

低温花生粕粉对小麦面团特性的影响

孙晓静¹, 麻琳¹, 张丽霞^{1*}, 孔祥昌², 孙强¹

(1. 河南省农业科学院, 河南 郑州 450000; 2. 正阳新地食品工业有限公司, 河南 驻马店 463000)

摘要:为研究不同添加量的低温花生粕粉对小麦面团特性的影响,采用气相色谱仪和红外光谱扫描分别测定小麦粉和低温花生粕粉的混粉及其面团的脂肪酸组成和蛋白质二级结构,用质构仪测定面团的质构特性,并利用电镜观察面团的内部结构。结果表明:小麦粉和花生粕粉的混粉及其面团中,主要脂肪酸为油酸;随着花生粕粉添加量的增加,面团的硬度、咀嚼性、内聚性和弹性均有不同程度的降低,花生粕粉添加量达到20%时,面团的内聚性和弹性与小麦面团之间无显著差异($P>0.05$);花生粕粉、混粉及其面团中, β -折叠含量最高,花生粕粉添加量为15%时,其面团中的 α -螺旋、 β -转角、无规卷曲含量与小麦面团之间差异不显著($P>0.05$);花生粕粉添加量在15%时,小麦面团面筋结构的连续性不受影响。

关键词:低温花生粕;质构特性;蛋白质二级结构;微观结构;脂肪酸

Effect of Low-Temperature Peanut Meal Flour on Properties of Wheat Dough

SUN Xiao-jing¹, MA Lin¹, ZHANG Li-xia^{1*}, KONG Xiang-chang², SUN Qiang¹

(1. Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450000, Henan, China; 2. Zhengyang Xindi Food Industry Co., Ltd., Zhumadian 463000, Henan, China)

Abstract: To investigate the effect of different amount of low-temperature peanut meal on the properties of wheat dough, fatty acid composition and protein secondary structure of the mixture of wheat flour and low-temperature peanut meal flour and their doughs were determined by gas chromatography and fourier transform infrared spectrometer (FTIR), respectively; texture characteristics of doughs were determined by texture profile analysis, and microstructure of doughs were observed by scanning electron microscopy (SEM). Results showed that oleic acid was the main fatty acid in mixed flour and their doughs. With the increase of peanut meal, the hardness, chewiness, cohesiveness and elasticity of doughs decreased in varying degrees. There were no significant differences between cohesiveness and elasticity of the dough with 20% peanut meal addition and wheat dough ($P>0.05$). The content of β -fold was the highest in all samples. When peanut meal added at 15%, the content of α -helix, β -turn and random coil were not significantly different from wheat dough ($P>0.05$). When the content of peanut meal was 15%, the continuity of gluten structure was not affected.

Key words: low-temperature peanut meal; textural properties; protein secondary structure; microstructure; fatty acid

引文格式:

孙晓静,麻琳,张丽霞,等.低温花生粕粉对小麦面团特性的影响[J].食品研究与开发,2020,41(20):35-39,50

SUN Xiaojing, MA Lin, ZHANG Lixia, et al. Effect of Low-Temperature Peanut Meal Flour on Properties of Wheat Dough[J]. Food Research and Development, 2020, 41(20): 35-39, 50

基金项目:河南省农科院“四优四化”科技支撑行动计划(20190204001);河南省农业科学院科技成果示范推广项目

作者简介:孙晓静(1989—),女(汉),研究实习员,硕士,研究方向:农产品加工。

*通信作者:张丽霞(1978—),女(汉),副研究员,博士,研究方向:农产品加工。

我国每年约产生数万吨的花生粕,主要用于动物饲料及非食品工业^[1]。根据榨油方式的不同,花生粕可分为热榨花生粕和冷榨花生粕,热榨工艺中蛋白受热变性严重,其营养价值受到不同程度的影响^[2];冷榨工艺得到的花生粕营养物质丰富,蛋白质含量为47%~55%,氨基酸配比合理,是一种优质的食用蛋白^[3],且蛋白变性程度低,深加工空间大,进一步提高花生粕的附加值也是企业亟待解决的问题。

近年来,大量学者对花生粕的综合利用进行研究,如提取花生蛋白,对其进行改性,开发其产物的呈味特性和功能特性^[4-5],或制备多肽、多糖,将其添加到食品中提高营养价值或改善食品特性^[6-7]。此外,也有报道将花生粕直接制成食品,研究其工艺配方如花生粕咀嚼片、花生蛋白凝胶食品等^[8],而将花生粕应用到主食中的报道较少,小麦粉加工精度高,营养成分大量流失,将花生粕粉添加到小麦粉中,制成营养主食,提高居民日常饮食中蛋白质的摄入量,也为花生粕的利用提供一个新途径。

在实际生产中,冷榨得到的花生粕中有10%左右的残油,后续采用溶剂浸提的方法去除,这种花生粕添加到主食中,对风味有不良影响,限制了冷榨花生粕在主食中的应用。因此本试验取冷榨工艺后的花生粕,保留残油,添加到小麦粉中,测定比较花生粕和小麦粉的混合粉及面团有关性质,研究不同添加量的花生粕粉对小麦粉脂肪酸组成、蛋白质二级结构及小麦面团组织状态、网状结构的影响,为花生粕在主食中的应用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

低温花生粕粉:由河南省农业科学院农副产品加工研究中心制备(采用低温液压技术将去红衣的豫花37花生仁去油得到花生饼粕,粉碎后过60目筛备用);小麦粉:河北金沙河面业有限责任公司;酵母:安琪酵母股份有限公司。

甲醇(色谱纯):天津赛孚瑞科技有限公司;其他试剂均为分析纯。

1.2 仪器与设备

Agilent 7890A 气相色谱仪:安捷伦科技(上海)有限公司;TMS-PRO 质构仪:美国 FTC 公司;Nicolet is5 型傅里叶红外光谱仪:美国 Thermo Fisher 公司;S-3400N II 型扫描电子显微镜、E-1010 镀金机:日本日立公司;GT2S 真空冷冻干燥机:德国 SRK 公司;D2X-6022 B 真空干燥箱:上海福玛实验设备有限公司;K-

05 型自动定氮仪:上海晟声自动化分析仪器有限公司;DFY-1000 摇摆式高速万能粉碎机:温岭市林大机械有限公司。

1.3 方法

1.3.1 基本成分测定

蛋白质含量测定参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》;粗脂肪含量测定参照 GB 5009.6-2016《食品安全国家标准 食品中脂肪的测定》;水分含量的测定参照 GB 5009.3-2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》;灰分含量测定参照 GB 5009.4-2010《食品安全国家标准 食品中灰分的测定》。基本成分含量测定均为干基含量计。

1.3.2 花生粕粉与小麦粉混粉及其面团的制备

按花生粕粉和小麦粉总量 100 g,花生粕粉添加量分别为 15、20、25、30、35 g,与小麦粉配成混粉,以小麦粉作为对照,添加 40% 的蒸馏水制成面团。

小麦粉和花生粕粉编号为 WF 和 PM,花生粕粉-小麦粉混粉按花生粕粉的添加量 15%、20%、25%、30%、35% 分别编号为 F-15、F-20、F-25、F-30、F-35,小麦面团编号为 WD、花生粕粉-小麦粉面团按花生粉的添加量 15%、20%、25%、30%、35% 分别编号为 D-15、D-20、D-25、D-30、D-35。

1.3.3 脂肪酸组成测定

将粉样放入索氏抽提器中,石油醚回流 4 h 提取脂肪,真空干燥后备用。将面团切碎置于烘箱中低温烘干水分,粉碎后同上方法提取脂肪。

采用三氟化硼-乙醚法(GB/T 17376-2008《动植物油脂 脂肪酸甲酯制备》)进行脂肪酸甲酯化制备,根据面积归一化法对脂肪酸组成进行定量分析,得到各化学成分相对含量^[9]。

气相条件为色谱柱:HP-88 (60m×250 μm×0.25 μm);升温程序:120 °C 保持 1 min,以 10 °C/min 升至 175 °C 保持 10 min,以 5 °C/min 升至 210 °C 保持 5 min,以 10 °C/min 升至 230 °C 保持 3 min;进样量:10 μL。

1.3.4 面团质构测试

按 1.3.2 制成面团后,静置 10 min 后进行质构测试。

测试参数为探头:P 50;操作模式:压力测定;测试压缩比:30%;测试速度:1 mm/s。

1.3.5 蛋白质二级结构测定

将粉样用正己烷脱脂,60 °C 真空干燥去除水分及残留的正己烷。采用溴化钾压片法,研磨均匀压片进行红外分析,同时扣除背景。将面团切碎置于烘箱中低温烘干水分,粉碎后脱脂,同上方法测定蛋白质二级结构。

对酰胺 I 带(1 600 cm⁻¹~1 700 cm⁻¹)进行二阶导数

和曲线拟合分析,计算峰面积得到蛋白质各二级结构所占比例。各特征峰与蛋白二级结构对应关系参考 He 等^[10]的方法。

1.3.6 面团微观结构观察

将面团固定、脱水后,用乙酸异戊酯置换两次,24 h 后将面团真空干燥,镀金机喷金后用扫描电镜观察面团微观结构^[11],放大倍数为 1 000。

1.3.7 数据处理

采用统计软件 IBM SPSS Statistics 20 和 Origin8.5 对数据进行处理。

2 结果与分析

2.1 基本组分分析

对原料小麦粉、低温花生粕粉的基本成分进行分

析,结果如表 1 所示。

表 1 原料基本成分

Table 1 The basic ingredients of the raw material

样品	水分/%	粗脂肪/%	蛋白质/%	灰分/%
小麦粉	11.38±0.07	2.13±0.09	12.20±0.12	0.52±0.03
低温花生粕粉	4.41±0.15	9.59±1.04	55.44±0.01	0.51±0.03

花生粕粉中蛋白质含量达到 55%,残留的脂肪含量占 9.59%。小麦粉和花生粕粉中,灰分含量均不到 1%。

2.2 脂肪酸组成分析

花生与小麦的脂肪酸组成差异较大,低温花生粕粉中有近 10%的残油量,对混粉和面团的脂肪酸组成均有影响,其结果见表 2。

表 2 混粉、花生粕粉和小麦粉及其面团脂肪酸组成

Table 2 The fatty acid composition of mixed flour, peanut meal, wheat flour and their doughs

序号	脂肪酸	相对含量/%												
		WF	PM	F-15	F-20	F-25	F-30	F-35	WD	D-15	D-20	D-25	D-30	D-35
1	棕榈酸	18.28	6.33	7.56	7.26	6.95	7.42	6.53	14.50	7.57	7.29	7.11	7.06	6.89
2	棕榈油酸	0.10	0.09	0.09	0.09		0.09			0.10	0.09	0.09	0.09	0.14
3	硬脂酸	1.32	2.77	2.66	2.68	2.72	2.55	2.65	2.59	2.69	2.69	2.71	2.71	2.71
4	油酸 18:1C9	13.77	77.77	71.86	72.83	73.98	72.88	74.18	12.87	72.92	74.26	74.98	75.25	75.70
5	亚油酸	62.34	4.39	10.31	9.79	8.71	8.74	8.96	64.15	9.10	7.83	7.26	6.98	6.61
6	花生酸	0.72	1.20	1.28	1.29	1.34	1.26	1.31	0.72	1.30	1.31	1.33	1.34	1.34
7	α-亚麻酸	2.27	0.06	0.32	0.25	0.20	0.16	0.22	2.47	0.25	0.20	0.26	0.16	0.15
8	花生烯酸	0.72	1.76	1.67	1.67	1.72	1.60	1.76	0.50	1.73	1.76	1.78	1.78	1.78
9	山嵛酸	0.23	2.84	2.61	2.62	2.77	2.59	2.77	1.41	2.71	2.77	2.81	2.83	2.84
10	二十四碳烷酸	0.25	1.80	1.54	1.51	1.61	1.71	1.62	0.79	1.63	1.65	1.67	1.67	1.70

如表 2 所示,小麦粉(WF)中,主要脂肪酸为亚油酸、油酸、棕榈酸和硬脂酸,其中亚油酸含量最高,达到 62.34%,这与刘小梦等^[12]研究结果一致。花生粕粉(PM)中,主要脂肪酸为油酸、亚油酸、硬脂酸、花生酸、花生烯酸、山嵛酸和二十四碳烷酸,棕榈油酸、亚麻酸含量较低。此外花生粕粉中,不饱和脂肪酸占比高于小麦粉,小麦粉中饱和脂肪酸棕榈酸含量约为花生粕粉的 3 倍,因此小麦粉中添加花生粕粉,有利于改善主食中脂肪酸组成。

将小麦粉和花生粕粉混合后,两者均对脂肪酸组成有影响,与小麦粉相比,棕榈酸、亚油酸相对含量降低,油酸相对含量升高。面团中各脂肪酸相对含量的变化与粉样的一致,食品加工过程中,高温处理如油炸会降低不饱和脂肪酸的不饱和度,或使饱和脂肪酸分解^[13-14],而制作主食时,将混合粉加水制成面团的过

程不影响脂肪酸组成。

普通花生中,亚油酸含量较高,在 23%~57%之间^[15-16],受遗传基因和生长环境影响,品种间差异较大^[17-18],本研究中,选用的花生品种为高油酸花生,油酸含量(76.86%)远高于亚油酸(4.39%),Gong 等^[19]研究表明,与普通花生相比,高油酸花生可提高制品的货架期。

2.3 质构分析

质构测试能够客观评价面团内部组织状态,通过质构测试得到硬度、内聚性、弹性和咀嚼性 4 个特征值。添加花生粕粉对小麦面团的影响见表 3。

由表 3 可见,与小麦面团相比,添加花生粕粉的面团硬度和咀嚼性均降低,并有显著性差异($P<0.05$)。花生粕粉添加量低于 20%时,内聚性和弹性与小麦面团之间无显著差异($P>0.05$),但随着花生粕粉添加量的

表3 不同添加量花生粕粉-小麦面团的质构特性

Table 3 The textural properties of doughs of peanut meal with different additions and wheat

样品	硬度/N	内聚性	弹性/mm	咀嚼性/mJ
WD	14.08±1.42 ^a	0.51±0.14 ^a	3.83±0.15 ^a	27.50±2.93 ^a
D-15	10.09±0.94 ^b	0.55±0.07 ^a	3.93±0.63 ^a	21.35±1.28 ^b
D-20	9.29±0.46 ^b	0.49±0.07 ^{ab}	3.38±0.47 ^{ab}	17.45±2.56 ^c
D-25	8.9±0.64 ^b	0.37±0.08 ^{cd}	2.52±0.38 ^b	8.07±1.16 ^d
D-30	8.97±0.50 ^b	0.39±0.06 ^{bc}	2.60±0.35 ^b	9.04±0.51 ^d
D-35	8.79±0.40 ^b	0.26±0.04 ^d	2.51±0.60 ^b	5.89±1.03 ^d

注:同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

增加,面团的内聚性和弹性均明显降低,添加量在25%~35%时,硬度、弹性、咀嚼性与对照组相比,均有显著差异($P<0.05$),各水平之间变化差异不显著。花生粕粉添加量为15%时,内聚性和弹性稍高于小麦面团。在兼顾营养和口感两方面,花生粕粉添加量不宜超过20%。

面团的质构特性与蛋白质有密切关系,其次是淀粉^[20]。小麦的面筋蛋白与水结合形成具有黏弹性的网状结构,是支撑面团的骨架^[21],淀粉颗粒填充其中,而花生蛋白呈海绵状,可截留大量水分^[22],因此硬度随着花生粕添加量的增加逐渐降低,咀嚼性也相应降低。内聚性和弹性主要反映了面团的内部大分子的结合力,添加量为15%时,内聚性和弹性高于小麦面团,但两者无显著性差异,表明花生粕粉添加量在15%时,花生蛋白不影响小麦面团网络结构的形成。但随着添加量的增加,大量的花生蛋白阻碍了面筋网络的形成,导致面团的内聚性和弹性降低。

2.4 蛋白质二级结构

添加花生粕粉对小麦粉及其面团中蛋白质二级结构的变化影响见表4、表5。

表4 混粉、花生粕粉和小麦粉的蛋白二级结构

Table 4 The protein secondary structure of mixed flour, peanut meal and wheat flour

样品	β -折叠/%	α -螺旋/%	β -转角/%	无规卷曲/%
WF	42.21±1.21 ^b	23.04±2.07 ^a	25.37±2.34 ^{ab}	9.39±1.08 ^{bc}
PM	44.08±0.40 ^a	21.63±0.81 ^{abc}	24.25±0.35 ^b	10.04±0.75 ^{bc}
F-15	44.46±1.12 ^a	18.91±0.32 ^c	25.77±1.51 ^{ab}	10.86±1.31 ^{ab}
F-20	43.64±0.16 ^a	22.59±0.87 ^{ab}	26.02±0.72 ^{ab}	7.75±0.31 ^c
F-25	44.34±1.34 ^a	20.01±1.88 ^{bc}	23.58±1.96 ^b	12.07±1.50 ^a
F-30	43.2±1.25 ^a	21.33±0.53 ^{abc}	27.24±0.43 ^a	8.23±0.52 ^{bc}
F-35	44.15±0.13 ^a	21.19±2.50 ^{abc}	25.78±0.84 ^{ab}	8.88±0.54 ^{bc}

注:同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

由表4和表5可知,小麦粉、花生粕粉、混粉及其面团的蛋白质二级结构中, β -折叠含量最高,其次是

表5 不同添加量花生粕粉-小麦面团的蛋白质二级结构

Table 5 The protein secondary structure of doughs of peanut meal with different additions and wheat

样品	β -折叠/%	α -螺旋/%	β -转角/%	无规卷曲/%
WD	47.78±0.78 ^a	21.70±0.99 ^a	24.71±0.71 ^{bc}	5.81±0.81 ^b
D-15	46.52±0.68 ^{ab}	21.75±1.06 ^a	24.36±0.78 ^c	7.37±0.53 ^b
D-20	45.02±0.76 ^{bc}	19.48±0.69 ^{ab}	24.79±0.74 ^{bc}	10.71±0.73 ^a
D-25	42.88±0.52 ^{cd}	18.26±1.09 ^b	26.56±1.02 ^{abc}	12.3±0.40 ^a
D-30	43.01±1.39 ^{cd}	17.33±0.95 ^b	26.89±1.27 ^{ab}	12.77±0.76 ^a
D-35	42.01±1.43 ^d	17.01±0.93 ^b	28.14±0.78 ^a	12.84±0.64 ^a

注:同列小写字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

β -转角, α -螺旋的含量与 β -转角含量相近,无规卷曲含量最低。在混粉中,添加花生粕后,蛋白质二级结构各组分含量均发生变化,但花生粕粉添加量之间无明显变化趋势, β -折叠在各花生粕粉添加量之间无显著差异($P>0.05$)。在面团中,花生粕粉添加量为15%时,各组分含量与小麦面团无显著差异($P>0.05$)。在添加花生粕粉的面团中,随着添加量的增加, β -折叠和 α -螺旋含量降低, β -转角和无规卷曲含量变化呈相反趋势。

与粉样相比,小麦面团中 β -折叠含量升高, α -螺旋、 β -转角和无规卷曲含量降低,添加花生粕粉的面团中,无规卷曲含量变化较大,15%添加量时含量降低,添加量25%~35%时,其含量明显增加。添加量超过20%时, α -螺旋含量降低。

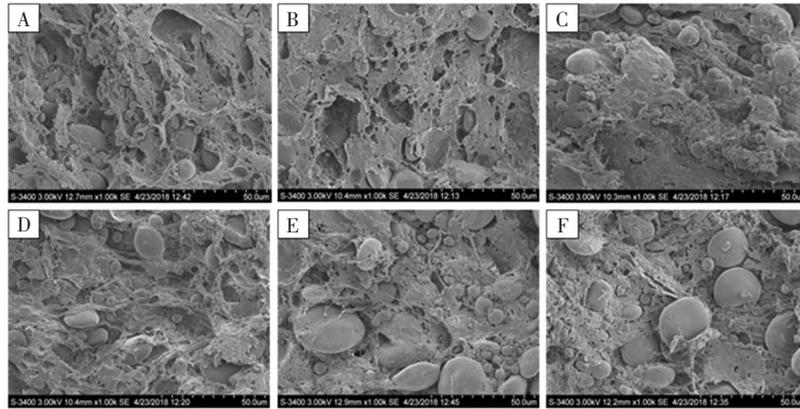
已有报道证明, α -螺旋和 β -折叠是比较有序的结构, β -转角和无规卷曲是无序结构^[23], β -折叠需大量氢键维持,其含量增加,可提高蛋白质二级结构的稳定性,这可能使面团的弹性和延展性增加^[24-25]。添加花生粕粉后,少量的花生蛋白与小麦蛋白相互作用,可能对小麦蛋白二级结构的重排有积极作用,而花生粕粉添加量较高时,更多的花生蛋白与小麦蛋白竞争水分子,影响小麦蛋白分子的伸展转化,其有序结构被打乱,蛋白质形成较小的碎片,无规卷曲结构增加,面团的延展性降低。

综上,花生粕粉的添加影响小麦蛋白的二级结构,在添加量为15%时,两者无显著差异,而超过20%后,不利于面团组织结构的稳定。

2.5 面团的微观结构

面团的微观结构见图1。

从图1中可直观的看出面筋结构中蛋白质和淀粉颗粒的形态。小麦面团中,蛋白质与水结合形成连续、均一的网络交联结构,淀粉颗粒被包裹其中,以高度分散的形式存在^[23,26]。添加不同量的花生粕粉后,面团



A. WD; B. D-15; C. D-20; D. D-25; E. D-30; F. D-35。

图 1 不同添加量花生粕和小麦面团的微观结构

Fig.1 The microstructure of doughs of peanut meal with different additions and wheat

的微观结构明显不同,如图 1B 所示,添加量为 15%时,面筋结构受花生粕粉影响较小,与图 1A 小麦面团相比,面筋结构有少量孔洞,但交联结构没有被破坏,且淀粉颗粒仍被包裹紧密。添加量为 20%时,面筋网络结构连续性受影响,包裹淀粉颗粒的程度降低,淀粉颗粒不均匀且部分浮在面筋结构之外。添加量为 25%时,面筋结构被破坏,从图 1D 中可看到断裂的面筋结构,大量淀粉颗粒暴露在外。由图 1E 和图 1F 可见,花生粕粉添加量达到 30%时,面筋结构松散,被严重破坏。

3 结论

小麦面团质构特性受花生粕粉添加量的影响,当花生粕粉添加量为 20%时,面团的内聚性和弹性与小麦面团之间无显著差异。随着花生粕粉添加量的增加,有序结构 α -螺旋和 β -折叠含量降低,无序结构 β -转角和无规卷曲含量升高,花生粕粉添加量为 15%时,其对小麦面团蛋白质二级结构的各组分无显著影响。小麦面团的微观结构受花生粕粉添加量的影响,其面筋结构受到不同程度的影响,15%添加量时,面筋网络结构仅出现少量孔洞,添加量达到 25%时,其面筋结构被破坏。添加花生粕粉后,混粉及面团中油酸含量最高,脂肪酸不饱和度增加。综上,花生粕粉应用到主食中,添加量应控制在 20%以内。

参考文献:

[1] REDDY N R, CHEN L H, YANG Y Q. Thermoplastic films from peanut proteins extracted from peanut meal[J]. *Industrial Crops and Products*, 2013, 43: 159-164

[2] ZHENG L, REN J Y, SU G W, et al. Comparison of *in vitro* digestion characteristics and antioxidant activity of hot- and cold-pressed peanut meals[J]. *Food Chemistry*, 2013, 141(4): 4246-4252

[3] ZHAO G L, LIU Y, ZHAO M M, et al. Enzymatic hydrolysis and their effects on conformational and functional properties of peanut protein isolate[J]. *Food Chemistry*, 2011, 127(4): 1438-1443

[4] SU G W, REN J R, YANG B, et al. Composition of hydrolysis characteristics on defatted peanut meal protein between a protease extract from *Aspergillus oryzae* and commercial proteases[J]. *Food Chemistry*, 2011, 126: 1306-1311

[5] SANCHEZ-RESÉNDIZ A, RODRÍGUEZ-BARRIENTOS S, RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ J, et al. Phosphoesterification of soybean and peanut proteins with sodium trimetaphosphate (STMP): Changes in structure to improve functionality for food applications[J]. *Food Chemistry*, 2018, 260: 299-305

[6] ZHANG S B. *In vitro* antithrombotic activities of peanut protein hydrolysates[J]. *Food Chemistry*, 2016, 202: 1-8

[7] 姜楠,刘红芝,刘丽,等.花生粕多糖的制备、结构表征及功能评价研究进展[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(12): 119-123

[8] 刘庆芳,蒋竹青,贾敏,等.花生粕综合利用研究进展[J]. *食品研究与开发*, 2017, 38(7): 192-195

[9] 杨春英,刘学铭,陈智毅. 15 种食用植物油脂肪酸的气相色谱-质谱分析[J]. *食品科学*, 2013, 34(6): 211-214

[10] HE S D, SHI J, WALIDA E, et al. Reverse micellar extraction of lectin from black turtle bean (*Phaseolus vulgaris*): Optimisation of extraction conditions by response surface methodology[J]. *Food Chemistry*, 2015, 166(1): 93-100

[11] 孙晓静,彭飞,许妍妍,等.挤压预糊化对苦荞面团流变学性质及芦丁降解的影响[J]. *中国粮油学报*, 2017, 32(6): 46-51

[12] 刘小梦,张小华,张义荣,等.不同小麦品种籽粒中脂肪酸组含量及其相关性研究[J]. *麦类作物学报*, 2013, 33(3): 578-583

[13] CUI Y M, HAO P F, LIU B J, et al. Effect of traditional Chinese cooking methods on fatty acid profiles of vegetable oils[J]. *Food Chemistry*, 2017, 233: 77-84

[14] MORENO M C M M, OLIVARES D M, LOPEZ F J A, et al. Analytical evaluation of polyunsaturated fatty acids degradation during thermal oxidation of edible oils by Fourier transform infrared spectroscopy[J]. *Talanta*, 1999, 50: 269-275

(下转第 50 页)

