J]. 面粉通讯,2008(3):46-48. (You Y M, Chen J W. Progress in dough rheological properties[J]. Flour Milling,2008(3):46-48.)
- [4] 张佳程. 食品质地学[M]. 北京:中国轻工业出版社,2010. (Zhang C C. Food texture[M]. Beijing: China Light Industry Press,2010.)
- [5] Manohar R S, Rao P H. Interrelationship between rheological characteristic of dough hand quality of biscuits; use of elastic recovery of dough to predict biscuit quality[J]. Food Research International,2002,35:807-813.
- [6] Rosell C M, Rojas J A, Benedito B. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality[J]. Food Hydrocolloids,2001,15:75-81.
- [7] 罗先华. 浅谈面团流变学特性对小麦粉质量的影响[J]. 粮食与饲料工业,2004(12):15-16. (Luo X H. Influence of dough rheological properties on wheat flour quality[J]. Cereals and Feed Industry,2004(12):15-16.)
- [8] 肖安红,汪杰,孙秀发. 大豆豆皮膳食纤维对小麦粉流变特性影响的研究[J]. 粮食与饲料工业,2007(7):28-30. (Xiao A H, Wang J, Sun X F. A study on the effects of dietary fiber from soybean hull on rheological property of flour[J]. Cereals and Feed Industry,2007(7):28-30.)
- [9] 郑建仙. 功能性食品(第三卷)[M]. 北京:中国轻工业出版社,1999. (Zheng J X. Functional foods(Volume III)[M]. Beijing: China Light Industry Press,1999.)
- [10] 吴家根. 谷物与大豆食品工艺学[M]. 北京:中国轻工业出版社,1995. (Wu J G. Grain and soybean food technology[M]. Beijing: China Light Industry Press,1995.)
- [11] 王苏闽,闫怀中. 大豆豆皮与麦麸膳食纤维对面团流变学特性影响的研究[J]. 粮油食品科技,2010,18(5):7-12. (Wang S M, Lv H Z. Research on effect of dietary fiber from soybean peel and wheat bran upon the rheological properties of wheat dough[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods,2010,18(5):7-12.)
- [12] 王苏闽. 豆渣膳食纤维对面团流变学特性的影响[J]. 安徽农业科学,2010,38(15):8194-8196. (Wang S M. Influences of dietary fibre from bean dregs upon the rheological property of wheat dough[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences,2010,38(15):8194-8196.)
- [13] 徐荣敏,王晓曦. 小麦淀粉的理化特性及其与面制品品质的关系[J]. 粮食与饲料工业,2005(10):23-24. (Xu R M, Wang X X. Physical and chemical properties of wheat starch and its relationship with the quality of the flour products[J]. Cereals and Feed Industry,2005(10):23-24.)
- [14] 吕军仓,席小艳. 质构分析仪在面制品品质评价中的应用[J]. 粮油加工与食品机械,2006(3):73-77. (Lv C J, Xi X Y. The applications of texture analyzer in the evaluation on the quality of flour products[J]. Machinery for Cereals Oil and Food Processing,2006(3):73-77.)
- [15] 白建民,刘长虹,张运欢. 面团流变学特性与馒头体积之间的关系[J]. 粮油加工,2009(12):114-116. (Bai J M, Liu C H, Zhang Y H. The relationship between dough rheological properties

- and the volume of bread[J]. *Cereals Oil and Food Processing*, 2009(12):114-116.)
- [16] 肖安红,何东平,张世宏. 低温脱脂豆粕与大豆豆皮膳食纤维改善馒头品质及老化的比较[J]. *中国粮油学报*, 2005, 20(4):73-76. (Xiao A H, He D P, Zhang S H. The comparison between the low temperature defatted soybean meal and soybean hull dietary fiber improving and aging the quality of steamed bread [J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2005, 20(4):73-76.)
- [17] 孙小凡,杨依红. 豆渣膳食纤维保健面条烹煮品质特性研究[J]. *粮食加工*, 2010, 35(1):57-59. (Su X F, Yang Y H. Research of cooking quality of noodles made with dietary fiber from soybean dregs [J]. *Cereals Oil and Food Processing*, 2010, 35(1):57-59.)
- [18] 孙晓燕,李小林,钟振声等. 功能性强化大豆膳食纤维的生理功效及其在食品上的应用[J]. *食品工业科技*, 2005(10):184-186. (Sun X Y, Li X L, Zhong Z S. The physiological effects of functional enhanced soybean dietary fiber and its application in foods[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2005(10):184-186.)
- [19] 张晨,杨文杰. 豆渣水溶性膳食纤维的最新应用[J]. *中国食品添加剂*, 2005(3):78-82. (Zhang C, Yang W J. The latest application of the soybean dregs water-soluble dietary fiber in food industry[J]. *China Food Additives*, 2005(3):78-82.)
- [20] 郑刚,胡小松,李全宏,等. 脱脂大豆对面团流变学特性及用其制成面条品质的影响[J]. *食品科学*, 2007(4):101-102. (Zheng G, Hu X S, Li Q H, et al. Effect on dynamic rheological property of wheat dough after addition of defatted soybean flours [J]. *Food Science*, 2007(4):101-102.)
- [21] 刘忠萍,华聘聘. 大豆膳食纤维研究[J]. *粮食与油脂*, 2002(8):11-12. (Liu Z P, Hua P P. Study on soybean fiber[J]. *Journal of Cereals & Oils*, 2002(8):11-12.)
- [22] 郑建仙,丁霄霖. 一种多功能的膳食纤维添加剂[J]. *无锡轻工业学院学报*, 1996(4):189-193. (Zheng J X, Ding X L. A multi-functional additives of dietary fiber[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 1996(4):189-193.)
- [23] 伍立居,李平. 从玉米皮和豆皮中制取食用纤维的研究[J]. *食品与发酵工业*, 1996(5):44-48. (Wu L J, Li P. The preparation of dietary fiber from corn bran and the dried bean curd [J]. *Food and Fermentation Industries*, 1996(5):44-48.)
- [24] 陈正行,狄济乐. 食品添加剂新产品与新技术[M]. 南京:江苏科学技术出版社,1995. (Chen Z X, Di J L. The new products and new technologies of food additives[M]. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1995.)
- [25] 王放,王显伦. 食品营养保健原理及技术[M]. 北京:中国轻工业出版社,1997. (Wang F, Wang X L. The principles and techniques of food nutrition and health[M]. Beijing: China Light Industry Press, 1997.)
- [26] 邵佩兰,徐明. 麦麸膳食纤维面条烹煮品质特性的研究[J]. *农业科学研究*, 2007, 28(2):27-29. (Shao P L, Xu M. Research of cooking quality of noodles made with food fiber from wheat bran [J]. *Journal of Agricultural Sciences*, 2007, 28(2):27-29.)

(上接第 868 页)

- [19] Li H Y, Zhu Y M, Chen Q, et al. Production of transgenic soybean plants with two anti-fungal protein genes via *Agrobacterium* and particle bombardment [J]. *Biologia Plantarum*, 2004, 48(3):367-374.
- [20] 郭玉双,张艳菊,朱延明,等. 转几丁质酶和核糖体失活蛋白双价基因大豆的获得与抗病性鉴定[J]. *作物学报*, 2006, 32(12):1841-1847. (Guo Y S, Zhang Y J, Zhu Y M, et al. Obtainment of transgenic soybean plants with chitinase and ribosome inactivating protein genes and their resistance identification[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2006, 32(12):1841-1847.)
- [21] 田中艳. 利用外源 DNA 直接导入方法进行大豆抗线育种研究[J]. *黑龙江农业科学*, 2003(5):27-29. (Tian Z Y. Study on the breeding of cyst nematode resistance by introducing of foreign DNA into soybean [J]. *Heilongjiang Agricultural Science*, 2003(5):27-29.)
- [22] Ornatowski W, Jayaraj J, Todd T C, et al. Introduction and constitutive expression of a tobacco hornworm (*Manduca sexta*) chitinase gene in soybean[J]. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 2004, 40(3):260-265.
- [23] Steeves R M, Todd T C, Essig J S, et al. Transgenic soybeans expressing siRNAs specific to a major sperm protein gene suppress *Heterodera glycines* reproduction [J]. *Functional Plant Biology*, 2006, 33(11):991-999.
- [24] Marra B M, Souza D S L, Aguiar J N, et al. Protective effects of a cysteine proteinase propeptide expressed in transgenic soybean roots[J]. *Peptides*, 2009, 30(5):825-831.
- [25] 王丕武,武丽敏,张君,等. *Bt + CpTI* 抗虫基因转化大豆的研究[C]. 海南:第四届全国植物分子育种学术研讨会, 2004. (Wang P W, Wu L M, Zhang J, et al. A study on transformation of *Bt + CpTI* insect resistant gene into soybean [C]. Hainan: The fourth National Symposium on Plant Molecular Breeding, 2004.)
- [26] 郭东全,杨向东,包绍君,等. 转 *CryIA* 和 *CpTI* 双价抗虫基因大豆的获得与稳定表达[J]. *中国农业科学*, 2008, 41(10):2957-2962. (Guo D Q, Yang X D, Bao S J, et al. Synchronous expression of *CryIA* and *CpTI* genes in soybean and analysis of their resistance to insect pests [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008, 41(10):2957-2962.)
- [27] 武小霞,李静,王志坤,等. *cry1Aa1* 基因转化大豆及抗虫性的初步评价[J]. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2010, 28(5):413-419. (Wu X X, Li J, Wang Z K, et al. Transformation of *cry1Aa1* into soybean and rough assessing its resistance to soybean pests [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2010, 28(5):413-419.)