

谷氨酰胺转氨酶对荞麦面条品质的影响

Effects of transglutaminase on qualities of buckwheat noodles

魏晓明 郭晓娜 朱科学 彭伟 周惠明

WEI Xiao-ming GUO Xiao-na ZHU Ke-xue PENG Wei ZHOU Hui-ming

(江南大学食品学院食品安全与质量控制协同创新中心, 江苏 无锡 214122)

(Collaborative Innovation Center for Food Safety and Quality Control, School of Food
Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:为了改善荞麦面条的品质,采用谷氨酰胺转氨酶(TG酶)对其进行处理,研究谷氨酰胺转氨酶对荞麦面条品质特性(面条吸水率、蒸煮损失及质构特性)和微观结构的影响,采用十二烷基硫酸钠—聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS—PAGE)和体积排阻高效液相色谱(SE—HPLC)对面条中蛋白质交联聚合特性进行研究,探讨其作用机制。结果表明,添加 TG 酶能显著降低荞麦面条的吸水率和蒸煮损失,提高其硬度和拉伸力,当添加 0.01% 的 TG 酶时,荞麦面条的蒸煮损失达到最小值。RVA 分析表明,随着 TG 酶添加量的增加,荞麦面粉的峰值黏度、终值黏度和回生值增加,崩解值降低。电泳图中低分子量亚基条带变浅,SDS 蛋白可萃取率降低,说明添加 TG 酶诱导面条中的蛋白质发生了交联聚合行为,并经微观结构观察,这种交联形成了致密而连续的蛋白网络结构,使得淀粉很好地镶嵌在其中,从而影响了荞麦面条的品质。

关键词:荞麦面条;谷氨酰胺转氨酶;蛋白交联;品质

Abstract: Addition of transglutaminase (TG) was used to improve the quality of buckwheat noodles. The effect of TG on the water absorption, cooking loss, texture properties and microstructure of buckwheat noodles was investigated, as well as protein polymerization and the mechanism impacting on the quality of noodles by SDS—PAGE and SE—HPLC. The results indicated that addition of TG significantly ($P < 0.05$) decreased the water absorption and cooking loss of noodles, increased the hardness and tensile force. When adding 0.01% TG, the lowest cooking loss of buckwheat noodles was obtained. In addition, with the increase of TG, RVA viscosity properties of buckwheat noodle flour increased except for breakdown. Fur-

thermore, an obvious decrease in the intensity of the protein bands with lower molecular weight was observed in SDS—PAGE patterns and the SDS extractable protein decreased, which demonstrated that TG promoted the protein cross-linking in the buckwheat noodles. And a tight and continuous protein network was observed by CLSM, which made the starch granules be well embedded in it and thus impacted the quality of buckwheat noodles.

Keywords: buckwheat noodles; transglutaminase; protein cross-linking; quality

荞麦,在中国、日本和韩国等国家被广泛地种植和销售,富含纤维素、矿物质、维生素和对人体有益的黄酮类物质^[1],其中黄酮类物质,如芦丁和槲皮素,有降低血糖、降血脂的功效^[1]。荞麦蛋白质含量也很高,特别是赖氨酸^[2]。由于荞麦兼具营养和药用价值,被广泛用于食品加工。但是,荞麦蛋白质的主要组成为清蛋白^[3],制作面团时不能像小麦面筋蛋白那样形成良好的网络结构,降低了其加工特性和产品品质^[4]。对于荞麦面条来说,由于荞麦粉的添加弱化了面团中的网络结构,影响其品质特性,如蒸煮损失大,面条易断,口感表现为不筋道,易粘牙。

为了改善杂粮面条的品质,可以在其配方中添加一些胶体类物质、预糊化淀粉、谷朊粉等^[5]。此外,Wang 等^[6]利用酶制剂如 TG 酶提高了燕麦面条的品质。李国龙等^[4]通过添加 TG 酶使得荞麦方便面弹性和韧性增大,含油率降低,但是 TG 酶的添加为何会影响荞麦面条的品质特性,是否会诱导荞麦面条中的蛋白质发生交联聚合行为尚未见诸于报道,值得深入研究。

本试验拟研究添加 TG 酶对荞麦面条品质特性(面条吸水率、蒸煮损失及质构特性)和微观结构的影响,并且采用十二烷基硫酸钠—聚丙烯酰胺凝胶电泳(SDS—PAGE)和体积排阻高效液相色谱(SE—HPLC)对面条中蛋白质交联聚合特性进行研究,探讨其作用机制。

基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:31571871);江苏省“现代粮食流通与安全协同创新中心”资助项目

作者简介:魏晓明,男,江南大学在读硕士研究生。

通讯作者:郭晓娜(1978—),女,江南大学副教授。

E-mail: xiaonaguo@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2015-12-26

1 材料与方法

1.1 材料

香满园面粉:蛋白质含量 11.65%,水分含量 13.10%,益海嘉里粮油有限公司;

荞麦粉:蛋白质含量 12.87%,水分含量 13.54%,荞麦籽经磨碎过 80 目筛,产地为内蒙古赤峰;

谷氨酰胺转氨酶:≥1 000 U/g,北京索莱宝科技有限公司。

1.2 仪器与设备

小型和面机:5K5SS 型,美国 Kitchen Aid 公司;
面条机:JM TD-168/140 型,北京东孚久恒仪器技术有限公司;

快速黏度分析仪:RVA 4500 型,澳大利亚波通公司;
质构仪:TA.XT plus 型,英国 Stable Microsystems 公司;

旋转流变仪:AR-G2 型,美国 TA 公司;
电泳仪:DYCZ-28A 型,北京市六一仪器厂;
高效液相仪:LC-20AT 型,日本岛津公司;
凝胶柱:TSKgel G4000SWXL 型,东曹(上海)生物科技有限公司;

激光共聚焦显微镜:LSM 710 型,德国蔡司公司。

1.3 方法

1.3.1 荞麦挂面的制作

小麦、荞麦粉(7:3)→过筛→调粉→按 0.00%(空白),0.01%,0.02%,0.03%,0.04%添加 TG 酶,加水 35%→面团→静置→压延→切条→干燥

1.3.2 荞麦面条蒸煮特性测定

(1) 面条吸水率的测定:取荞麦挂面 25 根(长约 20 cm),称重后放入 500 mL 沸腾的蒸馏水中煮至最佳蒸煮时间,面条放到滤纸上沥干,测定面条蒸煮前后的质量变化并按式(1)计算面条蒸煮过程中的吸水率。挂面水分含量测定参照 GB 5009.3—2010《食品中水分的测定》,采用直接干燥法。

$$WA = \frac{M_1 - M_2 \times (1 - W)}{M_2 \times (1 - W)} \times 100\%,$$

(1)

式中:
WA——面条吸水率,%;
 M_1 ——蒸煮后面条的质量,g;
 M_2 ——煮前面条的质量,g;
W——煮前面条的水分含量,%。

(2) 面条蒸煮损失测定:将测定面条吸水率时剩余的面汤放至常温后定容至 500 mL 容量瓶,量取 50 mL 面汤倒入恒重的 250 mL 烧杯中,放在可调式电炉上蒸发掉大部分水分后,再量取 50 mL 面汤,如上操作,当量取的面汤少于 10 mL 时,将烧杯放入 105 ℃烘箱内烘至恒重,按式(2)计算蒸煮损失率。

$$CL = \frac{5 \times M}{G \times (1 - W)} \times 100\%,$$

(2)

式中:
CL——蒸煮损失,%;
M——面汤中干物质质量,g;
G——煮前面条质量,g;
W——煮前面条的水分含量,%。

1.3.3 面条质构特性测试 取长度为 20 cm 的挂面 25 根,放入 500 mL 沸水中,煮至最佳煮面时间后捞出,置于漏网沥干水分,面条表面残余水分用滤纸吸去。用质构仪分析面条的质构特性。全质构试验:采用 HDP/PFS 型号探头,测试前、中、后速度均为 0.8 mm/s,形变量为 70%,感应力为 5 g,2 次压缩的间隔时间为 1 s;拉伸试验:采用 A/SPR 型号探头,起始间距为 45.0 mm,拉伸速率为 1.5 mm/s,拉伸距离为 90 mm,感应力为 5 g,每个样品至少平行测试 6 次。

1.3.4 面条粉糊化特性测定 将干燥后的荞麦挂面经粉碎机磨粉,过 80 目筛。准确称取(3.5±0.1) g 不同 TG 酶添加量的面条粉,与(25.0±0.1) g 的水充分混匀,用快速黏度分析仪测定淀粉的糊化曲线。测定程序参考 AACC 方法 76—21。

1.3.5 面团流变学特性测定 根据 Yang 等^[7]的方法,修改如下:准确称取一定量的荞麦粉(占 30%)和小麦粉(占 70%)并充分混匀,水的添加量为 58%(m/m,根据粉质仪测得的吸水率确定),将 0.00%,0.01%,0.02%,0.03%,0.04%的 TG 酶溶于温水中,混匀后倒入面粉中揉成面团。取大约 3 g 的面团置于流变仪的平板中央,选取 20 mm 的平板,并调节板间距为 3 mm,进行面团的震荡流变测试。其中测试温度为 30 ℃,扫描频率为 0.01~10.00 Hz。

1.3.6 SDS—聚丙烯酰胺凝胶电泳 参照文献[8]。

1.3.7 体积排阻高效液相色谱(SE—HPLC) 根据 Bean 等^[9]的方法,修改如下:准确称取一定量的样品(含蛋白 1.000 mg),溶于 1 mL 的 0.05 mol/L 的磷酸盐缓冲液(1% SDS(m/V),pH 7.0),漩涡震荡 10 min,8 000 r/min 离心 5 min 后,取上清液过 0.45 μm 的滤膜,选用 Tskgel G4000-SWXL 色谱柱(7.8 mm×300 mm)在岛津高效液相色谱仪下测定,进样量为 20 μL,流动相为 0.05 mol/L 磷酸盐缓冲液(1.0% SDS(m/V),pH 7.0)。色谱仪运行参数:洗脱液流速 0.7 mL/min,柱温 30 ℃,紫外检测波长 214 nm。SDS 蛋白可提取率(SDSEP)是指样品面筋蛋白的洗脱曲线面积与还原条件下样品面筋蛋白的洗脱曲线面积的比值。

1.3.8 激光共聚焦(CLSM) 根据 Silva 等^[10]的方法,修改如下:将煮后的荞麦面条切成长约 5 mm 的小段,并用冷冻切片器将其切成 20 μm 的切片,用含有 0.25%异硫氰酸荧光素和 0.025%罗丹明 B 的溶液(m/V)对其染色 1.5 min。洗去多余染色液后,盖上盖玻片,置于显微镜下观察。

2 结果与分析

2.1 TG 酶对荞麦面团流变学特性的影响

由图 1(a)和(b)可知,TG 酶不同添加量的贮能模量(G')均高于损耗模量(G''),表明荞麦面团本质上是一种粘弹性的软固体^[11]。并且, G' 和 G'' 都随着 TG 酶添加量的增

加而增加,根据 Larre 等^[12]的研究, G' 和 G'' 的增加与面团中 TG 酶催化的蛋白交联相关,这说明添加 TG 酶后,面团中的蛋白交联程度增加并形成了大蛋白聚合物。而且,大蛋白聚合物越多, G' 和 G'' 值越大^[11]。对于 $\tan\delta$ 值(G''/G'),TG 酶不同添加量面团的值均小于 1,并且随着 TG 酶添加量的增加而呈现出减小的趋势(图 1(c))。通常, $\tan\delta$ 值的减小表明了面团的韧性和延展性的提高^[13]。从面团的流变学特性的测定可以得出,TG 酶的加入在一定程度提高了面团中的蛋白交联程度,从而赋予了面团更好的弹性和延展性,更加利于后期荞麦面条的加工。

2.2 TG 酶对荞麦挂面蒸煮特性和质构特性的影响

由表 1 可知,随着 TG 酶的添加,面条的吸水率呈现下降的趋势,这可能由于在 TG 酶的催化作用下,蛋白交联形成了较为致密的网络结构,这种蛋白网络结构把淀粉颗粒很好地包裹在里面,从而阻止了淀粉的进一步吸水^[7],同时这种

表 1 TG 酶对面条蒸煮和质构特性的影响[†]
Table 1 Effects of transglutaminase on the cooking and textural properties of buckwheat noodles ($n=3$)

TG 酶/ %	蒸煮特性		质构特性	
	吸水率/%	蒸煮损失/%	拉断力/g	硬度/g
0.00	208.1±1.0 ^a	7.07±0.01 ^a	14.4±0.2 ^c	3 211±7 ^d
0.01	205.6±1.3 ^a	6.21±0.00 ^b	15.1±0.2 ^{bc}	3 553±29 ^c
0.02	205.0±0.1 ^a	6.37±0.22 ^b	15.4±0.3 ^{ab}	3 531±30 ^c
0.03	189.8±2.4 ^c	6.26±0.00 ^b	15.6±0.4 ^{ab}	3 724±36 ^b
0.04	197.7±1.5 ^b	6.41±0.19 ^b	16.3±0.9 ^a	3 808±32 ^a

[†] 同列中不同字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

网络结构也使得面条表面更加致密,阻碍了水分向面条内部渗入^[14]。同样,TG 酶的加入也显著降低了面条的蒸煮损失(表 1),蒸煮损失体现了面条中的淀粉以及其他固体溶进面汤的程度。这可能由于 TG 酶的催化作用,蛋白形成了较佳的网络结构,淀粉能够很好地镶嵌在其中,蛋白网络对淀粉溶出的限制导致了蒸煮损失的降低^[6]。总之,吸水率的降低,使得面条表面粘性降低,产生更好的口感,同时,蒸煮损失的降低,也赋予了荞麦面条更好的蒸煮特性。

由表 1 可知,随着 TG 酶添加量的增加,荞麦面条的硬度和拉断力逐渐增加。面条的质构特性与蛋白和淀粉的性质均相关,根据 Zweifel 等^[15]的研究结果,致密的蛋白网络结构减少了淀粉的溶胀以及淀粉颗粒的破裂,在面条内部存在较多完整的和未完全溶胀的淀粉颗粒,从而增加了面条的硬度。对于面条的拉断力,一方面可能由于蛋白网络结构对淀粉的包裹,使得淀粉糊化后更容易与蛋白结合,面条内部的结构更加均匀和稳定^[16];另一方面,挂面拉断力主要表现面条筋力^[17],随着 TG 酶添加量的增大,可能促进了更多的蛋白交联形成大蛋白聚合物,大蛋白聚合物的增多,增强了面条的筋力,从而增加了拉断力。

2.3 TG 酶对面条粉糊化特性的影响

由表 2 可知,添加 TG 酶显著增加了面条粉的峰值黏度,终值黏度和回生值,并且随着 TG 酶添加量的增加,3 种糊化特性参数值也呈现增加的趋势。Bruneel 等^[18]研究表明,当 DTT 破坏网络结构中的二硫键时,糊化黏度降低,由于 TG 酶的添加增强了蛋白网络结构,从而增加了糊化黏度。

表 2 TG 酶对面条糊化特性的影响[†]
Table 2 Effects of transglutaminase on the pasting properties of buckwheat noodle flour ($n=3$)

TG 酶/%	峰值黏度/cP	崩解值/cP	终值黏度/cP	回生值/cP
0.00	2 391±13 ^c	704±24 ^a	2 829±58 ^c	1 083±36 ^a
0.01	2 450±3 ^b	660±1 ^b	2 901±44 ^{bc}	1 167±34 ^b
0.02	2 500±20 ^b	666±6 ^b	2 976±105 ^{bc}	1 173±16 ^b
0.03	2 576±16 ^a	653±1 ^b	3 010±1 ^{ab}	1 167±4 ^b
0.04	2 592±20 ^a	595±18 ^c	3 152±57 ^a	1 229±45 ^b

[†] 同一列中不同字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

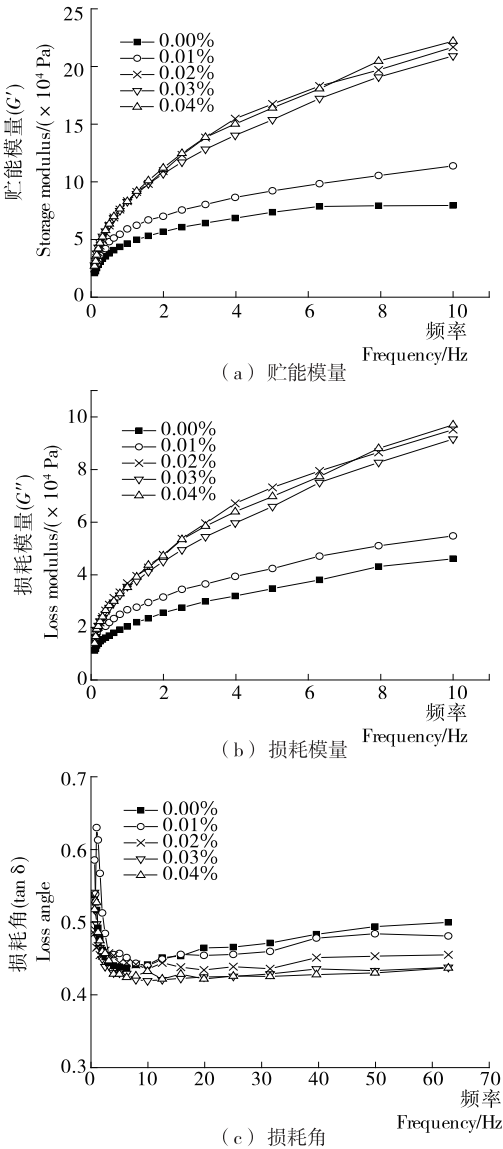


图 1 TG 酶对荞麦面团流变学特性的影响

Figure 1 Effects of transglutaminase on the rheological propopities of buckwheat dough

随着 TG 酶添加量的增加,崩解值有所降低。崩解值反应抵抗热和剪切的能力^[19],崩解值的降低说明了面条粉抗剪切的能力增强。这可能是 TG 酶的添加促进蛋白交联形成较为致密的结构,从而使得淀粉颗粒镶嵌在其中,导致淀粉吸水溶胀即将破裂时被周围的蛋白网络所抑制^[20]。同时,Konik 等^[21]研究表明,面条粉的终值黏度和回生值与面条的硬度呈现极显著($P<0.001$)的正相关关系,终值黏度和回生值的增加也从粉质糊化特性方面解释了面条硬度增大的原因。

2.4 TG 酶对荞麦挂面蛋白质亚基结构的影响

由图 2 可知,对于未煮的荞麦挂面,随着 TG 酶添加量的增加,高分子量(>97.4 kDa)条带的颜色有变深的趋势(如箭头所示区域),说明在面条制作过程中,添加 TG 酶使得荞麦面条中生成了能被 SDS 萃取的大分子蛋白质。对于煮后的空白荞麦挂面,与未煮空白面条相比,分子量(14.4~43.0 kDa)的条带明显变浅,说明加热使得低分子量蛋白聚合。对于添加 TG 酶的煮后荞麦面条,随着 TG 酶添加量的增加,低分子量(43.0~66.3 kDa)的条带逐渐变浅(如箭头所示区域),证明除热作用外 TG 酶进一步诱导了该分子量蛋白质的交联^[8],并生成了大分子蛋白聚合物而不能进入电泳图中。因此,在添加 TG 酶后,荞麦面条中的蛋白在面条制作和煮面过程产生了交联,并且煮面过程的交联程度要高于面条制作过程的交联程度。

2.5 TG 酶对荞麦挂面中 SDS 可萃取蛋白率(SDSEP)的影响

体积排阻高效液相色谱,是一种根据分子大小进行分离的技术,通过蛋白 SDS 可萃取率(SDSEP)的变化来定量地反映蛋白质的聚合程度。

由表 3 可知,对于未煮的荞麦挂面,添加 0.02% 和 0.03% 的 TG 酶的荞麦挂面 SDSEP 要高于空白挂面,但是不

表 3 添加量不同 TG 酶的未煮荞麦面条和煮后荞麦的蛋白 SDS 萃取率(SDSEP)[†]

Table 3 Contents of SDSEP in non-cooked and cooked buckwheat noodles added with different levels of transglutaminase ($n=3$) %

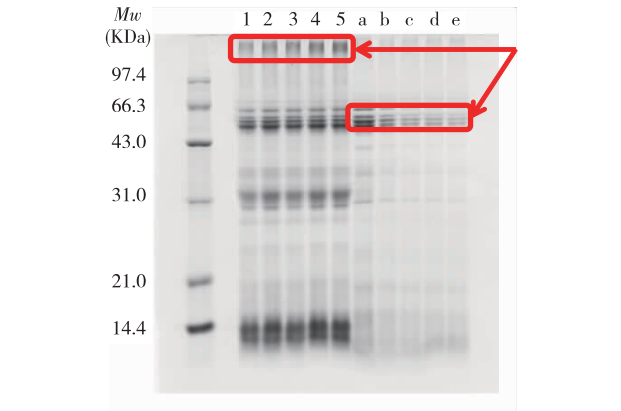
TG 酶	未煮面条	煮后面条
0.00	84.8±0.9 ^a	31.5±0.1 ^a
0.01	83.8±1.4 ^a	21.3±0.3 ^b
0.02	85.4±0.9 ^a	20.0±0.5 ^b
0.03	85.1±1.3 ^a	21.6±0.2 ^b
0.04	84.7±1.4 ^a	19.4±1.9 ^b

[†] 同列中不同字母表示有显著性差异($P<0.05$)。

显著($P>0.05$)。对于煮后的荞麦挂面,TG 酶的添加显著降低了 SDSEP,并随着 TG 酶添加量的增加,SDSEP 有下降的趋势,这一结果进一步证明在电泳中发现的变化,即在 TG 酶的催化作用下,荞麦面条中的蛋白在煮制过程中发生了交联反应,并生成了较大的且不能被 SDS 萃取的大分子蛋白聚合物,并且随着 TG 酶添加量的增加,生成了更多大分子蛋白聚合物,从而使得 SDSEP 下降。

2.6 TG 酶对煮后荞麦挂面截面微观结构的影响

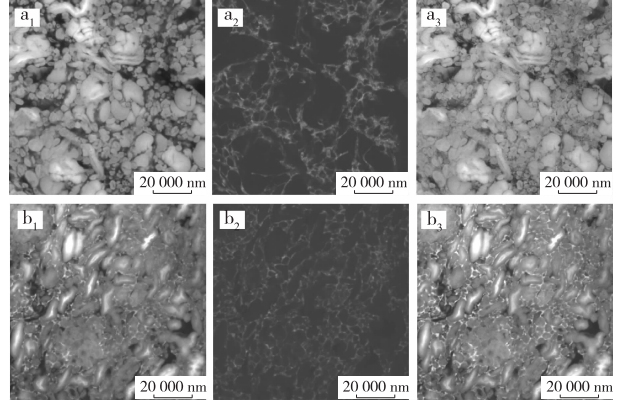
激光共聚焦显微镜是一种新型的研究生物和食品结构的技术。近年来,被广泛地运用到面包和面条微观结构的观察中。本试验所用荧光染料为异硫氰酸荧光素和罗丹明 B 混合溶液,其中异硫氰酸荧光素易与淀粉结合而呈现绿色,罗丹明 B 易与蛋白结合而呈现红色。由图 3 可知,对比 a_1 与 b_1 , a_1 中的淀粉颗粒较大,呈现椭圆形和长条形,而 b_1 中则存在很多小颗粒的淀粉,说明添加 TG 酶的荞麦面条其淀粉溶胀程度降低。对比 a_2 与 b_2 ,可以明显观察到 a_2 中有较多的大



M. 标准蛋白 1~5. 分别为 TG 酶添加量 0.00%,0.01%,0.02%,0.03%,0.04% 的未煮荞麦面条 a~e. 分别为 TG 酶添加量 0.00%,0.01%,0.02%,0.03%,0.04% 的煮后荞麦面条

图 2 不同添加量 TG 酶的未煮荞麦面条和煮后荞麦面条中的 SDS—PAGE 条带

Figure 2 Effects of different levels of transglutaminase on SDS—PAGE result of non-cooked and cooked buckwheat noodles



a_1 . 空白面条淀粉结构 a_2 . 空白面条蛋白结构 a_3 . 空白面条截面复合结构 b_1 . 添加 0.01% TG 酶的荞麦面条淀粉结构 b_2 . 添加 0.01% TG 酶的荞麦面条蛋白结构 b_3 . 添加 0.01% TG 酶的荞麦面条截面复合结构

图 3 空白荞麦面条和添加 0.01% TG 酶的荞麦面条煮后的截面微观结构

Figure 3 Cross sectional microstructure of control cooked noodle and cooked noodle added with 0.01% transglutaminase

孔洞,并且网络结构显得松散而不连续,而 b_2 中的网络结构则更加致密而连续,说明添加 TG 酶后面条中的蛋白交联程度加深,形成了更为紧密的网络结构。对比 a_3 与 b_3 , b_3 中的淀粉颗粒明显和蛋白网络结构结合得更加紧密,而且能够更好地镶嵌其中,而 a_3 中,只有少量的淀粉镶嵌在蛋白网络结构中,这与糊化特性中 TG 酶对崩解值影响的推测是一致的,并且由于在面条内部有更多完整的淀粉颗粒,从而使得面条的硬度增加^[10]。

3 结论

本试验主要研究了 TG 酶添加对荞麦面条品质(面条吸水率、蒸煮损失及质构特性)和微观结构的影响,以及荞麦面条中的蛋白质交联聚合特性,探讨了其作用机制。添加 TG 酶使得荞麦面团的加工特性和荞面面条的品质得到改善,并促进了荞麦面条中蛋白质的交联,尤其在煮面过程中更为明显。通过观察微观结构(CLSM)并结合淀粉糊化特性的变化,发现 TG 酶对荞麦面条品质的影响,主要是由于 TG 酶催化蛋白交联形成了较为致密而连续的网络结构,这种结构使得淀粉颗粒被很好地包裹起来,影响了淀粉的糊化特性,减少了荞麦面条表面可溶性淀粉的溶出,导致蒸煮损失降低;并且使得荞麦面条内部存在较多完整的淀粉颗粒,这种结构本身以及与淀粉糊化的共同作用,使得荞麦面条的硬度和拉伸力增强,而且蛋白的交联程度越高,荞麦面条质构特性的改善越明显。本试验明确了 TG 酶对荞麦面条品质改良作用的内在机制,但对于面条中荞麦蛋白与面筋蛋白在 TG 酶催化下的相互作用机理还有待进一步研究。

参考文献

[1] Wijngaard H H, Arendt E K. Buckwheat[J]. Cereal Chemistry, 2006, 83(4): 391-401.

[2] Mota C, Santos M, Mauro R, et al. Protein content and amino acids profile of pseudocereals[J]. Food Chemistry, 2015, 193: 55-61.

[3] Guo Xiao-na, Yao Hui-yuan. Fractionation and characterization of tartary buckwheat flour proteins[J]. Food Chemistry, 2006, 98(1): 90-94.

[4] 李国龙, 师俊玲, 闫梅梅, 等. 谷氨酰胺转氨酶对荞麦方便面品质的影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(9): 281-287.

[5] 马萨日娜, 张美莉, 蔺瑞. 提高燕麦方便面品质的工艺研究[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(7): 103-107, 112.

[6] Wang Feng, Huang Wei-ning, Kim Y, et al. Effects of transglutaminase on the rheological and noodle-making characteristics of oat dough containing vital wheat gluten or egg albumin[J]. Journal of Cereal Science, 2011, 54(1): 53-59.

[7] Kim Y, Kee JI, Lee S, et al. Quality improvement of rice noodle restructured with rice protein isolate and transglutaminase[J]. Food Chemistry, 2014, 145(4): 409-416.

[8] Luo Yun, Li Man, Zhu Ke-xue, et al. Heat-induced interaction between egg white protein and wheat gluten[J]. Food Chemistry, 2016, 197: 699-708.

[9] Bean S R, Lookhart G L. Factors influencing the characterization of gluten proteins by size-exclusion chromatography and multiangle laser light scattering (SEC-MALLS) 1[J]. Cereal Chemistry, 2001, 78(5): 608-618.

[10] Silva E, Birkenhake M, Scholten E, et al. Controlling rheology and structure of sweet potato starch noodles with high broccoli powder content by hydrocolloids[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 30(1): 42-52.

[11] Singh S, Singh N. Relationship of polymeric proteins and empirical dough rheology with dynamic rheology of dough and gluten from different wheat varieties[J]. Food Hydrocolloids, 2013, 33(2): 342-348.

[12] Larré C, Denery-Papini S, Popineau Y, et al. Biochemical analysis and rheological properties of gluten modified by transglutaminase[J]. Cereal Chemistry, 2000, 77(2): 121-127.

[13] Sozer N. Rheological properties of rice pasta dough supplemented with proteins and gums[J]. Food Hydrocolloids, 2009, 23(3): 849-855.

[14] Luo Li-jun, Guo Xiao-na, Zhu Ke-xue. Effect of steaming on the quality characteristics of frozen cooked noodles[J]. Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie, 2015, 62(2): 1 134-1 140.

[15] Zweifel C, Handschin S, Escher F, et al. Influence of high-temperature drying on structural and textural properties of durum wheat pasta [J]. Cereal Chemistry, 2003, 80 (2): 159-167.

[16] 罗云, 冯鹏, 郭晓娜, 等. 蛋清粉对小麦粉及挂面品质的影响[J]. 食品科学, 2015, 36(19): 39-43.

[17] 张芹, 陆启玉. 挂面在储藏过程中面条质构特性的变化[J]. 农业机械, 2011(23): 95-99.

[18] Bruneel C, Pareyt B, Brijs K, et al. The impact of the protein network on the pasting and cooking properties of dry pasta products[J]. Food Chemistry, 2010, 120(2): 371-378.

[19] 吕振磊, 王坤, 陈海华. 亲水胶体对面粉糊化特性和面条品质的影响[J]. 食品与机械, 2010, 26(4): 26-31.

[20] Wu Jian-ping, Corke H. Quality of dried white salted noodles affected by microbial transglutaminase[J]. Journal of the Science of Food & Agriculture, 2005, 85(15): 2 587-2 594.

[21] Konik C M, Mikkelsen L M, Moss R, et al. Relationships between physical starch properties and yellow alkaline noodle quality[J]. Starch-Stärke, 1994, 46(8): 292-299.

启 事

刊登于我刊 2015 年第 6 期(总 170 期)第 109 页第一作者为覃海宁的《基于 Creator 的多边形旋转金属壳体的三维建模》一文,该文基金项目来源于 2015 年度广西高校科学技术研究项目,编号为 KY2015YB446。

《食品与机械》杂志社
2016 年 3 月 10 日