

# 酵母对青麦油条面团发酵特性及其品质的影响

康志敏, 张康逸\*, 李 婧, 吴亚蓓, 高玲玲, 温青玉, 毛新亚  
(河南省农业科学院农副产品加工研究中心, 河南 郑州 450008)

**摘 要:** 以无铝油条预混粉及青麦粉制作青麦油条, 采用发酵仪和流变仪对不同种类酵母(H-1即发干酵母(*Saccharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus*, 耐高糖, 简称H-1)、H-2即发高活性干酵母(*Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* CNCM I-3799, 耐高糖, 简称H-2)、L-1高活性干酵母(*Saccharomyces cerevisiae* var. *willanus*, 低糖, 简称L-1)、L-2即发干酵母(*Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* EC-1118, 低糖, 简称L-2)), 不同青麦粉添加量(0%、3%、6%、9%、12%)油条面团的发酵特性和流变特性进行研究, 并对此面团制作成油条的比容、感官品质和质构特性进行分析。结果表明: 4种酵母中H-2酵母面团的发酵特性参数(产气量、持气率、面团开始漏气时间)最好, 弹性模量与黏性模量较大, 黏弹性较好; 加入青麦粉后, H-2酵母制作的油条比容较大, 感官评分较高, 硬度、咀嚼性较小, 弹性较大; 在青麦粉添加量为6%制作油条时, 油条比容和质构指标适中, 感官评分与普通油条相差不大, 碳水化合物及膳食纤维含量较高。因此, 选择H-2即发高活性干酵母发酵、添加6%青麦粉制作的油条品质较好, 营养丰富。

**关键词:** 酵母; 青麦粉; 发酵特性; 油条品质

## Effect of Different Yeast Strains on Fermentation of Green Wheat Flour Incorporated Dough and Quality of Deep-Fried Twisted Dough Sticks

KANG Zhimin, ZHANG Kangyi\*, LI Jing, WU Yabei, GAO Lingling, WEN Qingyu, MAO Xinya  
(Center of Agricultural Products Processing, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450008, China)

**Abstract:** Deep-fried twisted dough sticks or Youtiao in Chinese were made from aluminum-free premix flour for deep-fried twisted dough sticks incorporated with different amounts (0%, 3%, 6%, 9% and 12%) of green wheat flour using different yeast starters: instant dry yeast H-1 (high sugar-tolerant *Saccharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus*), instant high-active dry yeast H-2 (high sugar-tolerant *Saccharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus*), high-active dry yeast L-1 (low sugar-tolerant *Saccharomyces cerevisiae* var. *willanus*), and instant dry yeast L-2 (low sugar-tolerant *Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* EC-1118). We studied the fermentation and rheological properties of doughs and the specific volume, texture characteristics and sensory quality of the resulting Youtiao. The results showed that H-2 had the best fermentation characteristics in terms of high elastic and viscous modulus and good viscoelasticity among four yeast strains. For each addition level of green wheat flour, the specific volume and elasticity of Youtiao made with H-2 was larger than those of Youtiao made with the other strains. The specific volume and texture quality of Youtiao made with 6% green wheat flour added were moderate; the sensory score was similar to that of the blank control while the contents of carbohydrate and dietary fiber were higher. Therefore, Youtiao made from H-2 fermented dough with 6% green wheat flour added had good sensory quality and was nutritious.

**Keywords:** yeast; green wheat flour; fermentation characteristics; deep-fried twisted dough stick quality

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20171205-063

中图分类号: TS213.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2019)02-0046-06

引文格式:

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): 46-51.

DOI:10.7506/spkx1002-6630-20171205-063. <http://www.spkx.net.cn>

收稿日期: 2017-12-05

基金项目: 河南省重大科技专项(151100111300)

第一作者简介: 康志敏(1986—)(ORCID: 0000-0001-5307-5434), 女, 助理研究员, 硕士, 研究方向为粮食加工。

E-mail: 576020324@qq.com

\*通信作者简介: 张康逸(1981—)(ORCID: 0000-0001-8071-9581), 男, 副研究员, 博士, 研究方向为农副产品加工。

E-mail: kangyiz@163.com

KANG Zhimin, ZHANG Kangyi, LI Jing, et al. Effect of different yeast strains on fermentation of green wheat flour incorporated dough and quality of deep-fried twisted dough sticks[J]. Food Science, 2019, 40(2): 46-51. (in Chinese with English abstract) DOI:10.7506/spkx1002-6630-20171205-063. <http://www.spkx.net.cn>

青麦粉是以青麦仁<sup>[1-2]</sup>为原料,采用低温干燥粉碎制作的全谷物青麦仁全粉,含有丰富的氨基酸、膳食纤维、 $\alpha$ -、 $\beta$ -淀粉酶等营养成分,人体必需氨基酸含量明显大于成熟后的小麦,亮氨酸、组氨酸、谷氨酸是成熟小麦含量的2倍,第1限制性氨基酸赖氨酸含量是小麦的8倍;油条作为我国传统食品深受消费者喜爱<sup>[3]</sup>,将青麦粉作为膳食调理配料添加到面粉中,不仅提高了油条的营养价值,也是强化人们膳食纤维摄入的有效途径。

但添加青麦粉的面团及油条制作过程中也存在很多问题,面团的形成是面制品制作的重要过程,面团形成的好坏直接影响面制品的品质,面团的形成主要是面粉中的蛋白质吸水,部分蛋白质变成面筋形成面团网络结构,淀粉粒吸水高度分散其中,随着面筋的形成,水分大量渗透到蛋白质胶粒内结合到面筋的网状组织内部,面筋完全形成后,面团具有良好的弹性和延伸性<sup>[4]</sup>。全谷物青麦粉也和其他粗粮一样,面筋蛋白含量较少,纤维含量高,制作的面团不易成型,弹性较小<sup>[5-6]</sup>,制作成食品口感粗糙,品质较差。

酵母能影响面团发酵特性<sup>[7]</sup>,为油条提供不同的风味及改善组织结构<sup>[8]</sup>,不同酵母其发酵特性也不相同,张守文等<sup>[9]</sup>研究不同酵母对面包品质的影响,黄晶晶等<sup>[10]</sup>研究市售面包酵母在冷冻过程对自身发酵特性的影响,都得出不同酵母对面包质量影响差异显著的结论。胡丽花<sup>[11]</sup>研究不同酵母对面团发酵特性及馒头质量的影响,王显伦<sup>[12]</sup>、范会平<sup>[13]</sup>等研究酵母对冷冻面团发酵特性及馒头质量的影响,得出酵母对冷冻面团发酵特性及馒头质构、色泽、比容及感官品质有显著影响的结论。因此,实验研究4种酵母及不同青麦粉添加量对面团发酵特性、流变特性,及制作油条的比容、感官品质、质构特性的影响,建立添加青麦粉油条的加工工艺,为青麦油条的加工、青麦仁资源的综合利用提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

青麦粉、无铝油条预混粉 河南省农科院农副产品加工研究所;H-1即发干酵母(*Saccharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus*, 耐高糖) 法国乐斯福公司;H-2即发高活性干酵母(*Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii* CNCM I-3799, 耐高糖) 黑龙江九鼎酵母有限公司;L-1高活性干酵母(*Saccharomyces cerevisiae* var.

*willanus*, 低糖) 安琪酵母(伊犁)有限公司;L-2即发高活性干酵母(*Saccharomyces cerevisiae* var. *bayanus* EC-1118, 低糖) 河北马利食品有限公司;食用油市售。

### 1.2 仪器与设备

FX-ST系列高级面包醒发箱 柳市宏星仪表厂;RS6000哈克动态流变仪 德国赛默飞世尔科技有限公司;F3流变发酵仪 法国肖邦技术公司;TMS-PRO质构仪 美国FTC公司;DF-601膳食纤维测定仪 上海纤检仪器有限公司;SOX500脂肪测定仪、K1100全自动凯氏定氮仪 山东海能科学仪器有限公司;TC-4-10陶瓷纤维炉 北京中兴伟业仪器有限公司;电子天平 梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司;C20-SDHJ07G电磁炉 浙江苏泊尔股份有限公司;万用电炉 河北路仪公路仪器有限公司。

### 1.3 方法

#### 1.3.1 添加青麦粉油条的制备

工艺流程:无铝油条预混粉+青麦粉→加水和面→醒发→成型→切条→油炸→成品。

称取100%无铝油条预混粉<sup>[14]</sup>,分别添加不同比例(0%、3%、6%、9%、12%)的青麦粉替代相应比例的无铝油条预混粉,加适量水和成光滑面团,置于38℃、相对湿度80%的醒发箱中,醒发120 min。将醒发好的面团拿出拉伸,切成长宽相同的面胚,将两个面胚叠放,用筷子在中间按压,拉伸至一样长<sup>[15]</sup>,将生坯轻轻放入油锅,炸至金黄色<sup>[16]</sup>。

#### 1.3.2 添加青麦粉油条面团发酵特性的测定

采用流变发酵仪进行测定<sup>[17]</sup>。测定条件为:面团质量300 g,发酵温度30℃<sup>[18]</sup>,发酵时间3 h,面团上配重质量2 kg。

#### 1.3.3 添加青麦粉油条面团流变特性的测定

采用哈克动态流变仪进行频率扫描,测定面团的弹性模量、黏性模量等流变参数<sup>[19-20]</sup>。

#### 1.3.4 添加青麦粉油条质构特性的测定

质构分析可以将感官品质质量化,减少主观评判造成的误差,是食品评价的重要因素。本研究采用如下条件测定油条质构指标:将速冻后的油条复炸30 s,室温冷却10 min,用质构仪进行测试;取油条成品中间一段,进行质构特性测定<sup>[21]</sup>,每种样品做5次平行实验,去除最大值和最小值,剩余3组取平均值。

质构分析实验参数:采用p50探头,测前速率1.0 mm/s,测试速率1.0 mm/s<sup>[22-23]</sup>,测后速率1.0 mm/s;

触发力5 N; 压缩比30%, 两次压缩时间间隔1 s。分别测定油条的硬度、弹性、黏性、咀嚼性。

1.3.5 添加青麦粉油条比容的测定

油条比容是反映油条膨胀度的一个量化指标, 将速冻油条复炸后室温冷却10 min, 采用菜籽置换法测定其比容<sup>[24]</sup>。

1.3.6 添加青麦粉油条感官品质的测定

感官评定是食品最直接的评定方法<sup>[25]</sup>, 直接反映人们对食品的喜好程度。将速冻油条复炸后室温冷却10 min, 选择10名感官评价员分别对不同条件下的油条进行感官评定, 参照油条感官评价标准<sup>[26]</sup>进行打分, 去除最大值和最小值, 取平均值, 计算总分。青麦油条感官评分标准见表1。

表1 青麦油条感官评分标准  
Table 1 Criteria for sensory evaluation of deep-fried twisted dough sticks with added green wheat flour

指标	分值	评分标准
色泽	15	色泽金黄、内部有青麦粉自然颜色为11~15分; 中等为6~10分; 外表发灰发暗、内部发白为1~5分
外观状态	20	油条的外观形状和膨发性。外观形状整齐, 对称、光滑、膨胀度好为16~20分; 一般为10~15分; 形状不整齐、不对称、表面粗糙膨发性较差为1~9分
适口性	15	咬时不费力为11~15分; 中等为6~10分; 较费力为1~5分
黏性	10	咀嚼时爽口, 不黏牙为8~10分; 较爽口为4~7分; 黏牙为1~3分
油腻性	5	表皮及内部干爽为4~5分; 表皮及内部油滑为2~3分; 表皮及内部含油多为0~1分
组织结构	10	内部气孔多而细密为8~10分; 气孔较少且大小不均、为4~7分; 气孔很少, 结构坚实为1~3分
香气	10	有油炸香味和青麦香味, 无异味为8~10分; 中等为4~7分; 有异味为1~3分
口感	15	咸香适口为11~15分; 中等为6~10分; 有异味为1~5分

1.4 数据处理

采用Origin Pro 8.0作图, SPSS 16.0统计实验数据, 并进行单因素方差分析, 结果以 $\bar{x} \pm s$ 的形式表示, 统一保留两位小数,  $P < 0.05$ , 差异显著。

2 结果与分析

2.1 酵母对不同青麦油条面团发酵特性的影响

由表2可知, 随青麦粉添加量的增加, 面团的产气量有所增加, 面团高度逐渐减小, 开始漏气时间变短, 当添加量为6%时, 面团产气量、持气率都较高。青麦粉添加量为6%时, 4种酵母面团产气量排列顺序: H-2 > L-2 > L-1 > H-1; 4种酵母面团持气量排列顺序: H-2 > L-2 > L-1 > H-1; 4种酵母面团开始漏气时间排列顺序: H-2 > L-2 > H-1 > L-1; 4种酵母面团气体释放曲线最大高度顺序: L-1 > H-2 > L-2 > H-1。

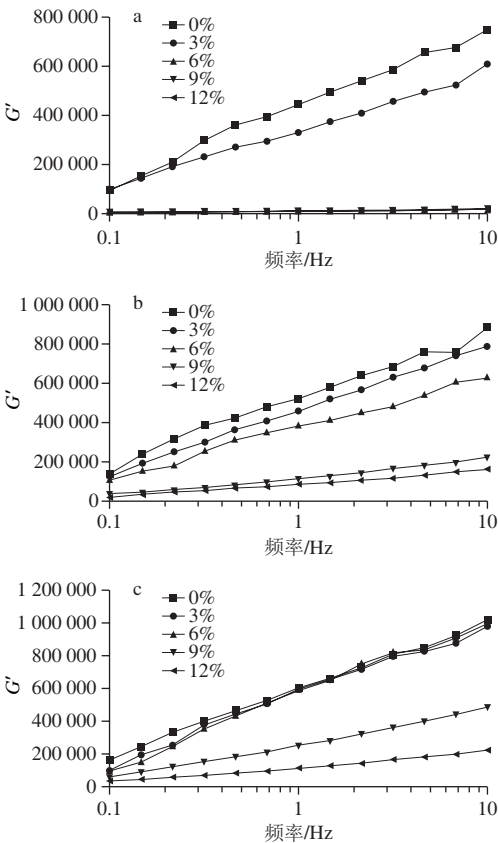
4种酵母中H-2表现出较高的发酵力。发酵时间3 h内, H-2产气量大, 面团最晚开始漏气, 持气能力较好; H-1酵母产气量较少, 面团最早开始漏气, 但持气能力较

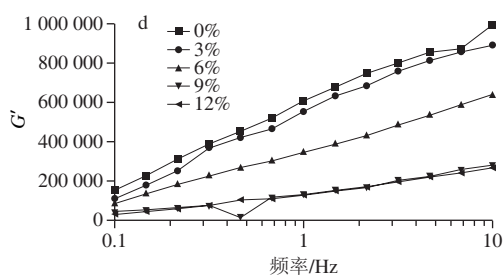
好; L-1酵母产气量和持气率较差; L-2酵母面团产气力较好、持气力一般。因此, 综合考虑H-2酵母对青麦面团的发酵特性最好。

表2 酵母对不同青麦油条面团发酵特性的影响  
Table 2 Effect of different yeast strains on fermentation properties of green wheat flour incorporated doughs

酵母种类	青麦粉添加量/%	最大膨胀高度/mm	开始漏气时间/min	气体释放曲线最大高度/mm	产气量/mL	持气率/%	持气量/mL
H-1	0	14.5	55	19.2	542	97.2	527
	3	14.0	51	20.8	542	96.5	523
	6	13.6	52	20.8	546	98.6	539
	9	11.6	40	21.2	551	86.8	478
	12	10.0	36	21.6	550	81.6	449
H-2	0	12.0	100	26.5	682	93.9	640
	3	11.0	106	27.0	698	93.2	650
	6	9.4	90	27.2	703	94.3	663
	9	8.9	80	26.1	709	88.6	628
	12	8.5	56	26.0	710	88.1	626
L-1	0	15.6	90	30.7	564	96.8	546
	3	15.2	55	30.8	580	96.1	557
	6	14.9	46	31.3	578	96.9	560
	9	13.1	42	28.1	581	85.3	495
	12	12.0	40	27.8	583	83.1	487
L-2	0	15.7	90	22.0	596	95.8	561
	3	15.6	92	22.5	595	94.1	554
	6	15.2	85	23.1	602	96.2	579
	9	13.1	61	20.0	606	82.3	501
	12	12.0	55	20.0	608	80.6	492

2.2 酵母对不同青麦油条流变特性的影响





a. H-1; b. H-2; c. L-1; d. L-2. 图2同。

图1 酵母对不同青麦油条面团弹性模量 $G'$ 的影响

Fig. 1 Effect of different yeast strains on elastic modulus of green wheat flour incorporated doughs

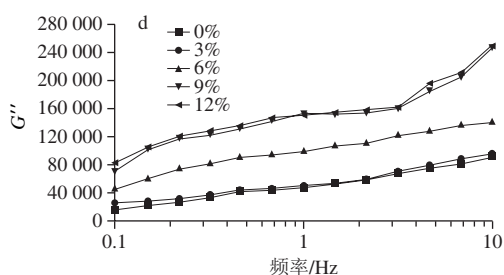
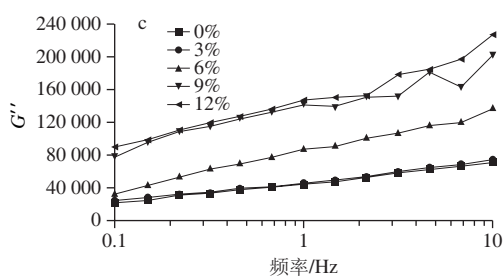
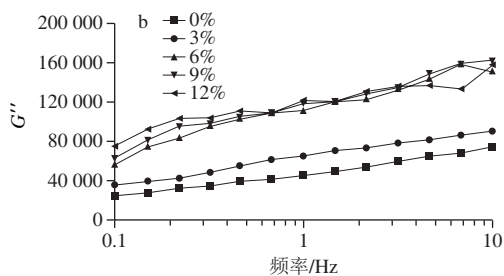
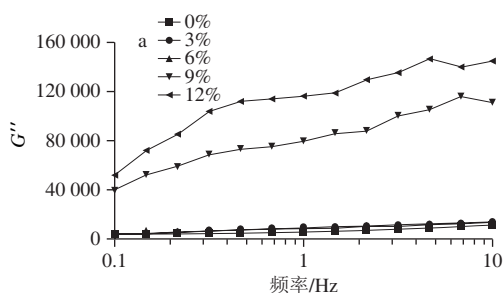


图2 酵母对不同青麦油条面团黏性模量 $G''$ 的影响

Fig. 2 Effect of different yeast strains on viscous modulus of green wheat flour incorporated doughs

面团具有弹性和黏性，弹性模量 $G'$ 表示物体的弹性，黏性模量 $G''$ 表示物体的黏性<sup>[27]</sup>。由图1和图2可知，随振动频率增加，发酵面团 $G'$ 和 $G''$ 逐渐增加；随青麦粉添加量的增加，4种酵母面团的 $G'$ 逐渐减小， $G''$ 逐渐增大，总体均为 $G' > G''$ ，弹性模量大于黏性模量，即随青麦粉添加量的增加，油条面团弹性呈减小趋势，黏性增大， $G' > G''$ 说明在线性范围内的变形是可以压缩并可以恢复的<sup>[28]</sup>。由图1表明，4种酵母面团，青麦粉添加量为0%、3%、6%时面团的 $G'$ 相差较小，青麦粉添加量为9%和12%时 $G'$ 较小，弹性较差，当青麦粉添加量为6%时，L-1和H-2酵母比其他两种酵母弹性模量大，弹性较好，面团的耐形变能力较强。

由图2可知，4种酵母面团，青麦粉添加量为9%、12%时，L-1酵母面团 $G''$ 均比其他3种酵母大，当青麦粉添加量为6%时，H-2酵母比其他3种酵母面团 $G''$ 大，4种酵母面团，青麦粉添加量为3%、6%时，面团 $G''$ 适中，黏性适中，因此，实验范围内的青麦粉添加量，H-2酵母面团的弹性模量与黏性模量较大，黏弹性较好，对青麦油条品质起积极作用，4种酵母可选择H-2酵母进行发酵，青麦粉的适宜添加量可选6%。

### 2.3 酵母对不同青麦油条比容和感官品质的影响

表3 酵母对不同青麦油条比容和感官品质的影响

Table 3 Effect of different yeast strains on specific volume and sensory evaluation of deep-fried twisted dough sticks with added green wheat flour

指标	青麦粉添加量/%	酵母种类			
		H-1	H-2	L-1	L-2
比容	0	2.65 ± 0.11 <sup>Ac</sup>	3.19 ± 0.03 <sup>Cc</sup>	2.61 ± 0.03 <sup>Ad</sup>	2.93 ± 0.07 <sup>Ba</sup>
	3	2.46 ± 0.04 <sup>Abc</sup>	3.08 ± 0.18 <sup>Cc</sup>	2.44 ± 0.06 <sup>Ac</sup>	2.78 ± 0.05 <sup>Ba</sup>
	6	2.26 ± 0.12 <sup>Aab</sup>	2.99 ± 0.33 <sup>Cbc</sup>	2.26 ± 0.01 <sup>Ab</sup>	2.75 ± 0.25 <sup>Ba</sup>
	9	2.15 ± 0.04 <sup>Aa</sup>	2.74 ± 0.11 <sup>Bb</sup>	2.20 ± 0.12 <sup>Ab</sup>	2.46 ± 0.33 <sup>ABa</sup>
	12	2.12 ± 0.20 <sup>ABa</sup>	2.33 ± 0.08 <sup>BCa</sup>	1.94 ± 0.13 <sup>Aa</sup>	2.45 ± 0.01 <sup>Ca</sup>
感官评分	0	86.40 ± 3.36 <sup>Abc</sup>	89.80 ± 2.39 <sup>Ac</sup>	86.60 ± 3.27 <sup>Abc</sup>	86.90 ± 2.41 <sup>Ab</sup>
	3	86.20 ± 4.60 <sup>Abc</sup>	88.60 ± 2.41 <sup>Ac</sup>	86.20 ± 4.66 <sup>Abc</sup>	86.60 ± 2.70 <sup>Ab</sup>
	6	86.20 ± 2.59 <sup>Ac</sup>	88.80 ± 1.92 <sup>Ac</sup>	86.00 ± 2.92 <sup>Ac</sup>	86.40 ± 3.05 <sup>Ab</sup>
	9	78.80 ± 3.49 <sup>Ab</sup>	78.20 ± 3.56 <sup>Ab</sup>	78.60 ± 4.16 <sup>Ab</sup>	76.80 ± 3.49 <sup>Aa</sup>
	12	72.40 ± 4.56 <sup>Aa</sup>	70.20 ± 3.11 <sup>Aa</sup>	73.20 ± 6.34 <sup>Ab</sup>	73.00 ± 4.24 <sup>Aa</sup>

注：同行大写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )；同一指标同列小写字母不同表示差异显著 ( $P < 0.05$ )，下同。

由表3可知，同种酵母油条的比容随青麦粉添加量增加逐渐变小，同种酵母油条的感官评分随青麦粉的添加逐渐变小。不同青麦粉添加量L-2酵母制作的油条比容无显著差异，0%、3%与6%青麦粉添加量H-2酵母制作的油条比容无显著差异。0%、3%与6%青麦粉添加量H-2和L-2酵母制作的油条均与9%、12%青麦粉添加量制作的油条感官评分存在显著性差异 ( $P < 0.05$ )。4种酵母中H-2酵母比容最大，感官评分也较其他3种酵母高。H-1



与L-1酵母油条比容差异不明显，与L-2和H-2酵母相比，存在显著性差异（ $P<0.05$ ），4种酵母感官评分无显著差异。因此，H-2酵母制作的油条比容较大，感官评分较高，青麦粉添加量为6%时，比容适中，油条感官评分与普通油条相差不大。

2.4 酵母对不同青麦油条质构特性的影响

表4 酵母对不同青麦油条质构特性的影响

Table 4 Effect of different yeast strains on texture characteristics of deep-fried twisted dough sticks with added green wheat flour					
指标	青麦粉添加量/%	酵母种类			
		H-1	H-2	L-1	L-2
硬度/N	0	10.50±0.20 <sup>Aa</sup>	10.55±0.15 <sup>Aa</sup>	10.65±0.10 <sup>Aa</sup>	10.60±0.20 <sup>Aa</sup>
	3	11.15±0.15 <sup>Ab</sup>	11.00±0.20 <sup>Aa</sup>	11.20±0.05 <sup>Aab</sup>	11.30±0.10 <sup>Ab</sup>
	6	12.15±0.15 <sup>Bc</sup>	11.20±0.10 <sup>Aa</sup>	11.80±0.20 <sup>Bbc</sup>	11.95±0.35 <sup>Bc</sup>
	9	12.50±0.20 <sup>Bd</sup>	11.60±0.40 <sup>Aa</sup>	11.80±0.20 <sup>Abc</sup>	12.90±0.20 <sup>Bd</sup>
	12	12.70±0.10 <sup>Ad</sup>	11.80±1.30 <sup>Aa</sup>	12.35±0.75 <sup>Ac</sup>	13.10±0.40 <sup>Ad</sup>
弹性	0	2.63±0.06 <sup>Ab</sup>	2.65±0.01 <sup>Ac</sup>	2.58±0.06 <sup>Ac</sup>	2.61±0.04 <sup>Ac</sup>
	3	2.48±0.03 <sup>Bb</sup>	2.50±0.02 <sup>Bd</sup>	2.37±0.07 <sup>Ab</sup>	2.38±0.02 <sup>Ab</sup>
	6	2.41±0.31 <sup>Bb</sup>	2.44±0.02 <sup>Bc</sup>	2.04±0.11 <sup>Aa</sup>	2.05±0.08 <sup>Aa</sup>
	9	1.90±0.14 <sup>Aa</sup>	2.15±0.05 <sup>Bb</sup>	1.98±0.02 <sup>ABa</sup>	2.01±0.05 <sup>ABa</sup>
	12	1.83±0.05 <sup>Aa</sup>	2.03±0.01 <sup>Aa</sup>	1.89±0.13 <sup>Aa</sup>	1.99±0.01 <sup>Aa</sup>
黏性/N	0	7.25±0.10 <sup>Aa</sup>	7.20±0.10 <sup>Aa</sup>	7.30±0.10 <sup>Aa</sup>	7.25±0.15 <sup>Aab</sup>
	3	7.30±0.05 <sup>Ba</sup>	7.40±0.05 <sup>Cb</sup>	7.45±0.05 <sup>Ca</sup>	7.40±0.05 <sup>Aa</sup>
	6	7.40±0.10 <sup>Aa</sup>	7.55±0.05 <sup>Ab</sup>	7.55±0.05 <sup>Aa</sup>	7.50±0.10 <sup>Ab</sup>
	9	7.65±0.75 <sup>Aa</sup>	7.80±0.10 <sup>Ac</sup>	7.70±0.10 <sup>Aa</sup>	8.05±0.15 <sup>Ac</sup>
	12	7.75±0.25 <sup>Aa</sup>	7.85±0.15 <sup>Ac</sup>	8.15±0.45 <sup>Ab</sup>	8.40±0.20 <sup>Ad</sup>
咀嚼性	0	13.13±1.39 <sup>Aa</sup>	12.86±0.50 <sup>Aa</sup>	12.97±0.52 <sup>Aa</sup>	13.01±0.04 <sup>Aa</sup>
	3	14.27±0.65 <sup>Aa</sup>	13.45±0.43 <sup>Aa</sup>	13.86±0.40 <sup>Aab</sup>	14.43±0.58 <sup>Ab</sup>
	6	15.07±0.04 <sup>Aa</sup>	13.83±0.44 <sup>Aa</sup>	14.56±1.09 <sup>Ab</sup>	14.96±0.81 <sup>Ab</sup>
	9	16.63±0.95 <sup>Aa</sup>	14.82±0.91 <sup>Aa</sup>	14.95±0.16 <sup>Ab</sup>	16.17±0.37 <sup>Ac</sup>
	12	18.67±4.09 <sup>Aa</sup>	16.69±1.79 <sup>Ab</sup>	19.19±0.24 <sup>Ac</sup>	17.18±0.01 <sup>Ad</sup>

由表4可知，随青麦粉添加量的增加，同种酵母制作油条的弹性逐渐减小，这与2.2节中流变学特性变化一致，硬度、黏性和咀嚼性逐渐增加。不同青麦粉添加量H-2酵母制作的油条硬度无显著差异，6%青麦粉添加量H-1、L-2与其他添加量相比，制作的油条硬度存在显著性差异（ $P<0.05$ ）；不同青麦粉添加量H-2酵母制作的油条弹性存在显著性差异（ $P<0.05$ ）；不同青麦粉添加量H-1酵母制作的油条黏性和咀嚼性存在显著性差异（ $P<0.05$ ）；3%与6%青麦粉添加量4种酵母制作的油条咀嚼性无显著性差异。4种酵母中H-2酵母制作的油条弹性最大，咀嚼性最小，6%青麦粉添加量H-2酵母制作的油条与其他酵母相比，硬度存在显著性差异（ $P<0.05$ ）。由上述结果可知，在青麦粉添加量为6%制作油条时，油条质构各指标适中，H-2酵母制作的油条较其他3种酵母硬度较小，弹性较大，咀嚼性较小，因此，可选择添加6%的青麦粉制作油条，选择H-2酵母制作含青麦粉的油条效果较好。

2.5 验证实验结果

表5 油条品质指标

Table 5 Fermentation properties of doughs with and without 6% green wheat flour added and quality characteristics of the resulting deep-fried twisted dough sticks

类别	指标	添加6%青麦粉油条	普通油条
发酵特性	面团成熟最大高度/mm	9.4	12.0
	面团开始漏气时间/min	90	100
	持气率/%	94.3	93.9
	产气量/mL	703	682
感官品质	感官评分	88.80	89.80
	硬度/N	11.20	10.55
质构特性	弹性	2.44	2.65
	黏性/N	7.55	7.20
	咀嚼性	13.83	12.86
营养品质	蛋白质/%	11.59	11.64
	脂肪/%	2.01	1.99
	碳水化合物/%	75.86	73.98
	膳食纤维/%	3.86	3.22

由表5可知，添加青麦粉的油条面团发酵速率较快，持气率较高，产气量较大，感官品质相差不大，碳水化合物及膳食纤维含量较高，尤其含青麦粉的油条膳食纤维含量比普通油条高0.64%，膳食纤维是健康饮食不可缺少的重要成分，其对保持消化系统健康有重要作用，摄取足够的膳食纤维可预防心血管疾病、癌症、糖尿病等，可清洁消化壁和增强消化功能，也可减缓消化速度和快速排泄胆固醇，让血液中的胆固醇和血糖控制在最理想的水平。同时，青麦粉虽蛋白含量较面粉含量略低，但其麦谷蛋白和醇溶蛋白含量较高，麦谷蛋白和醇溶蛋白是组成谷朊粉的最主要原料<sup>[29]</sup>，谷朊粉具有强吸水性、黏弹性和黏附热凝性等多种特性，能显著改善面团的粉质拉伸特性<sup>[30]</sup>。因此，添加青麦粉的油条较普通油条营养更丰富。

3 结 论

H-1即发干酵母、H-2即发高活性干酵母、L-1高活性干酵母和L-2即发干酵母和制作的油条面团的流变特性和发酵特性不同。同种酵母添加不同量青麦粉制作的油条面团发酵特性、流变特性、感官品质和质构特性也不相同。

4种酵母中耐高糖型H-2酵母表现出较高的发酵力。发酵时间3 h内，H-2酵母产气量大，面团最晚开始漏气，持气能力较好；H-1酵母产气量较少，面团最早开始漏气，但持气能力较好；L-1酵母产气量和持气率较差；L-2酵母面团产气力较好、持气力一般。在实验范围内的青麦粉添加量，H-2酵母面团的弹性模量与黏性模量较大，黏弹性较好，对青麦油条品质起积极作用。

随青麦粉添加量的增加, 4种酵母面团制作的油条硬度、黏性、咀嚼性逐渐变大, 弹性、比容、感官评分呈下降趋势, H-2酵母制作的油条比容较大, 感官评分较高, 较其他3种酵母硬度较小, 弹性较大, 咀嚼性较小; 在青麦粉添加量为6%制作油条时, 油条比容适中, 感官评分与普通油条相差不大, 质构各指标适中, 碳水化合物及膳食纤维含量较高, 以H-2即发高活性干酵母发酵、添加6%青麦粉制作油条, 能使青麦油条发酵特性大大提高, 也能保证油条的质构特性、比容、感官品质和营养品质, 是一种营养丰富的油条新产品。

#### 参考文献:

- [1] 张云忠, 季旭东. 青麦仁产业化初探[J]. 中国果菜, 2007(6): 39-41. DOI:10.3969/j.issn.1008-1038.2007.06.035.
- [2] 张康逸, 屈凌波. 鲜食全谷物加工技术研究进展[J]. 粮食加工, 2015, 40(6): 1-5.
- [3] 李玲, 王立, 钱海峰, 等. 油条研究现状及发展趋势[J]. 食品工业科技, 2014, 35(23): 366-371.
- [4] 范玲, 马森, 王晓曦, 等. 麦麸粒径对全麦面团流变学特性的影响[J]. 中国粮油学报, 2016, 31(6): 29-34.
- [5] 李桂霞, 王凤成, 郭大江. 我国杂粮的营养与加工[J]. 粮食与食品工业, 2009, 16(5): 12.
- [6] ADAM K M, 王凤, 贾春利, 等. 高粱-小麦粉复合面包面团发酵流变学与烘焙特性[J]. 食品与机械, 2013, 29(1): 1-8.
- [7] 朱清华. 酵母用于面食发酵的营养意义[J]. 中国食品工业, 1998(1): 67-71.
- [8] 刘德海. 酵母在面包生产中的重要作用[J]. 食品科技, 2005, 12(6): 28-30. DOI:10.3969/j.issn.1672-5026.2005.06.008.
- [9] 张守文, 张智武. 不同酵母、不同发酵工艺对面包质量影响的比较研究[J]. 食品与发酵工业, 1997, 23(6): 24-30. DOI:10.3321/j.issn.0253-990X.1997.06.006.
- [10] 黄晶晶, 吉孟彩, 梁建芬. 市售面包酵母冷冻过程发酵性能研究[J]. 食品科技, 2011, 36(6): 175-179.
- [11] 胡丽花, 苏东民, 苏东海. 不同酵母对面团发酵特性及馒头品质的影响[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(12): 32-35.
- [12] 王显伦, 林敏刚. 发酵工艺对冷冻面团及馒头品质的影响[J]. 粮食与饲料工业, 2011, 12(4): 8-11. DOI:10.3969/j.issn.1003-6202.2011.04.003.
- [13] 范会平, 李瑞, 郑学玲, 等. 酵母对冷冻面团发酵特性及馒头品质的影响[J]. 农业工程学报, 2016, 32(20): 298-305. DOI:10.11975/j.issn.1002-6819.2016.20.039.
- [14] 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.
- [15] 董少华, 张国治, 韩燕, 等. 无铝油条膨松剂配方的优化[J]. 河南工业大学学报(自然科学版), 2005, 26(2): 33-35. DOI:10.3969/j.issn.1673-2383.2005.02.009.
- [16] 鞠国泉, 米思. 无铝复合膨松剂在油条制作中的应用研究[J]. 中国粮油学报, 2012(7): 110-112.
- [17] HUANG W N, KIM Y, LI X Y, et al. Rheofermentometer parameters and bread specific volume of frozen sweet dough influenced by ingredients and dough mixing temperature[J]. Journal of Cereal Science, 2008, 48: 639-646. DOI:10.1016/j.jcs.2008.02.008.
- [18] 李子廷, 赵建新, 傅琼颖, 等. 无铝中式油条配料开发及其面团流变学性质研究[J]. 吉林农业大学学报, 2011, 33(1): 99-105.
- [19] LIU X L, MU T H, YAMUL K D, et al. Evaluation of different hydrocolloids to improve dough rheological properties and bread quality of potato-wheat flour[J]. Journal of Food Science and Technology, 2017, 54(6): 1597-1607. DOI:10.1007/s13197-017-2591-y.
- [20] SULLIVAN P, FLAHERTY J O, BRUNTON F N, et al. Fundamental rheological and textural properties of doughs and breads produced from milled pearled barley flour[J]. European Food Research and Technology, 2010, 231(3): 441-453. DOI:10.1007/s00217-010-1297-4.
- [21] 张康逸, 康志敏, 温青玉, 等. 预冷冷冻过程对速冻油条加工品质的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(19): 122-129. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201719020.
- [22] DEMIRKESEN I, KELKAR S, CAMPANELLA O H, et al. Characterization of structure of gluten-free breads by using X-ray microtomography[J]. Food Hydrocolloids, 2014, 36: 37-44. DOI:10.1016/j.foodhyd.2013.09.002.
- [23] 崔丽琴, 崔素萍, 马平, 等. 豆渣粉对小麦面团、馒头质构特性及馒头品质的影响[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 85-88. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201405017.
- [24] MANDALA I G. Physical properties of fresh and frozen stored, microwave-reheated breads, containing hydrocolloids[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 66(3): 291-300. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2004.03.020.
- [25] LIU C, CHANG Y, LI Z, et al. Effect of ratio of yeast to Jiaozi on quality of Chinese steamed bread[J]. Procedia Environmental Sciences, 2012, 12: 1203-1207. DOI:10.1016/j.proenv.2012.01.408.
- [26] 康志敏, 郭祯祥, 孙冰华, 等. 运用模糊数学方法建立油条感官评价体系[J]. 农产品加工, 2012(3): 70-78. DOI:10.3969/j.issn.1671-9646-C.2012.03.063.
- [27] MERT B. A new instrumental setup for determination of small amplitude visco elastic properties of dough during fermentation[J]. European Food Research and Technology, 2008, 227(1): 151-157. DOI:10.1007/s00217-007-0704-y.
- [28] 刘俊飞, 汤晓智, 扈战强, 等. 外源添加面筋蛋白对小麦面团热机械学和动态流变学特性的影响研究[J]. 现代食品科技, 2015, 31(2): 133-137.
- [29] 钟昔阳, 姜绍通, 潘丽军, 等. 超高压对麦醇溶蛋白麦谷蛋白功能性质的影响[J]. 中国粮油学报, 2009, 24(8): 8-11.
- [30] 陈兵, 田宝明, 张晶, 等. 低血糖指数原料与谷朊粉复对面团流变学特性的影响[J]. 食品科学, 2016, 37(13): 101-106. DOI:10.7506/spkx1002-6630-201613018.