

酶制剂与酵母复合膨松剂在油条制作中的应用

肖正^{1,2*}, 莫舒欣¹, 雷长梅¹, 梁馨月¹, 车馨怡¹

(1. 华南理工大学食品科学与工程学院, 广东广州 510640)

(2. 福建省农业科学院农业工程技术研究所, 福建福州 350003)

摘要: 该研究以油条为例探究食品酶制剂和酵母用作传统油炸面制品膨松剂的可行性。通过膨胀率、比容、感官评定等检测方法对常用面制品膨松剂的效果、食品酶制剂与酵母复配的效果进行了评估, 并对复配效果最佳的组合进行发酵过程分析。结果发现常用面制品膨松剂中明矾膨松效果最好, 油条最大膨胀率为 8.73 倍。以酵母为基础膨松剂进行改良, 利用蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶、木聚糖酶、葡萄糖氧化酶与酵母复配, 结果发现淀粉酶效果最好, 在添加量为 0.50 g/kg 的情况下膨胀率达到了 7.65 倍。对淀粉酶酵母组合膨松剂进行发酵过程分析, 发现面团最佳发酵时间为 2.5 h, 面制品中碳水化合物大幅度降解为还原糖, 含量达到 5.25%。这种新型复合膨松剂成分由食品酶和食品微生物组成, 无铝元素添加, 在保证膨松效果的前提下实现了安全健康的目的。

关键词: 酶制剂; 酵母; 膨松剂; 油条; 淀粉酶

文章编号: 1673-9078(2022)07-55-62

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2022.7.1046

Application of Enzyme Preparation and Yeast Compound Bulking Agent in the Production of Fried Dough Sticks

XIAO Zheng^{1,2*}, MO Shuxin¹, LEI Changmei¹, LIANG Xinyue¹, CHE Xinyi¹

(1. College of Food Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

(2. Institute of Agricultural Engineering Technology, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350003, China)

Abstract: In this study, fried dough sticks were taken as an example to explore the feasibility of using food enzymes and yeast as the bulking agents for traditional fried flour products. The effects of bulking agents for common flour products and the combination of food enzyme and yeast were evaluated based on the expansion rate, specific volume and sensory score. The fermentation process with the best combination was analyzed. The results showed that alum exhibited the greatest fluffy effect with the highest expansion rate as 8.73 times among the commonly used bulking agents for flour products under the same processing conditions. The yeast-based bulking agent was improved, and the yeast was compounded with protease, amylase, lipase, xylanase and glucose oxidase. The effect of amylase was the best. When the addition amount of amylase was 0.50 g/kg, the expansion rate of fried dough sticks reached 7.65 times. The analysis of the fermentation involving the amylase-yeast compound bulking agent showed that the optimal dough fermentation time was 2.5 h, and the carbohydrates in flour products were greatly degraded into reducing sugars (with a content of 5.25%). The new compound bulking agent was composed of food enzymes and microorganisms without added aluminum, which allows bulking while ensuring safety and healthiness.

Key words: enzyme; yeast; bulking agent; fried dough sticks; amylase

引文格式:

肖正,莫舒欣,雷长梅,等.酶制剂与酵母复合膨松剂在油条制作中的应用[J].现代食品科技,2022,38(7):55-62

XIAO Zheng, MO Shuxin, LEI Changmei, et al. Application of enzyme preparation and yeast compound bulking agent in the production of fried dough sticks [J]. Modern Food Science and Technology, 2022, 38(7): 55-62

油条是我国典型的传统油炸型面制品, 因其独特

收稿日期: 2021-09-18

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2019YFC160620302); 国家自然科学基金青年科学基金项目 (31901669); 广东省基础与应用基础研究基金 (2019A1515011296)

作者简介: 肖正 (1988-), 男, 博士, 助理研究员, 研究方向: 食品酶工程,

E-mail: 1019266760@qq.com

的口感和风味而受到不同消费人群的青睐。膨松剂是油条的加工制作过程中的重要添加剂。在炸制过程中油脂的高温作用促使膨松剂发生化学变化, 释放大量气体, 将油条面坯膨胀, 形成均匀疏松的多孔结构。传统的油条膨松剂是明矾, 但明矾含铝, 经常食用对脑神经有一定的毒害作用, 严重的会导致智力下降和老年痴呆^[1,2]。世界卫生组织在 1989 年就已将铝视为

食品污染物并对每天的摄入量进行严格控制。为了较少油条中铝的添加,研究人员开发了含有碳酸氢钠(小苏打)、酒石酸氢钾、磷酸二氢钙、葡萄糖酸 δ 内酯等不同成分的无铝复合膨松剂,以期改良油条的传统制作工艺,保证人体健康^[3-6]。

酵母常用于馒头的制作,在发酵过程中会产生大量二氧化碳气体,被面筋网络截留在面团内,从而使馒头呈现疏松多空的蜂窝状^[7]。酵母还能对面制品中的淀粉、蛋白质、脂类等大分子进行不同程度的降解,产生寡糖、单糖、氨基酸、脂肪酸等小分子成分,更利于人体消化吸收^[8]。酵母常用做蒸汽面制品和烘焙面制品的膨松剂,在油炸面制品尤其是油条中的应用较少。杨念等^[9]研究酵母在油条制作中的应用,发现添加1%酵母的最佳工艺条件下制得油条的比容为4.54 mL/g。康志敏等^[10]研究了酵母对青麦油条面团发酵特性及其品质的影响,发现H-2即发高活性干酵母最适于青麦油条面团发酵,所得最大油条比容为3.19 mL/g。目前已有研究表明,单独使用酵母做膨松剂,油条膨胀率难以达到传统膨松剂如明矾的蓬松效果。

食品酶制剂属于生物制品,一般是利用微生物经过现代发酵工程技术获得,具有安全性强、催化效率高、反应条件温和、无毒副作用等特点,是较为理想的面制品改良剂,已被广泛应用到烘焙和蒸煮面制品的加工过程中^[11-15]。目前食品酶制剂在油炸面制品中应用相对较少。为了增强酵母作为油条膨松剂的效果,本文将尝试利用食品酶制剂与其复配,增强面团大分子降解,促进酵母增殖和代谢,探究食品酶制剂在传统油炸面制品加工中应用的可行性,开发一种食品酶制剂与食品微生物复配的纯生物成分的膨松剂,在保证油条特有口感风味的基础上提升健康营养水平。

1 材料与方法

1.1 原料

所用面粉、食盐、食糖、食用油均为市售,所用明矾、碳酸氢钠、酶制剂均为河南万邦实业有限公司所产;碳酸氢钠(食用小苏打)、活性干酵母为安琪酵母股份公司所产。所用酶制剂均为食品级。

1.2 油条加工配料和方法

基本配料:面粉 100.00 g,食盐 1.50 g,食糖 1.20 g,水 60.00 mL,膨松剂添加量按实验设计。

油条加工工艺:

配料混合→和面→醒发→分团→切条→油炸→成品

具体制作方法参考文献^[9]。首先将面粉、食盐、食糖等原料与膨松剂按配方比例混合均匀,倒入面团搅拌机,边搅拌边加水,搅拌5 min左右直到面团表面光滑。然后取出用保鲜膜包裹,防止风干,室温静置醒发30 min,使面团充分松弛。醒发结束后将面团分别切割成长10 cm,宽2 cm,厚1 cm的长坯条,把两个坯条叠放在一起,在中间压出凹痕,拉长至25 cm,轻轻放入油温为180 °C的油锅中炸制70 s,然后取出沥干,室温放置30 min冷却后用于膨胀率、比容的检测和感官评定。添加酵母的实验组在35 °C保温箱内发酵2 h,然后取出揉搓排气,切割成相同大小的坯条,叠放压痕后继续35 °C保温发酵20 min,然后再进行拉长和炸制。

1.3 检测方法

1.3.1 油条体积膨胀率和比容

油条体积膨胀率和比容测量方法参考文献^[9]。用尺子量取坯条的长宽厚,计算坯条的体积 V_0 (mL)。将炸好的油条冷却至室温,称重 m (g)。将油条放入量筒中,加适量小米淹没油条,摇晃,使小米充满量筒剩余体积,记录小米和油条的总体积 V_1 (mL)。将油条取出,记录剩余小米的体积 V_2 (mL)。分别按式(1)和式(2)计算油条的膨胀率和比容。

油条体积膨胀率的计算公式:

$$P = \frac{V_1 - V_2}{V_0} \quad (1)$$

油条比容的计算公式:

$$C = \frac{V_1 - V_2}{m} \quad (2)$$

1.3.2 油条的口感和感官评定

感官评定方法及评分标准参考文献^[16]。由9名具有食品感官评定经验的人员对各组油条成品进行品尝,并对油条的色泽、香气、滋味、口感等进行打分,评分标准如表1所示,9人平均分作为该组油条成品的感官评分。

1.3.3 还原糖检测

还原糖的检测方法参考GB 5009.7-2016《食品安全国家标准食品中还原糖的测定》。

1.3.4 数据处理

所有试验均重复3次,数值用平均值±标准差表示。采用Origin 2018和Excel 2010软件对实验数据进行分析。

表1 感官评定标准

Table 1 Sensory evaluation criteria

项目	分值	评定标准
色泽	15	金黄色或深黄色 11~15分; 浅黄色或黄白色 6~10分; 白色或灰色 0~5分。
外观状态	20	表面整齐光滑, 膨胀均匀 16~20分; 表面整齐, 膨胀性较好 11~15分; 表面不整齐, 膨胀不均匀 6~10分; 表面凹凸不平, 膨胀效果差 0~5分。
适口性	15	酥脆可口, 咀嚼性好 11~15分; 基本酥脆, 咀嚼性尚可 6~10分; 无酥脆感, 咀嚼感差 0~5分。
黏性	10	爽口, 不粘牙 6~10分; 有粘牙感 0~5分。
油腻性	5	干爽, 无油腻感 3~5分; 有油腻感 0~2分。
组织结构	10	组织结构均匀, 气孔细密 6~10分; 气孔大小不均匀 0~5分
香气	10	有面食炸香味, 无异味 6~10分; 香味不足, 有异味 0~5分
食味	15	外焦里嫩, 咸香适口 11~15; 口感粗糙, 表皮绵软不够酥脆 6~10分; 口感粗粝, 入口感差 0~5分。

2 结果与讨论

2.1 常用膨松剂对油条膨胀率和感官评定的影响

影响

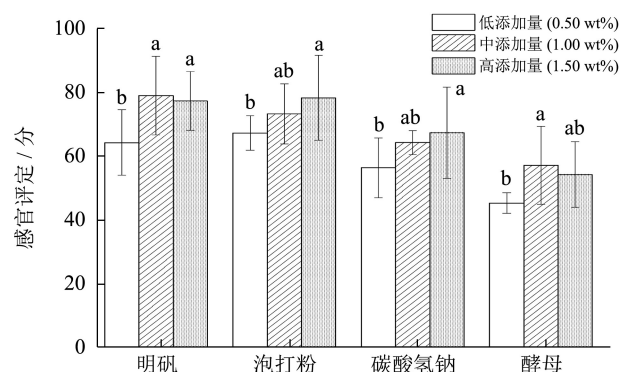


图1 几种传统常用膨松剂对油条膨胀率的影响

Fig.1 Effect of several traditional bulking agents on expansion rate of fried dough sticks

注: 同组不同字母表示数值间差异显著, $p < 0.05$; 下同。

选用了高 (1.50 wt%)、中 (1.00 wt%)、低 (0.50 wt%) 三个常用添加量, 对比几种常用的传统油炸食品膨松剂明矾、泡打粉、小苏打及酵母对油条膨胀率的影响 (图1)。可以发现, 相同加工条件下, 明矾的膨松效果最好, 在添加量 1.50 wt% 的时候, 膨胀率可达 8.67 倍。明矾是油条制作最为传统的膨松剂, 其膨松原理是明矾与食用碱一起加热时释放大量 CO_2 , 从而使油条面团迅速膨胀。明矾的添加量对油条膨胀系数的影响较大, 添加量为 0.50 wt% 时, 油条膨胀率仅为 4.67 倍, 而添加量提高到 1.00 wt% 和 1.50 wt% 时, 油条膨胀率也迅速升高到 6.62 倍和 8.73 倍。而酵母效果较差, 1.50 wt% 添加量时膨胀倍数为 3.54 倍。泡打粉为油条膨松剂的效果也比明矾差一些, 膨胀率最高为 6.65 倍。碳酸氢钠做油条膨松剂时最大膨胀倍数为

4.48 倍, 略高于酵母。

油条的口感和风味会受到多种因素的影响, 如面粉质量、配方、食用油种类等^[17], 膨松剂也是其中的一个关键因素。在高温油脂的传热作用下, 膨松剂受热产生大量气体, 水分以蒸汽形式快速逸出, 使面团快速膨胀, 形成内部疏松多孔的结构, 同时油条面坯表面快速失水, 淀粉发生糊化, 蛋白质发生变形, 形成焦香酥脆的外壳, 达到外焦里嫩的口感^[18]。通过对几种传统膨松剂作用下油条进行感官评定, 发现明矾和泡打粉制作的油条感官评定分数较高, 而碳酸氢钠和酵母制作的油条感官评定分数略低。明矾添加量为 1.00 wt% 时感官评定分数最高为 78.92。泡打粉添加量为 1.50 wt% 时, 感官评定分数达到 78.24 分。碳酸氢钠制作的油条口感略差于前两者, 油炸后有碳酸氢钠残留, 有一定碱味, 最高感官评定分数为 67.37 分。酵母制作的油条感官评定分数在四种传统膨松剂中最低, 在 1.00 wt% 添加量时感官评定分数最高为 57.16 分。其原因可能是酵母制作的油条膨胀率较低, 内部结构不够疏松, 缺少油条应有的质感。在酵母的三个添加量中, 1.50 wt% 可以使油条获取最大的膨胀率, 因此选为后续与酶复配的添加量。

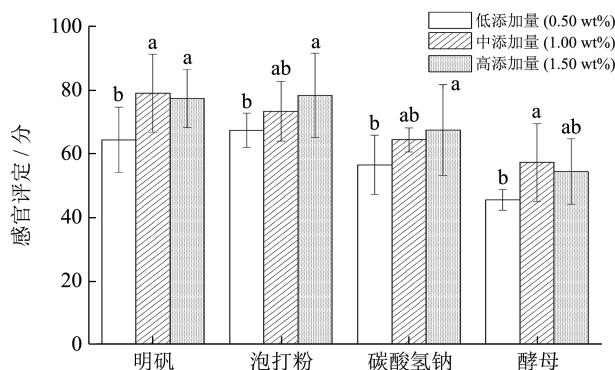


图2 几种传统常用膨松剂制作油条的感官评定分数

Fig.2 Sensory evaluation scores of fried dough sticks made by several traditional bulking agents

2.2 食品酶与酵母复配的效果

2.2.1 蛋白酶

蛋白酶能够催化面团中的蛋白质降解成多肽和氨基酸,为酵母菌的代谢和繁殖提供可快速利用的氮源^[19]。利用蛋白酶与酵母复配对油条的膨胀效果如表2所示,未添加蛋白酶的酵母膨松剂油条膨胀倍数为3.34,添加0.05 g/kg蛋白酶后最大膨胀率为4.17,比容为3.28 mL/g,分别比未添加蛋白酶的对照组增加了41.40%和29.10%。此时,炸制出来的油条口感也相对较好,感官评分分别为62.17和63.17(表1)。Kawamura-Konishi等^[20]研究了4种蛋白酶在面包制作中的应用,发现用蛋白酶处理的面包外观好、体积大、质地柔软,其中效果最好的是来自米曲霉(*Aspergillus oryzae*)的蛋白酶M使面包比容增大了45.28%。该研究蛋白酶对面包的膨胀促进效果与本研究蛋白酶对油条膨胀效果的促进作用较为类似。但是蛋白酶与酵母复配制作的油条最大膨胀倍数、比容、口感、感官评分均远远低于明矾的使用效果,难以达到预期效果。

表2 不同添加量的蛋白酶与酵母复配对油条膨胀效果及感官评价的影响

Table 2 Effects of protease with different amounts mixed with yeast on the expansion effect and sensory evaluation of fried dough sticks

添加量/(g/kg)	膨胀率/倍	比容/(mL/g)	感官评价/分
0.00	3.34±0.17 ^b	2.54±0.33 ^b	57.20±7.48 ^a
0.05	3.32±0.35 ^b	2.54±0.34 ^b	59.23±8.34 ^a
0.25	3.87±0.33 ^a	2.76±0.17 ^{ab}	62.17±3.18 ^a
0.50	4.17±0.87 ^a	3.28±0.45 ^a	63.17±5.22 ^a
0.75	3.26±0.92 ^b	2.78±0.34 ^{ab}	57.75±1.04 ^a
1.00	3.07±0.31 ^b	2.65±0.16 ^{ab}	56.32±7.32 ^a

注:表中同列不同字母表示数值间差异显著, $p<0.05$;下同。

2.2.2 淀粉酶

实验发现淀粉酶的添加对酵母的膨松效果有很大的促进作用(表3)。淀粉酶的添加量为0.05 g/kg的时候,油条膨胀率即由3.26倍增加到了5.36倍,比容从2.87 mL/g增加到了4.76 mL/g。在淀粉酶添加量为0.50 g/kg时,油条的膨胀率达到了最大值7.65倍,随后增加淀粉酶添加量时油条膨胀率略有下降,其原因可能是过多的淀粉酶快速降解面团里的淀粉,在短时间内生成过多葡萄糖等低分子糖类,超过了酵母菌的需求,使面团渗透压加大,反而影响了酵母正常的生理代谢,使其发酵过程受到一定影响^[21]。油条的比容变化趋势与膨胀率相差不大,差别是在淀粉酶添加量为0.25

g/kg时比容达到最大值6.35 mL/g。淀粉酶添加量0.25 g/kg及以上可以获得优良的口感,此时油条焦香酥脆,内部蜂窝状结构较为均匀。淀粉酶添加量0.50 g/kg时,油条感官评分最高为80.35分,该评分已超过明矾作为膨松剂的最大感官评分78.92。综上,淀粉酶的最佳添加量为0.50 g/kg,此时可以获得最大的膨胀率和感官评分。

Chen等^[22]研究了两种淀粉酶对小麦面粉流变学特性以及对部分烘焙面包品质和老化的影响,发现G4淀粉酶可使面包比容达到3.40 mL/g,比对照组增加了21.42%。Wang等^[23]从米黑根霉(*Rhizomucor miehei*)中克隆了一个新的 α -淀粉酶(RmAmyA),将其应用到馒头发酵,使馒头的体积增加7.70%,咀嚼性和硬度分别降低17.20%和11.50%。而本文0.50 g/kg淀粉酶的添加使油条膨胀率增加了134.66%,比容增加了114.63%,远超过淀粉酶对面包和馒头膨松效果的影响,其原因一方面可能是淀粉酶或者酵母种类的不同,对酵母发酵产气的影响差别较大。另一方面可能是加工方式不同,在油炸短时极速高温的作用下,酵母发酵产生的气体几乎全部被密封在油条内,而包面和馒头表面多孔有部分气体散逸出来。而且油炸温度远高于蒸汽温度,内部气体受热胀冷缩的影响,膨胀得更明显,因而油条膨胀效果更好。

表3 不同添加量的淀粉酶与酵母复配对油条膨胀效果及感官评价的影响

Table 3 Effects of amylase with different amounts mixed with yeast on the expansion effect and sensory evaluation of fried dough sticks

添加量/(g/kg)	膨胀率/倍	比容/(mL/g)	感官评价/分
0.00	3.26±0.23 ^d	2.87±0.87 ^d	58.23±7.44 ^c
0.05	5.36±0.63 ^c	4.76±0.45 ^c	67.38±3.57 ^d
0.25	7.25±0.34 ^{ab}	6.35±0.77 ^a	78.36±5.98 ^{ab}
0.50	7.65±0.57 ^a	6.15±0.42 ^{ab}	80.35±8.91 ^a
0.75	7.14±0.76 ^{ab}	5.78±0.16 ^b	73.27±6.37 ^{ab}
1.00	7.02±1.03 ^b	5.97±0.34 ^b	70.23±8.17 ^b

2.2.3 脂肪酶

不同添加量的脂肪酶与酵母复配对油条膨胀效果及感官评价的影响如表4所示。未添加蛋白酶的酵母膨松剂油条膨胀率为3.22倍,比容为2.17 mL/g,感官评分和口感均较差。添加0.05 g/kg脂肪酶后油条的膨胀倍数增加到了3.79倍,比容为2.76 mL/g。随着脂肪酶添加量的增大,油条膨胀率和比容均出现了一定程度增加,在添加量0.50 g/kg时分别达到最大值4.05倍和3.02 mL/g。当脂肪酶添加量为1.00 g/kg时,油条感官评分最高为64.26。Xiang等^[24]从小孢子根霉

(*Rhizopusmicrospor*) 中克隆出了脂肪酶 (RmLipA), 并将其应用到面包制作中, 发现 RmLipA 可以通过增加面包的比体积 (21.70%) 和降低面包屑的硬度 (28.60%) 显著改善了面包的质量。本研究添加 0.50 g/kg 脂肪酶, 油条膨胀率和比容分别比对照组增加了 25.77% 和 38.71%, 其膨胀效果与该文献在面包中的应用较为类似。

表 4 不同添加量的脂肪酶与酵母复配对油条膨胀效果及感官评价的影响

Table 4 Effects of lipase with different amounts mixed with yeast on the expansion effect and sensory evaluation of fried dough sticks

添加量/(g/kg)	膨胀率/倍	比容/(mL/g)	感官评价/分
0.00	3.22±0.33 ^b	2.17±0.76 ^c	56.37±7.48 ^b
0.05	3.79±0.43 ^a	2.76±0.91 ^{ab}	58.34±3.12 ^{ab}
0.25	3.76±0.41 ^a	2.45±0.33 ^{bc}	60.34±4.11 ^{ab}
0.50	4.05±0.34 ^a	3.02±0.44 ^a	61.23±7.18 ^{ab}
0.75	4.02±0.11 ^a	3.01±0.21 ^{ab}	63.23±9.37 ^{ab}
1.00	3.28±0.45 ^b	2.67±0.37 ^b	64.26±6.17 ^a

2.2.4 木聚糖酶

表 5 不同添加量的木聚糖酶与酵母复配对油条膨胀效果及感官评价的影响

Table 5 Effects of xylanase with different amounts mixed with yeast on the expansion effect and sensory evaluation of fried dough sticks

添加量/(g/kg)	膨胀率/倍	比容/(mL/g)	感官评价/分
0.00	3.25±0.22 ^{ab}	2.07±0.34 ^{ab}	53.27±5.18 ^a
0.05	3.57±0.32 ^{ab}	2.87±0.16 ^a	56.37±6.33 ^a
0.25	3.77±0.65 ^a	2.76±0.32 ^a	57.37±6.78 ^a
0.50	3.52±0.32 ^{ab}	3.01±0.54 ^a	55.23±8.16 ^a
0.75	3.34±0.46 ^b	2.67±0.33 ^a	53.27±7.82 ^a
1.00	3.25±0.42 ^b	2.32±0.64 ^b	52.22±6.22 ^a

木聚糖可以水解面粉中的阿拉伯木聚糖, 降解为小分子可溶性寡糖或单糖, 供酵母菌利用。不同添加量的木聚糖酶与酵母复配对油条膨胀效果及感官评价的影响并不明显 (表 5)。未添加木聚糖酶的酵母膨松剂的油条膨胀率为 3.25 倍, 比容为 2.07 mL/g, 口感较差, 感官评分为 53.27。添加 0.25 g/kg 木聚糖酶后最大膨胀率为 3.77 倍, 比容为 3.01 mL/g, 分别比对照组增加了 16.00% 和 38.64%。添加木聚糖酶后感官评分最高为 57.37, 与对照组相差不大。Wen 等^[12]发现在面包制作过程中, 添加木聚糖酶 ArXyn10 可使还原糖含量增加 10.80%, 面包的硬度和咀嚼性降低, 品质提高, 比容增加了 8.18%。Ren 等^[25]研究木聚糖酶对冷冻面团和馒头品质的影响时, 发现添加 0.06 g/kg

木聚糖酶时, 馒头的最大比容为 2.56 mL/g, 比空白值高 21.33%。本研究发现添加木聚糖酶与酵母共同发酵, 对油条膨胀率和比容均有一定提升效果, 与上述研究类似, 但对油条质量的提升作用不是太大。

2.2.5 葡萄糖氧化酶

葡萄糖氧化酶能催化面粉中的葡萄糖氧化为葡萄糖酸和过氧化氢, 后者能够将面筋蛋白中的巯基氧化成二硫键, 形成较好的蛋白质网络结构, 从而增强面团的筋力, 改善面制品的加工性能^[26]。不同添加量的葡萄糖氧化酶与酵母复配对油条膨胀效果及感官评价的影响并不明显 (表 6)。未添加葡萄糖氧化酶的酵母膨松剂的油条膨胀率数为 3.25 倍, 比容为 2.76 mL/g, 添加葡萄糖氧化酶后最大膨胀倍数为 3.57 倍, 比容为 2.87 mL/g, 分别增加了 9.85% 和 3.99%。感官评分最高为 55.46, 也与对照组相差不大。其原因可能是葡萄糖氧化酶主要作用于面团的质构, 而对酵母发酵产气影响不大, 因而对油条膨胀率没有太大帮助。

表 6 不同添加量的葡萄糖氧化酶与酵母复配对油条膨胀效果及感官评价的影响

Table 6 Effects of glucose oxidase with different amounts mixed with yeast on the expansion effect and sensory evaluation of fried dough sticks

添加量/(g/kg)	膨胀率/倍	比容/(mL/g)	感官评价/分
0.00	3.25±0.32 ^{ab}	2.76±0.08 ^{ab}	53.26±5.29 ^{ab}
0.05	2.83±0.19 ^b	2.65±0.45 ^{ab}	50.21±6.19 ^b
0.25	3.12±0.02 ^b	2.45±0.34 ^b	52.98±3.22 ^{ab}
0.50	3.57±0.78 ^a	2.87±0.17 ^a	51.34±9.01 ^{ab}
0.75	3.22±0.32 ^{ab}	2.21±0.17 ^b	55.46±3.29 ^a
1.00	3.12±0.18 ^b	2.34±0.23 ^b	52.12±7.28 ^{ab}

2.3 淀粉酶-酵母体系发酵过程分析

根据上述研究结果, 我们发现淀粉酶与酵母复配对油条的膨松效果最佳, 因此对淀粉酶-酵母体系发酵过程进行深入分析。

2.3.1 淀粉酶-酵母体系发酵时间对油条膨胀率的影响

从图 3 可以看出单独的淀粉酶对油条膨胀率影响不大, 在 0~4 h 的发酵时间内变化趋势与空白对照差别不大, 膨胀率在 2.3~2.8 倍之间, 可见单独的淀粉酶不能起到膨松的效果。酵母做膨松剂的面团在 1.5~3.0 h 发酵时间范围内, 油条的膨胀率快速升高, 在 3.0 h 后膨胀率升高速度放缓。酵母发酵油条 4 h 时最大膨胀率为 4.73 倍。淀粉酶-酵母做复合膨松剂的面团在发酵时间 0~2.5 h 内制备的油条膨胀率升高速度很快, 发酵时间 2.5 h 即可达到良好的蓬松效果, 膨

胀率可达 8.04 倍。发酵时间 2.5 h 后制备的油条膨胀率变化不大。由此可见, 淀粉酶-酵母复配产生的油条获得更大的膨胀率是淀粉酶和酵母共同作用的结果, 在发酵 2.5 h 时达到最佳效果。

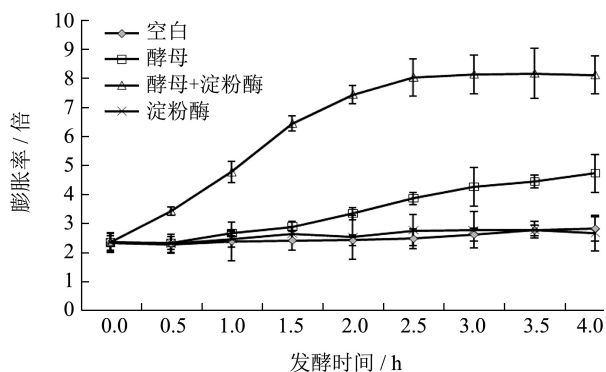


图3 淀粉酶-酵母复配面团发酵时间对油条膨胀率的影响

Fig.3 Effect of fermentation time of amylase yeast compound dough on expansion rate of fried dough sticks

2.3.2 淀粉酶-酵母体系发酵过程中还原糖含量的变化

面团中的淀粉大分子不能被酵母菌利用, 需要酵母分泌出淀粉酶催化淀粉降解产生小分子的寡糖、双糖和单糖, 才能被酵母菌吸收, 用于繁殖和代谢^[10]。由图 4 可见淀粉酶的添加促进了淀粉转化为还原糖, 可使面团中的还原糖含量最高达到了 9.29%。淀粉酶与酵母的复配体系中还原糖含量变化分为三个阶段。0~2 h 为还原糖快速升高阶段, 在淀粉酶和酵母的共同作用下, 面团中的淀粉快速降解, 生成小分子还原糖, 在 2 h 时最高达到了 5.35%。在 2~3 h, 由于酵母菌的快速繁殖, 还原糖的产生和消耗达到平衡状态, 含量基本维持恒定。3 h 后还原糖含量开始下降, 其原因可能是维持大量酵母的繁殖和代谢需要消耗的还原糖量大于产生量, 因而还原糖的积累量出现了一定程度的下降。外加淀粉酶之后面团中小分子还原糖快速增加, 满足了酵母在面制品发酵过程中的营养供给, 促进了酵母的大量繁殖, 进而代谢产生更多的二氧化碳, 促进油条面团内充满更多气体, 在高温炸制后形成的油条成品也形成了更加细密的气孔, 形成酥脆膨松的口感。

康志敏等^[16]采用正交实验研究了碳酸氢钠、柠檬酸、酒石酸氢钾、磷酸二氢钙不同添加量对油条品质的影响规律, 在最佳配方下制作的油条膨胀率为 4.95 倍。张国治^[27]以磷酸盐与其他辅助原料复配而成的新型无明矾油条膨松剂最大膨胀率为 6.17 倍。蒋清君等^[28]对葡萄糖氧化酶、戊聚糖酶、脂肪酶和淀粉酶 4 种酶制剂与小苏打在油条产品中的应用进行了正交试验优化得到最佳配方的最大膨胀率为 4.21 倍。本文选用

1.50%酵母为基础膨松剂进行改良, 利用蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶、木聚糖酶、葡萄糖氧化酶与酵母复配, 发现淀粉酶效果最好。在添加量为 0.25 g/kg 和 0.50 g/kg 的情况下膨胀率分别达到了 7.25 倍和 7.65 倍, 感官评分也分别达到了 78.36 和 80.35。淀粉酶与酵母复配做膨松剂的效果超过了文献中新开发的几种新型无铝膨松剂, 与传统膨松剂明矾的效果也相差无几, 可以代替明矾作为优良油条膨松剂。后续还可以在淀粉酶和酵母的基础上研究多种酶的复配, 来进一步提升油条的口感。

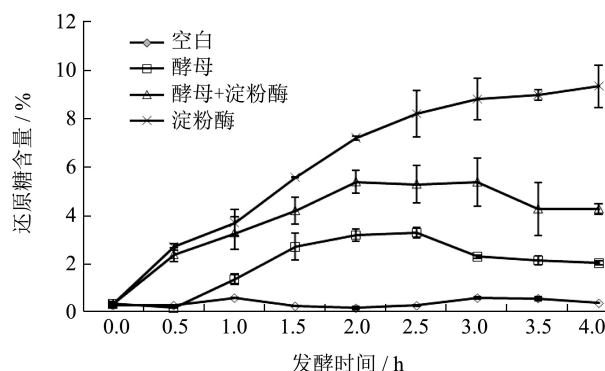


图4 淀粉酶-酵母复配油条面团发酵过程中还原糖含量的变化

Fig.4 Changes of reducing sugar content during dough fermentation in amylase-yeast system for fried dough sticks

3 结论

在几种传统的面制品膨松剂中, 明矾蓬松效果最佳, 膨胀率最大可达 8.67 倍; 而酵母做油炸面制品膨松剂的效果较差, 最大仅为 4.67 倍。选用酵母为基础膨松剂进行改良, 利用蛋白酶、淀粉酶、脂肪酶、木聚糖酶、葡萄糖氧化酶与酵母复配研发新型膨松剂, 发现淀粉酶效果最好。得到的最佳膨松剂配方为 0.50 g/kg 淀粉酶和 1.50 wt% 酵母, 面团发酵时间 2.5 h, 在这种情况下油条膨胀率可达 8.08 倍。在这种新型膨松剂作用下, 面制品中碳水化合物大幅度降解为还原糖, 还原糖含量达到 5.25%, 更利于人体消化吸收。这种新型复合膨松剂成分由食品酶和食品微生物组成, 无铝元素添加, 在保证膨松效果的前提下实现了安全健康的目的, 具有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] Cheng G X, Wang C X, Nie X L, et al. Monitoring of aluminum content in food and assessment of dietary exposure of residents in North China [J]. Food Additives & Contaminants: Part B, 2021, 14(3): 177-183
- [2] Kang W, Lu J, Cheng Y, et al. Determination of the concentration of alum additive in deep-fried dough sticks

- using dielectric spectroscopy [J]. *Journal of Food & Drug Analysis*, 2015, 23(3): 472-479
- [3] 张令文,王雪菲,李莎莎,等.非发酵型速冻油条配方的响应面优化[J].*食品工业科技*,2019,40(7):196-204
ZHANG Lingwen, WANG Xuefei, LI Shasha, et al. Response surface optimization of non-fermented quick frozen dough sticks [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2019, 40(7): 196-204
- [4] 张康逸,康志敏,杨妍,等.冷藏发酵工艺对面团及油条品质的影响[J].*现代食品科技*,2018,34(3):149-158
ZHANG Kangyi, KANG Zhimin, YANG Yan, et al. Effects of refrigerated fermentation process on the quality of dough and fried dough sticks [J]. *Modern Food Science and Technology*, 2018, 34(3): 149-158
- [5] 马航,王燕,郭会仙,等.复合磷酸盐无铝快速油条膨松剂及制备和使用方法:中国, CN111011429A [P] 2020. 04. 17
MA Hang, WANG Yan, GUO Huixian, et al. Composite phosphate aluminum free quick dough sticks bulking agent and its preparation and application method: China, CN 111011429A [P] 2020. 04. 17
- [6] 余明华,从浩.一种无铝油条膨松剂及其制备方法: 中国, CN 104397091B [P] 2017
YU Minghua, CONG Hao. An aluminum-free dough stick bulking agent and its preparation method: China, CN 104397091B [P] 2017
- [7] Xi J, Zhao Q, Xu D, et al. Volatile compounds in Chinese steamed bread influenced by fermentation time, yeast level and steaming time [J]. *LWT - Food Science and Technology*, 2021, 141: 110861
- [8] Liu T, Yang L, Sadiq F A, et al. Predominant yeasts in Chinese traditional sourdough and their influence on aroma formation in Chinese steamed bread [J]. *Food Chemistry*, 2018, 242: 404-411
- [9] 杨念,宋晓燕,董振江,等.发酵型速冻油条制作工艺条件的优化[J].*食品科学*,2011,21:193-197
YANG Nian, SONG Xiaoyan, DONG Zhengjiang, et al. Optimization of processing conditions for fermented quick-frozen fried dough sticks [J]. *Food Science*, 2011, 21: 193-197
- [10] 康志敏,张康逸,李婧,等.酵母对青麦油条面团发酵特性及其品质的影响[J].*食品科学*,2019,40(2):54-59
KANG Zhimin, ZHANG Kangyi, LI Jing, et al. Effect of yeast on fermentation characteristics and quality of green wheat dough sticks [J]. *Food Science*, 2019, 40(2): 54-59
- [11] 王志煌,郑春棕,黄静娥,等.酶制剂在面包等烘焙产品中的应用[J].*现代食品*,2020,20:40-47
WANG Zhihuang, ZHENG Chunqiong, HUANG Jing, et al. Application of enzyme preparation in baking products such as bread [J]. *Modern Food*, 2020, 20: 40-47
- [12] Wen S, Wu G, Wu H. Biochemical characterization of a GH10 xylanase from the anaerobic rumen fungus *Anaeromyces robustus* and application in bread making [J]. *3 Biotech*, 2021, 11(9): 1-12
- [13] Basso F M, Mangolim C S, Aguiar M, et al. Potential use of cyclodextrin-glycosyltransferase enzyme in bread-making and the development of gluten-free breads with pinion and corn flours [J]. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 2015, 66(3): 1-7
- [14] Rebholz G F, Sebald K, Dirndorfer S, et al. Impact of exogenous maltogenic α -amylase and maltotetraogenic amylase on sugar release in wheat bread [J]. *European Food Research and Technology*, 2021, 247(6): 1425-1436
- [15] Kim E A, Lee S Y. Quality characteristics of steamed rice bread prepared with different contents of proteolytic enzyme [J]. *Applied Biological Chemistry*, 2016, 59(1): 95-102
- [16] 康志敏,张康逸,高玲玲,等.无铝添加油条预混粉膨松剂的研究[J].*粮食科技与经济*,2015,40(5):60-63
KANG Zhimin, ZHANG Kangyi, GAO Lingling, et al. Study on aluminum free addition of dough stick premixed powder bulking agent [J]. *Grain Science and Technology and Economy*, 2015, 40(5): 60-63
- [17] An K J, Liu Y L, Liu H L. Relationship between total polar components and polycyclic aromatic hydrocarbons in fried edible oil [J]. *Food Additives & Contaminants, Part A. Chemistry, Analysis, Control, Exposure & Risk Assessment*, 2017, 34(9): 1596-1605
- [18] 张国治,于学军,浮吟梅.油炸食品生产技术[M].北京:化学工业出版社,2005:183-185
ZHANG Guozhi, YU Xuejun, FU Yinmei. *Fried Food Production Technology* [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005: 183-185
- [19] 李海峰,李志建,于亚敏,等.酵母中产蛋白酶细菌及其对馒头品质的影响[J].*河南工业大学学报(自然科学版)*,2015,36(6):1-4
LI Haifeng, LI Zhijian, YU Yamin, et al. Protease producing bacteria in yeast and their effects on the quality of steamed bread [J]. *Journal of Henan University of Technology: Natural Science Edition*, 2015, 36(6): 1-4
- [20] Kawamura-Konishi Y, Shoda K, Koga H, et al. Improvement in gluten-free rice bread quality by protease treatment [J].

- Journal of Cereal Science, 2013, 58(1): 45-50
- [21] 冷越,王学东,吕庆云,等.不同酵母在发酵面制品中的应用研究[J].中国粮油学报,2018,33(11):20-25
LENG Yue, WANG Xuedong, LYU Qingyun, et al. Application of different yeasts in fermented flour products [J]. Chinese Journal of Grain and Oil, 2018, 33(11): 20-25
- [22] Chen Y, Eder S, Schubert S, et al. Influence of amylase addition on bread quality and bread staling [J]. ACS Food Science Technology, 2021, 1(6): 1143-1150
- [23] Wang Y C, Hu H F, Ma J W, et al. A novel high maltose-forming α -amylase from *Rhizomucor miehei* and its application in the food industry [J]. Food Chemistry, 2020, 305(1): 125447.1-125447.9
- [24] Xiang M, Wang L, Yan Q, et al. Heterologous expression and biochemical characterization of a cold-active lipase from *Rhizopus microsporus* suitable for oleate synthesis and bread making [J]. Biotechnology Letter, 2021, 43: 1921-1932
- [25] Ren S, Ma R. Effects of xylanase on quality of frozen dough steamed bread [J]. Food Science & Technology Research, 2016, 22(4): 409-417
- [26] 崔兆惠,李书国.生物酶制剂在面食食品加工中的应用研究[J].粮食加工,2015,40(5):15-19
CUI Zhaohui, LI Shuguo. Application of biological enzyme preparation in flour food processing [J]. Grain Processing, 2015, 40(5): 15-19
- [27] 张国治.无明矾油条膨松剂的研制[J].粮食科技与经济, 2010,1:51-53
ZHANG Guozhi. Development of alum-free dough sticks bulking agent [J]. Grain Science and Technology and Economy, 2010, 1: 51-53
- [28] 蒋清君,许喜林,任娇艳,等.无铝油条配方的优化[J].食品与发酵工业,2012,38(4):72-76
JIANG Qingjun, XU Xilin, REN Jiaoyan, et al. Optimization of aluminum-free dough sticks [J]. Food and Fermentation Industries, 2012, 38(4): 72-76

(上接第 132 页)

- [23] GB 19301-2010,食品安全国家标准 生乳[S]
GB 19301-2010, National Food Safety Standard: Raw Milk [S]
- [24] Plumed-ferrer C, Uusikyl K, Korhonen J, et al. Characterization of *Lactococcus lactis* isolates from bovine mastitis [J]. Veterinary Microbiology, 2013, 167(3-4): 592-599
- [25] 陈宏伟,姜云,郭雪峰,等.抑制奶牛乳房炎源金黄色葡萄球菌的乳酸菌的筛选[J].中国预防兽医学,2020,42(2):128-132
CHEN Hongwei, JIANG Yun, GUO Xuefeng, et al. Isolation and characterization lactic acid bacteria against mastitis-causing *Staphylococcus aureus* [J]. Chinese Journal of Preventive Veterinary Medicine, 2020, 42(2): 128-132
- [26] Vegricht J, Frelich J, Bjelka M, et al. Analysis of raw cow milk quality according to free fatty acid contents in the Czech Republic [J]. Czech Journal of Animal Science, 2008, 53(1): 17-30
- [27] Beal C, Fonseca F, Corrieu G. Resistance to freezing and frozen storage of *Streptococcus thermophilus* is related to membrane fatty acid composition [J]. Journal of Dairy Science, 2001, 84(11): 2347-2356
- [28] Huang C B, George B, Ebersole J L. Antimicrobial activity of n-6, n-7 and n-9 fatty acids and their esters for oral microorganisms [J]. Archives of Oral Biology, 2010, 55(8): 555-560

(上接第 270 页)

- [23] 范方媛,杨晓蕾,龚淑英,等.闷黄工艺因子对黄茶品质及滋味化学组分的影响研究[J].茶叶科学,2019,39(1):63-73
FAN Fangyuan, YANG Xiaolei, GONG Shuying, et al. The effect of technological factors on yellow tea quality and taste-chemical constituents in the yellowing process [J]. Journal of Tea Science, 2019, 39(1): 63-73
- [24] 滑金杰,江用文,袁海波,等.闷黄过程中黄茶生化成分变化及其影响因子研究进展[J].茶叶科学,2015,35(3):203-208
HUA Jinjie, JIANG Yongwen, YUAN Haibo, et al. Review on the changes of biochemical components and the influencing factors in piling process of yellow tea [J]. Journal of Tea Science, 2015, 35(3): 203-208
- [25] 宛晓春.茶叶生物化学(3版)[M].北京:中国农业出版社, 2003:278-279
WAN Xiaochun. Tea Biochemistry (3rd edition) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003: 278-279
- [26] 林智,林钟鸣,尹军峰,等.厌氧处理对茶叶中 γ -氨基丁酸含量及其品质的影响[J].食品科学,2004,2:35-39
LIN Zhi, LIN Zhongming, YIN Junfeng, et al. Influence of anaerobic treatment on the amount of γ -aminobutyric acid and the quality of tea leaf [J]. Food Science, 2004, 2: 35-39