

燕麦—小麦混合粉面团的制备与品质改良研究

李园园, 章绍兵, 牛巧娟, 陆启玉

(河南工业大学 粮油食品学院, 河南 郑州 450001)

摘要: 研究不同燕麦全粉添加量对燕麦—小麦混合粉的面筋和面团特性的影响, 进一步通过添加谷氨酰胺转氨酶(TGase)与不同外源蛋白质(花生蛋白或谷朊粉)来改善混合粉的品质, 并研究不同添加剂对混合粉蛋白质组成的影响。结果表明: 随着燕麦全粉添加量的增加, 燕麦—小麦混合粉的湿面筋含量、面筋指数、沉降值和面团稳定时间都呈现显著减少的趋势, 而面团吸水率逐渐增大。对于燕麦全粉添加量为30%的燕麦—小麦混合粉, 当TGase添加量达到或超过0.8% (w/w)时, 面团的形成时间和稳定时间均显著增加。向混合粉中同时添加TGase和花生蛋白可显著增加SDS不可溶性谷蛋白的含量, 进一步延长面团稳定时间。

关键词: 燕麦; 小麦; 谷氨酰胺转氨酶; 面团特性

中图分类号: TS 210.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-7561(2015)06-0007-05

Study on the preparation and quality improvement of oat - wheat dough properties

LI Yuan - yuan, ZHANG Shao - bing, LIU Qiao - juan, LU Qi - yu

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

Abstract: The effect of addition amount of oat flour on the gluten and dough properties of oat - wheat mixed flour was investigated. The qualities of oat - wheat mixed flour were improved by addition of transglutaminase and exogenous proteins (peanut protein and gluten) and the protein composition of resulted mixed flour was also analyzed. The results showed that with the increase of oat flour content, the wet - gluten, gluten index, sedimentation value and stability time of oat - wheat mixed flour were significantly decreased and the water absorption was enhanced. In case of the mixed flour containing 30% oat powder, as the addition amount of transglutaminase was 0.8% (w/w) or more both dough development time and stability time were significantly increased. When transglutaminase and peanut protein were added into mixed flour at the same time, the relative content of SDS insoluble glutenin and dough stability time were further increased.

Key words: oat; wheat; transglutaminase; dough properties

裸燕麦中的水溶性膳食纤维含量达到4%~6%, 燕麦中还含有所有谷物中都缺少的皂甙素。燕麦中蛋白质(11.4%~19.9%)的氨基酸组成平衡性好, 食用后容易被人体消化吸收, 能充分发挥燕麦的营养功效^[1-3]。因此研制和开发燕麦制品或燕麦添加食品, 对改善人们的膳食结构、提高健康水平具有重要的意义。但燕麦粉为无面筋小麦粉, 加入小麦粉中会弱化面团的网络结构, 影响面团的粘弹性、

韧性和延伸性等。因此, 必须采用食品添加剂来改善加入燕麦粉后面团产生的各种流变学特性变化。谷氨酰胺转氨酶(以下简称TGase)是一种催化酰基转移反应的酶, 能促使蛋白质发生分子间或分子内交联反应, 从而改善小麦粉的面团特性^[4], 提高产品的品质。李鑫等发现在小麦粉中添加5 U/g的TGase后, 面团稳定时间增加了18%, 弱化度降低了15%, 粉质指数明显提高^[5]。王风等的研究表明燕麦中的球蛋白和谷蛋白都是TGase较好的反应底物, 通过TGase的使用, 可以改善燕麦面团的流变学特性, 提高其加工性能^[6]。Renzetti等研究发现添加TGase可提高燕麦面团的弹性和粘性模量(G'和

收稿日期: 2015-04-16

基金项目: 农业部公益性行业(农业)科研专项(201303070); “十二五”国家科技支撑计划(2012BAD37B04)

作者简介: 李园园, 1990年出生, 女, 在读硕士。

通讯作者: 章绍兵, 1975年出生, 男, 副教授。

G”),但对所制得的燕麦面包品质无明显影响^[7]。谷朊粉添加到面制品中可有效提高面筋含量，有利于面筋网络的形成。胡新中^[8]等研究表明加入2.5%沙蒿籽粉和8%谷朊粉对燕麦全粉面包和馒头品质改善效果较好。舒畅^[9]等认为在小麦粉中添加3%的花生蛋白粉面筋筋力最强，添加量为8%时对缓解小麦粉的弱化速度效果最好，且温度到90℃时，酶仍然有一点活性。虽然目前已有较多通过TGase改良燕麦面团特性的研究，但对于同时添加外源蛋白后对燕麦—小麦混合粉的改良效果还鲜有报道。

本实验研究不同燕麦全粉添加量对燕麦—小麦混合粉的面筋和面团特性的影响，在此基础上研究TGase与不同外源蛋白质（花生蛋白或谷朊粉）复配对混合粉品质的改良效果，并分析TGase和外源蛋白复配对混合粉蛋白质组成的影响，为制备具有良好品质的燕麦面制品提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

燕麦全粉（水分9.83%，蛋白质15.36%，粗脂肪7.23%，灰分1.10%）：呼和浩特市武川县禾川食品有限责任公司；小麦粉（水分12.79%，蛋白质11.46%，粗脂肪1.18%，灰分0.39%）：郑州市金苑面粉公司；谷朊粉：河南省莲花味精厂；花生蛋白粉：安阳市漫天雪蛋白有限公司；TGase：酶活力30 U/g，泰兴市东圣食品科技有限公司；其余试剂均为分析纯。

1.2 仪器及设备

Perten 面筋指数仪：上海嘉定粮油仪器有限公司；Brabender 粉质仪：德国 Brabender 公司；IGJ-10C 冷冻干燥机：北京四环科学仪器厂；TD5-4B 离心机：北京时代北利离心机有限公司；KDN-1 半自

动定氮仪：上海仪电科学仪器股份有限公司；BS210S 分析天平：北京赛多利斯天平有限公司；DHG-9076A 电热恒温鼓风干燥箱：上海精密实验设备有限公司；索氏抽提器：郑州光华玻璃仪器厂；HH-S 恒温水浴锅：金坛市医疗仪器厂；SRJ-4-13 高温箱式电阻炉：北京市永光明医疗仪器厂。

1.3 试验方法

1.3.1 小麦粉成分测定

水分含量：按 GB/T 5009.3—2010 标准中直接干燥法进行测定；粗蛋白含量：按 GB/T 5009.5—2010 标准中凯式定氮法进行测定；粗脂肪含量：按 GB/T 14772—2008 标准中索氏抽提法进行测定；灰分含量：按 GB/T 5009.4—2010 标准中马弗炉法进行测定。

1.3.2 面筋特性的测定

参照 GB/T 10248—1995。对于添加 TGase 的混合粉，将制作的面团放于 45℃、70% RH 的恒温恒湿培养箱中熟化 30 min 后再进行测定。

1.3.3 小麦粉沉降值的测定

参照 GB/T 15685—1995。

1.3.4 小麦粉粉质特性的测定

参照 AACC 54-21 方法，采用 50 g 和面钵。

1.3.5 小麦粉蛋白质组成测定

称取试样 100 g，加入适量水，和成面团后在室温下醒发 60 min，进行冷冻干燥。将干燥后的面团粉碎过 100 目筛，采用石油醚索氏抽提法脱去小麦粉中的脂肪，晾干备用。

如图 1 所示，采用 Osborne 分级法提取小麦粉中的清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白、SDS 可溶性谷蛋白和 SDS 不可溶性谷蛋白，将各组分全部转移到凯氏定氮管中，采用凯式定氮法测定各蛋白在总蛋白中的相对含量。

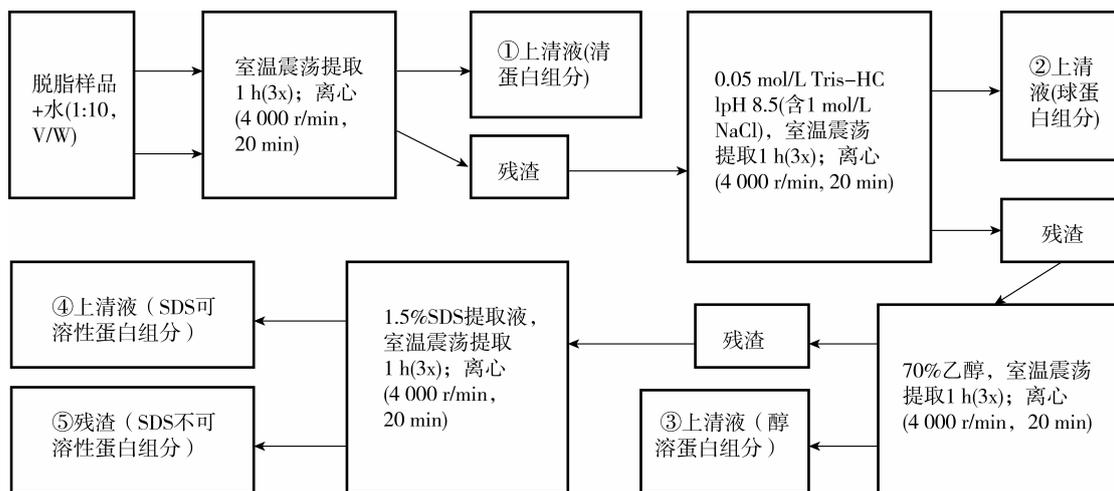


图1 Osborne 分级法提取小麦粉中蛋白质组分

1.4 数据处理

实验结果以两次以上实验的平均值 ± 标准偏差表示,并使用 SPSS 13.0 for Windows 软件进行单因素方差分析, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果与分析

2.1 燕麦全粉添加量对混合粉面筋特性和沉降值的影响

由表 1 可知,随着燕麦全粉添加量的增加,混合粉的湿面筋含量、面筋指数和沉降值都呈现出显著减少的趋势。由数据可以看出当燕麦全粉添加量达到 40% ~ 50% 时,混合粉的湿面筋含量和面筋指数急剧下降,说明此时混合粉中的面筋蛋白已不能形成良好的面筋网络,小麦粉的品质降低。这是因为燕麦全粉为无面筋小麦粉,其大量存在降低了混合粉中面筋蛋白含量,同时也弱化了面筋指数。

表 1 燕麦全粉添加量对混合粉面筋特性和沉降值的影响

| 燕麦全粉添加量/% | 湿面筋/% | 面筋指数 | 沉降值/mL |
|-----------|---------------|-------------|-------------|
| 0 | 29.47 ± 0.55f | 93.0 ± 1.2f | 60.2 ± 0.3c |
| 10 | 25.31 ± 0.07e | 90.0 ± 0.6e | 60.6 ± 0.3c |
| 20 | 22.47 ± 0.07d | 86.2 ± 1.7d | 57.6 ± 0.6b |
| 30 | 19.85 ± 0.13c | 80.3 ± 1.1c | 52.0 ± 0.0a |
| 40 | 8.62 ± 0.13b | 62.2 ± 0.9b | 51.9 ± 0.1a |
| 50 | 4.35 ± 0.21a | 41.1 ± 1.0a | 51.6 ± 0.0a |

注:同列数据中标注不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 燕麦全粉添加量对混合粉粉质特性的影响

由表 2 可以得出,与纯小麦粉的粉质参数相比,随着燕麦全粉添加量的增加,混合粉的吸水率呈现出增大的趋势,这与胡新中等人的研究结果相似^[10]。分析其原因,可能是由于高蛋白质、高灰分的燕麦全粉增加了混合粉的吸水率。混合粉的面团形成时间随着燕麦全粉添加量的增加逐渐减小,但都比纯小麦粉面团的形成时间要长,这可能是因为燕麦全粉中的某些组分阻碍了面团的吸水速度,从而延长了面团的形成时间。

随着燕麦全粉添加量的增加,混合粉的面团稳定时间逐渐减小,而弱化度逐渐增大(表 2)。特别是在燕麦全粉添加量超过 20% 以后,面团稳定时间急剧下降,燕麦全粉添加量达到 50%,混合粉面团稳定时间已不足 1 min。这说明随着燕麦全粉添加量的增加,混合粉面筋网络变得稀疏,而且耐剪切能力弱化。所以,为了兼顾混合粉的营养强化和面粉加工性能,选择适中的燕麦全粉添加量至关重要。本实验选择燕麦全粉添加量为 30% 的混合粉为研究对象,试图通过 TGase 和其他外源蛋白的添加改

良燕麦—小麦混合粉的粉质特性。

表 2 燕麦全粉添加量对混合粉粉质特性的影响

| 燕麦全粉添加量/% | 吸水率/% | 形成时间/min | 稳定时间/min | 弱化度/FU |
|-----------|-------------|--------------|---------------|--------------|
| 0 | 63.1 ± 0.3a | 1.98 ± 0.32a | 16.85 ± 1.39e | 18.5 ± 2.9a |
| 10 | 71.9 ± 0.1b | 8.64 ± 0.12d | 11.89 ± 0.93d | 85.0 ± 3.2c |
| 20 | 78.0 ± 0.1c | 7.61 ± 0.11c | 5.61 ± 0.16c | 116.5 ± 3.5d |
| 30 | 86.2 ± 0.2d | 7.64 ± 0.20c | 3.17 ± 0.21b | 147.5 ± 2.1e |
| 40 | 88.2 ± 0.2e | 7.36 ± 0.20c | 3.25 ± 0.07b | 123.0 ± 0.0d |
| 50 | 90.3 ± 0.2f | 5.98 ± 0.13b | 0.97 ± 0.05a | 174.5 ± 3.5b |

注:同列数据中标注不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3 TGase 添加对燕麦—小麦混合粉面筋和粉质特性的影响

燕麦添加量为 30%,由表 3 所示,随着 TGase 添加量的增大,混合粉湿面筋含量逐渐降低,特别是酶添加量在 0.8% ~ 1.0% 时,湿面筋生成量降低幅度最大。这可能是由于洗面筋时在大量水存在下,较多的 TGase 将蛋白质中的麦醇溶蛋白水解成谷氨酸,使麦醇溶蛋白生成水溶性聚合物而流失^[11],导致湿面筋含量偏低。TGase 的添加使面团吸水率小幅下降。Wu 和 Corke 认为,由于 TG 酶的作用使得谷氨酸和赖氨酸之间发生交联,减少了亲水性氨基酸的含量,从而降低了面团的吸水率^[12]。当 TGase 添加量达到或超过 0.8% 时,面团的形成时间和稳定时间均显著增加,弱化度明显降低。这是因为混合粉中含有的反应底物(谷氨酸和赖氨酸)在较多 TGase 存在时发生了交联反应,蛋白质分子的增大使面筋网络结构更加稳定,耐搅拌能力显著增强,从而延长面团的形成时间和稳定时间。

表 3 TGase 添加量对混合粉面筋和粉质特性的影响

| Tgase/% | 湿面筋/% | 吸水率/% | 形成时间/min | 稳定时间/min | 弱化度/FU |
|---------|---------------|-------------|--------------|--------------|------------|
| 0 | 20.85 ± 0.13e | 86.1 ± 0.3c | 7.47 ± 0.20a | 3.19 ± 0.11a | 146 ± 2.9e |
| 0.2 | 16.26 ± 0.28d | 82.2 ± 0.1a | 7.39 ± 0.13a | 3.42 ± 0.18a | 126 ± 2.4d |
| 0.5 | 11.75 ± 0.14c | 84.0 ± 0.2b | 7.41 ± 0.15a | 4.03 ± 0.25b | 94 ± 3.1c |
| 0.8 | 4.31 ± 0.14b | 84.6 ± 0.2b | 8.31 ± 0.28b | 5.51 ± 0.21c | 85 ± 1.9b |
| 1.0 | 3.38 ± 0.07a | 83.8 ± 0.1b | 8.56 ± 0.21b | 7.36 ± 0.35d | 67 ± 2.6a |

注:同列数据中标注不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.4 TGase 酶和外源蛋白对燕麦—小麦混合粉特性的影响

2.4.1 湿面筋含量

燕麦—小麦混合粉中燕麦粉添加量为 30%,从图 2 可以看出,花生蛋白的添加降低了燕麦—小麦混合粉的湿面筋含量。当同时添加 1% TGase 和 10% 花生蛋白时,湿面筋含量比单独添加其中一种时高,但仍未能超过不加任何添加剂的混合粉的数

值。随着谷朊粉添加量的增加,混合粉的湿面筋含量逐渐增加。当同时添加1% TGase 和谷朊粉时,混合粉的湿面筋含量增加非常明显。这可能是谷朊粉的添加提高了混合粉中 TGase 的作用底物含量,蛋白间发生交联形成了大分子聚合物,最终增加了湿面筋得率。

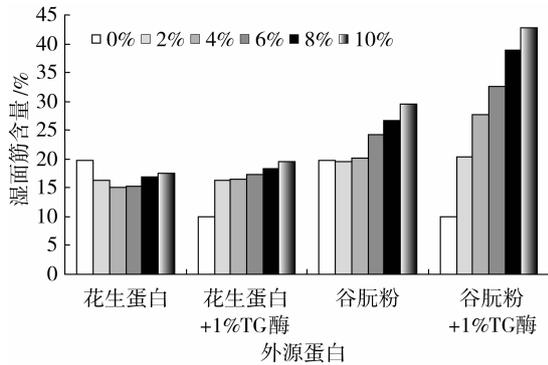


图2 添加外源蛋白对混合粉湿面筋含量的影响

2.4.2 吸水率

由图3可知,花生蛋白和谷朊粉的添加均可以增大燕麦—小麦混合粉的面团吸水率,而谷朊粉的增加效果更加明显。这说明谷朊粉比花生蛋白的吸水能力更强。当同时添加1% TGase 和外源蛋白时,混合粉的吸水率和只添加外源蛋白相比变化很小,说明 TGase 添加对于面团的吸水率影响不大。

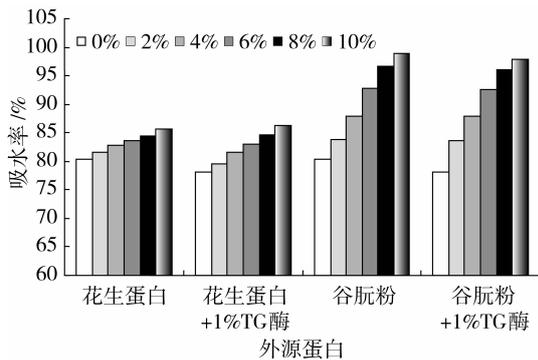


图3 添加外源蛋白对混合粉吸水率的影响

2.4.3 形成时间

图4表明,与不加外源蛋白的混合粉相比,伴随着外源蛋白添加量的增大,混合粉的形成时间均呈现逐渐增加的趋势。当同时添加1% TGase 和少量花生蛋白(2%~6%)时,面团形成时间比单独添加其中一种时高;而同时添加1% TGase 和大量花生蛋白(8%~10%)时,其对面团形成时间的影响和只添加花生蛋白(8%~10%)时一致。当同时添加1% TGase 和谷朊粉(2%~10%)时,混合粉的面团形成时间显著高于单独添加其中一种物质时,这说明二者的协同作用明显。

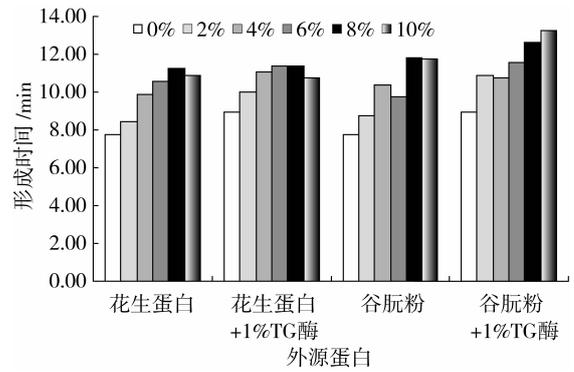


图4 添加外源蛋白对混合粉面团形成时间的影响

2.4.4 稳定时间

由图5可知,与不加花生蛋白的混合粉相比,添加2%~6%花生蛋白的混合粉稳定时间略有降低;当花生蛋白添加量进一步增加时,混合粉面团稳定时间大幅度上升。添加10%花生蛋白的混合粉和添加1% TGase 的混合粉稳定时间相近。同时添加1% TGase 和少量花生蛋白(2%~4%)时,其对面团稳定时间的影响和只添加1% TGase 时一致。当同时添加1% TGase 和大量花生蛋白(6%~10%)时,面团稳定时间比单独添加其中一种时高出很多。

与花生蛋白相比,谷朊粉对于燕麦—小麦混合粉面团稳定时间的延长作用非常有限;当同时添加1% TGase 和谷朊粉时,面团的稳定时间得到显著提升。然而这种提升效果仍然不及同时添加1% TGase 和花生蛋白。由于稳定时间是反映面团粉质特性的最重要指标,所以可以认为同时使用 TGase 和花生蛋白可以显著改良燕麦—小麦混合粉的面团特性。

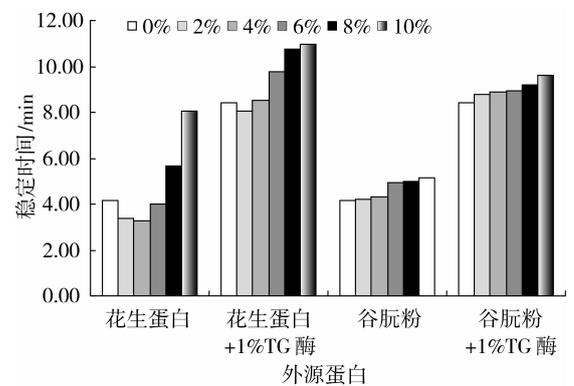


图5 添加外源蛋白对混合粉面团稳定时间的影响

2.5 添加 TGase 酶和外源蛋白对燕麦—小麦混合粉蛋白质组成的影响

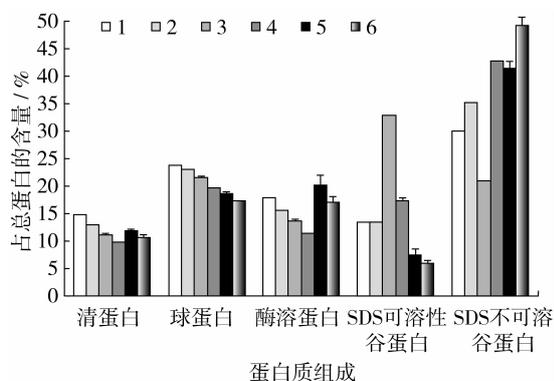
如图6所示,与燕麦—小麦混合粉(燕麦添加量30%)相比,添加1% TGase 后混合粉中清蛋白、球蛋白和醇溶蛋白都有少量减少,SDS 可溶性谷蛋白含量几乎没有变化,而 SDS 不可溶谷蛋白含量显著增加。这说明 TGase 的添加增加了燕麦—小麦混

合粉中大分子蛋白质的含量,由此延长了混合粉的形成时间和稳定时间。

与燕麦—小麦混合粉相比,添加 10% 花生蛋白后混合粉中清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和 SDS 不可溶性谷蛋白占总蛋白的含量相对减少,而 SDS 可溶性谷蛋白大幅度增加,总的谷蛋白含量增加。由于花生蛋白中几乎不含谷蛋白^[13],因此 SDS 可溶性谷蛋白含量的增加可能是在面团形成过程中,花生蛋白与混合粉中的某些蛋白分子发生了相互作用所致,这也解释了图 4 和图 5 中高含量的花生蛋白能够有效延长了混合粉的形成时间和稳定时间的原因。

与只添加 10% 花生蛋白的混合粉相比,同时添加 1% TGase 和 10% 花生蛋白的混合粉中清蛋白、球蛋白和醇溶蛋白都有一定程度的减少,SDS 可溶性谷蛋白大幅度减少,而 SDS 不可溶性谷蛋白大幅度增加。因为只添加花生蛋白时 SDS 不可溶谷蛋白含量会减少,而只添加 1% TGase 时 SDS 不可溶谷蛋白含量也只有少量提高,所以实验结果说明 TGase 的添加会促进了花生蛋白与燕麦蛋白或面筋蛋白间的交联,生成具有更大分子量的聚合物,改善了混合粉的粉质特性(图 5)。

从图 6 还可以看出,和燕麦—小麦混合粉相比,添加 10% 谷朊粉后混合粉中清蛋白、球蛋白和 SDS 可溶性谷蛋白占总蛋白的含量相对减少,SDS 不可溶性谷蛋白含量相应大幅度增加,这是所添加的谷朊粉自身特性所致。同时添加 1% TG 酶和 10% 谷朊粉的混合粉中的清蛋白、球蛋白、醇溶蛋白和 SDS 可溶性谷蛋白的含量都有所减少,SDS 不可溶性谷蛋白的含量显著增加,这说明 TGase 的添加可以有效促进谷朊粉与燕麦蛋白或原小麦粉面筋蛋白的交联作用。



1 燕麦—小麦混合粉;2 含 1% TG 酶的混合粉;3 含 10% 花生蛋白的混合粉;4 含 1% TG 酶和 10% 花生蛋白的混合粉;5 含 10% 谷朊粉的混合粉;6 含 1% TG 酶和 10% 谷朊粉的混合粉。

图 6 添加 TG 酶和外源蛋白对混合粉蛋白质组成的影响

此外,根据图 6 中 SDS 不可溶性谷蛋白含量的实验数据可以计算得出,TGase 的添加使含 10% 花

生蛋白的混合粉中 SDS 不可溶性谷蛋白的含量增加更多。这说明 TGase 对于促进花生蛋白与燕麦—小麦混合粉蛋白的交联更为有效。

3 结论

随着燕麦全粉含量的增加,燕麦—小麦混合粉的湿面筋含量、面筋指数、沉降值和面团稳定时间都呈现出显著减少的趋势,而面团吸水率逐渐增大。

TGase 的添加使燕麦—小麦混合粉(燕麦全粉添加量 30%)湿面筋含量和面团吸水率下降;而当 TGase 添加量超过 0.8% 时,面团的形成时间和稳定时间均显著增加。

TGase 可以有效促进花生蛋白与燕麦—小麦混合粉中蛋白的交联,显著增加 SDS 不可溶性谷蛋白的含量,进一步延长面团稳定时间。

添加 TGase 与外源蛋白可改善谷燕麦—小麦混合粉面团的品质特性,使面团的稳定时间和形成时间延长,弱化度降低,面团的面筋强度增强,面团的耐搅拌能力提高。

参考文献:

- [1] Robert W. The oat crop: Production and Utilization [M]. Chapman & Hall, London, 1995.
- [2] 张丽萍, 翟爱华. 燕麦的营养功能特性及综合加工利用[J]. 食品与机械, 2004, 20(2): 55-57.
- [3] 周素梅, 盛清凯, 路长喜, 等. 不同燕麦品种的辅助降血脂功效研究[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(3): 25-29.
- [4] Moore M, Heinbockel M, Dockery P, et al. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase[J]. Cereal chemistry, 2006, 83(1): 28-36.
- [5] 李鑫, 赵燕, 李建科. 微生物谷氨酰胺转氨酶对小麦粉品质的影响[J]. 食品科学, 2013, 34(1): 135-139.
- [6] 王凤. 燕麦面团的物性改善及其在燕麦面条中的应用[D]. 无锡: 江南大学, 2009.
- [7] Renzetti S, Bello F, Arendt E. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase[J]. Journal of Cereal Science, 2008, 48(1): 33-45.
- [8] 胡新中, 杨元丽, 杜双奎, 等. 沙蒿籽粉和谷朊粉对燕麦全粉食品加工品质的影响[J]. 农业工程学报, 2006(10): 230-232.
- [9] 舒畅, 沈群. 花生蛋白粉的功能性及对面粉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2010(2): 160-162.
- [10] 胡新中, 魏益民, 罗勤贵. 燕麦面团流变学及加工特性研究[J]. 中国粮油学报, 2006, 21(2): 49-51.
- [11] Alexandre M, Popineau Y, Viroben G, et al. Wheat γ -gliadin as substrate for bovine plasma factor XIII[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1993, 41(11): 2208-2214.
- [12] Wu J, Corke H. Quality of dried white salted noodles affected by microbial transglutaminase[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85(15): 2587-2594.
- [13] 赵晓燕, 孙秀平, 陈锋亮, 等. 花生蛋白的研究进展与开发利用现状[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(12): 118-122.