

米麦通脆度测试方法研究

Study on test methods of crispness rice candy

赵紫君¹ 贾利蓉¹ 李长江² 高 鸿¹

ZHAO Zi-jun¹ JIA Li-rong¹ LI Chang-jiang² GAO Hong¹

(1. 四川大学轻纺与食品学院, 四川 成都 610065; 2. 四川徽记食品股份有限公司, 四川 成都 610081)

(1. College of Light Industry, Textile and Food, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610065, China;
2. Sichuan Huji Food Corporation, Chengdu, Sichuan 610081, China)

摘要:利用质构仪的压缩模式研究米麦通脆度的测试方法。首先采用感官评价法对米麦通进行脆度评价,再采用质构仪的压缩模式对米麦通进行质构分析,应用 Spss 统计软件对脆度感官评价数据与质构测试数据进行统计分析,研究二者的相关性,并建立米麦通脆度的预测模型。结果表明:压缩测试最佳参数为压缩速度 1.0 mm/s,压缩形变量 50%,最大正峰力(X_1)、正峰面积(X_2)、达到最大峰的面积(X_3)、到达最大正峰力的线性距离(X_4)与产品脆度具有极显著相关性,预测模型为 $Y = -4.130 + 0.241X_1 - 0.101X_2 - 0.487X_3 + 0.128X_4$,相关系数为 0.977, $P < 0.05$,该模型可以预测米麦通的脆度。

关键词:米麦通;脆度;质构测试;感官评价;预测模型

Abstract: The physical properties test of the crunchy rice candy was carried out with a texture analyzer under compression mode. The crispness of the crunchy rice candy was tested using the sensory evaluation method and was adopted the compression mode a texture analyzer. Spss statistical analysis software was applied to the data of crispness sensory evaluation and texture test. Subsequently, the forecast model was constructed for the crunchy rice candy crispness by analyzing the correlation between the data of crispness sensory evaluation and texture test. The results showed that: the best testing speed was 1.0 mm/s, the compression deform deformation was 50%. The Peak Positive Force (X_1), Positive Area (X_2), Area To Positive Peak (X_3), Linear Distance (X_4) data were very significantly correlated with the crispness of the crunchy rice candy. The prediction model was $Y = -4.130 + 0.241X_1 - 0.101X_2 - 0.487X_3 + 0.128X_4$, the correlation coefficient was 0.977, $P < 0.05$, and the model can predict the crispness of the crunchy rice candy.

Keywords: Crunchy rice candy; crispness; texture properties; sensory evaluation; prediction model

膨化食品的脆度是以多孔性、硬度为标准^[1],其测试方法有感官评价、仪器测试、口腔内检测 3 种^[2-5]。长久以来,食品脆度评价多以感官评价为主,在感官评价过程中易受评审人员主观因素的影响,且需要一定数量的评审人员,因此操作相对繁琐并且难以得到准确度高的感官评价数据。仪器测试方法^[4]包括机械法和声学法,声学法是通过分析压样品时发出的声波来反映脆度,声波图的分析比较复杂,很难运用于生产实践中^[6,7],并且声学法多用于检测金属或陶瓷、玻璃等的脆度,而用于食品的脆度则不太合适。机械测试法是给予样品一定的外力,让样品发生形变从而分析样品的脆度,质构仪测试就是最常用的一种机械测试法,通过对样品进行压缩或剪切得到力—位移曲线,对曲线进行分析得到一系列数据从而反映脆度^[5]。口腔内检测利用多点压力传感器或肌肉描述法,可识别食品质构及其咬切时质构的变化或通过记录咀嚼时上下颌肌肉的活动,跟踪在整个咀嚼、吞食过程中食品质构的变化从而对食品的质构进行测试^[8]。

米麦通是以整粒谷物作为原料,经气流膨化、炒制、成型等工艺加工而成的休闲食品。在炒制工序中,膨化的谷物颗粒被高温融化的白砂糖、饴糖混合糖浆粘结在一起,混合糖浆冷却后形成糖衣,赋予米麦通酥脆的口感。脆度是米麦通类产品最重要的感官品质。目前,质构仪的压缩、剪切等模式可以对薯片、虾条等休闲食品的脆度进行测试^[5],这些产品都是由一个均匀的体系构成。米麦通类产品的脆度由两部分构成,一部分是谷物颗粒本身的脆度,另一部分是谷物之间粘结的力度以及包裹谷物糖衣的脆度,而这两者的脆度有较大差异,因此上述食品的测试条件不适用于米麦通。本试验采用感官评价和质构仪的压缩测试两种方法对不同脆度的米麦通进行研究,通过二者相关性分析,确定了脆度的测试条件,建立了脆度的预测模型。为米麦通新产品研发提供较为科学的评价方法。

作者简介:赵紫君(1990—),女,四川大学在读硕士研究生。

E-mail: 313797304@qq.com

通讯作者:贾利蓉

收稿日期:2014-12-05

1 材料与仪器

1.1 材料

米麦通:本实验室自制。样品为圆柱形,直径 45 mm,高 16 mm。

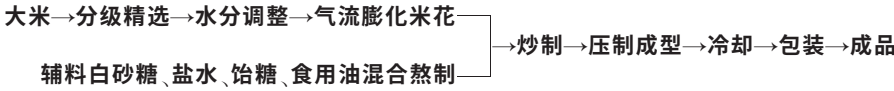
1.2 仪器

电子天平: SQP 型,赛多利斯科学仪器有限公司;

质构仪:TA, XT plus 型,英国 Stable Micro Systems 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 米麦通制作流程



1.3.2 样品配方 在米花含量一定的情况下,影响米麦通脆度的主要原因是辅料白砂糖的添加量,故选择白砂糖的含量为变量,制备系列米麦通样品,配方见表 1。

表 1 样品配方

Table 1 Sample Formulation g

样品	白砂糖	米花	食用油	食盐	饴糖
样品 1	25.0	36.0	22.0	0.1	7.0
样品 2	30.0	36.0	22.0	0.1	7.0
样品 3	35.0	36.0	22.0	0.1	7.0
样品 4	40.0	36.0	22.0	0.1	7.0
样品 5	45.0	36.0	22.0	0.1	7.0
样品 6	50.0	36.0	22.0	0.1	7.0
样品 7	55.0	36.0	22.0	0.1	7.0

1.3.3 米麦通感官评价方法 选择 10 位经过培训的感官评审员,对产品进行脆度评价。本试验中脆度定义为牙齿使样品发生破损所施加的力的大小^[5,9,10],力越大脆度越大。对力的评价采用 7 分制,评价标准见表 2。取 10 人的平均分作为脆度的最终得分^[11]。

表 2 米麦通脆度感官评价标准

Table 2 The sensory evaluation criteria of the crispness for crunchy rice candy

感官得分	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
使样品破碎施加的力	很小	小	较小	合适	较大	大	非常大

1.3.4 米麦通质构测试

(1) 压缩速度的确定:选择 p36/R 探头,压缩形变量为 75%,测试前速度为 5 mm/s,测试后速度为 5 mm/s,感应力为 10 g,数据收集率为 500 s⁻¹,分别在测试速度为 0.5,1.0,1.5,2.0 mm/s 的条件下对米麦通进行质构分析,每次测试选 5 个样品,取 5 次数据的平均值。

(2) 压缩形变量的确定:根据 1.3.4(1)确定的测试速度进行试验,压缩形变量分别为 20%,30%,40%,50%,60%。

(3) 米麦通典型质构曲线解析:米麦通典型质构图见图 1,图 1 曲线中各参数的意义^[3,12]如表 3 所示。

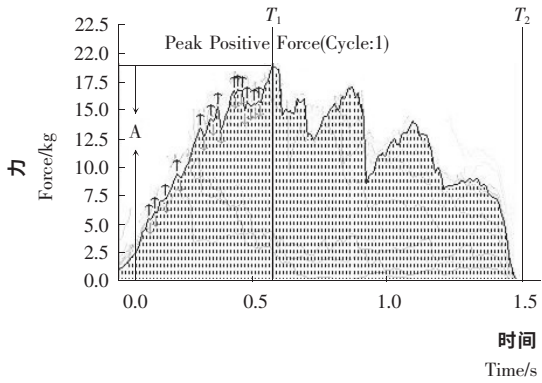


图 1 米麦通典型质构曲线图

Figure 1 The typical texture graph of the crunchy rice candy

1.4 数据处理

应用 Spss 统计分析软件对试验数据进行处理,计算不同样品的感官指标平均值与仪器测试参数平均值的皮尔逊(Pearson)相关系数,应用逐步回归方法建立多元回归方程^[13]。

表 3 质构曲线中参数的意义

Table 3 The significance of the parameters in textural curve

参数	表征意义
最大正峰力(peak positive force, Pf)/kg	曲线中的最大力,即 A 所代表力的大小,在 T ₁ 时刻出现
正峰面积(positive area, Pa)/(kg · s)	横轴与其上曲线围成的面积
达到最大峰的面积(area to positive peak, A)/(kg · s)	峰值 T ₁ 之前曲线与横轴所围成的面积,可反映韧性
最大峰前正峰数(count peaks ⁺ , Cp)	在 T ₁ 之前曲线上正峰的个数,即 T ₁ 前曲线上箭头的个数,反映样品内部的质构
线性长度(linear distance, Ld)/(kg · s)	表示从起始点到 T ₁ 时刻曲线的线性长度,与脆度有较好的相关性

2 结果与讨论

2.1 脆度感官评价结果

脆度感官评价结果见表 4。由表 4 可知,随着样品白砂糖含量增大,样品的脆度越大。

2.2 质构测试参数的确定

2.2.1 压缩速度的确定 不同压缩速度下,米麦通的质构测试数据见表 5。米麦通的质构测试数据与脆度感官评价之间相关性的分析见表 6。

表 4 脆度感官评价结果

Table 4 The sensory evaluation results for crispness

感官得分	样品 1	样品 2	样品 3	样品 4	样品 5	样品 6	样品 7
使样品破碎施加的力/分	1.70±0.25	2.10±0.44	3.10±0.32	4.00±0.34	4.40±0.45	5.10±0.37	5.90±0.45

表 5 不同压缩速度下米麦通质构测试数据

Table 5 The test data of the crunchy rice candy at different texture speeds

速度/ (mm·s ⁻¹)	样品	Pf	Pa	A	Cp	Ld
0.5	样品 1	20.332 0±0.230 2	30.115 9±3.757 4	7.278 1±3.090 4	3.000 0±0.828 4	22.085 8±4.873 7
	样品 2	33.079 7±2.679 4	60.174 9±7.746 6	31.963 5±7.949 2	17.000 0±0.000 0	64.564 4±9.010 7
	样品 3	37.686 3±4.511 1	75.924 8±8.687 4	33.076 8±3.669 6	15.200 0±4.949 7	60.951 8±6.607 0
	样品 4	45.758 7±7.880 3	93.490 8±9.447 3	45.077 3±3.881 5	14.200 0±0.707 1	86.208 0±7.445 5
	样品 5	45.667 9±3.795 2	92.033 5±13.055 8	39.547 4±20.746 3	13.000 0±2.828 4	78.219 4±5.249 8
	样品 6	45.052 4±3.191 8	87.943 2±11.684 1	27.746 6±8.335 9	9.000 0±0.000 0	55.946 9±6.884 4
	样品 7	48.366 2±3.299 8	95.909 5±8.557 0	42.023 1±15.340 6	12.000 0±2.727 9	106.645 8±19.801 9
1.0	样品 1	28.803 1±3.863 5	9.462 5±0.880 0	3.914 3±0.877 7	1.000 0±0.000 0	28.715 6±6.773 1
	样品 2	27.345 6±1.696 0	10.952 4±1.831 8	4.247 7±0.327 4	2.200 0±0.707 1	32.012 3±2.115 5
	样品 3	35.232 8±4.593 2	14.459 5±4.629 3	7.243 4±2.063 8	3.000 0±1.414 2	48.282 6±7.261 3
	样品 4	40.673 5±6.809 2	16.588 8±3.072 1	5.039 2±0.882 2	4.000 0±1.414 2	38.582 4±7.932 9
	样品 5	47.202 4±0.105 9	21.562 3±1.324 4	10.520 8±5.443 9	5.000 0±2.656 9	53.777 8±10.714 4
	样品 6	45.796 1±0.472 2	19.042 4±2.098 1	6.610 9±0.791 1	2.200 0±2.121 3	47.531 0±2.786 5
	样品 7	57.439 7±2.050 0	24.569 4±1.896 0	13.065 4±4.184 0	6.000 0±2.949 7	70.744 6±8.429 3
1.5	样品 1	25.179 6±0.353 7	19.363 2±3.737 1	7.298 1±4.569 6	5.000 0±0.000 0	23.210 2±3.191 6
	样品 2	30.287 6±0.353 7	28.302 8±10.305 0	12.927 4±5.318 5	11.000 0±0.000 0	46.261 0±7.722 1
	样品 3	38.520 3±8.647 2	30.792 5±4.255 5	19.281 8±6.164 9	9.200 0±0.707 1	58.831 2±10.974 4
	样品 4	37.866 2±4.646 4	38.832 3±7.225 9	15.324 0±5.627 9	7.200 0±3.535 5	58.071 9±5.936 8
	样品 5	44.308 0±0.902 7	41.548 3±8.974 9	20.812 5±3.482 8	8.000 0±4.242 6	67.704 7±5.944 2
	样品 6	44.318 9±9.247 8	32.402 2±1.102 6	12.064 0±4.268 2	2.200 0±2.121 3	50.241 1±12.668 5
	样品 7	48.125 1±3.191 6	50.917 5±3.499 1	23.482 6±1.764 7	11.200 0±1.414 2	45.942 7±1.001 6
2.0	样品 1	25.830 4±2.988 4	13.090 5±1.905 6	5.436 0±1.927 9	3.000 0±0.000 0	35.236 7±3.625 7
	样品 2	32.204 5±2.342 7	19.277 5±1.556 8	9.500 4±3.409 4	4.000 0±0.000 0	52.236 5±7.050 7
	样品 3	37.630 2±2.129 6	22.323 0±2.916 9	12.870 1±2.498 2	5.200 0±0.707 1	65.028 1±5.980 0
	样品 4	34.865 0±11.209 4	20.945 0±6.577 5	11.016 8±6.542 2	5.200 0±2.121 3	58.565 6±2.979 2
	样品 5	49.368 7±6.345 4	27.090 1±2.191 7	11.925 5±0.860 4	4.000 0±1.414 2	54.658 2±1.137 4
	样品 6	49.903 0±1.037 9	36.755 0±0.945 6	21.849 0±5.980 8	11.000 0±2.828 4	73.863 6±3.397 4
	样品 7	51.505 4±2.438 8	29.115 9±0.738 3	24.678 9±2.722 9	12.000 0±2.945 6	53.911 4±7.097 4

表 6 不同压缩速度下的质构测试数据与脆度感官评价的相关性[†]

Table 6 The correlation between texture test datas and the sensory evaluation at different compression speeds

压缩速度/ (mm·s ⁻¹)	Pf	Pa	A	Cp	Ld
0.5	0.900**	0.873*	0.633	0.117	0.741
1.0	0.973**	0.962**	0.791*	0.580	0.872*
1.5	0.960**	0.867*	0.661	0.261	0.741
2.0	0.924**	0.857*	0.699	0.387	0.197

† **表示置信度(双测)为 0.01 时,相关性是显著的;*表示置信度(双测)为 0.05 时,相关性是显著的。

由表 6 可知,在不同测试速度下,Pf、Pa 与脆度均有显著相关性,Cp 与脆度均不具有显著相关性。当压缩速度为 0

.5,1.5,2.0 mm/s 时,感官评价与质构测试数据之间相关系数相对较低,且 A、Ld 与脆度不显著相关;当测试速度为 1.0 mm/s 时,脆度与质构测试数据大多相关系数比较高,Pf、Pa、A、Ld 与脆度均显著相关。米麦通是由膨化后的谷粒构成,谷粒本身具有一定的脆度,本试验中对产品进行感官评价时主要针对的是谷粒之间连接成为整体的脆度。当测试速度比较小时,仪器所感应的不仅是产品整体特性还有谷物颗粒的酥脆性,且测试速度较小时仪器本身不稳定,这可能导致此时质构测试数据与感官评价相关性较差。压缩速度过大,仪器与试样刚刚接触时会对样品造成冲击,这种冲击现象在动力学上称为瞬时冲击载荷,瞬时施加的冲击载荷使样品具有很高的应变速率,同样会增加试验的误差^[14]。试验表明米麦通质构仪最优压缩测试速度为 1.0 mm/s。

2.2.2 压缩形变量的确定 不同压缩形变量下,米麦通质构测试数据见表 7。质构数据与脆度感官评价相关性分析结果见表 8。

表 7 不同压缩形变量下米麦通质构测试数据

Table 7 The test data of the crunchy rice candy at different compression deformation

形变量/%	样品	Pf	Pa	A	Cp	Ld
20	样品 1	11.027 3±0.461 7	3.569 6±0.214 5	0.975 7±0.214 5	1.000 0±0.000 0	9.235 2±0.671 2
	样品 2	11.829 9±0.353 0	3.708 7±0.468 3	1.674 9±0.468 3	3.200 0±0.707 1	13.250 3±0.391 8
	样品 3	15.938 4±1.290 4	5.103 0±1.135 0	3.045 5±1.135 0	6.200 0±2.121 3	21.242 6±2.924 1
	样品 4	24.196 3±3.310 7	8.623 9±3.806 4	5.349 0±3.806 4	6.000 0±1.656 9	24.185 4±2.555 6
	样品 5	29.757 4±0.141 2	12.230 9±2.636 1	5.366 5±1.636 1	7.000 0±0.707 1	39.994 2±0.991 5
	样品 6	20.730 0±0.603 3	8.691 8±0.111 1	2.964 5±0.152 4	2.200 0±0.707 1	22.058 4±0.570 2
	样品 7	28.669 3±1.372 3	11.812 8±2.010 8	6.309 2±2.010 8	8.000 0±4.242 6	35.838 3±8.650 3
30	样品 1	12.478 3±0.823 8	5.304 9±1.752 3	1.661 1±0.358 4	2.000 0±1.414 2	10.965 9±0.413 6
	样品 2	15.470 0±0.515 6	8.763 0±1.745 9	2.746 8±1.549 5	3.200 0±0.949 7	16.168 3±2.952 7
	样品 3	20.546 5±0.252 9	13.289 1±1.889 2	5.631 2±0.601 9	6.200 0±0.707 1	31.398 1±0.953 9
	样品 4	19.316 1±0.936 1	12.551 6±3.209 9	4.683 9±2.391 4	6.000 0±5.656 9	30.928 9±3.415 0
	样品 5	24.653 4±3.250 1	17.808 0±1.968 3	5.912 4±0.994 4	6.000 0±0.000 0	37.078 7±1.230 5
	样品 6	21.426 9±2.802 5	14.122 7±0.301 8	4.355 1±1.154 7	4.200 0±0.707 1	23.758 1±2.861 6
	样品 7	27.322 9±4.478 6	18.331 8±2.500 8	6.507 1±0.331 8	7.000 0±2.828 4	32.961 1±0.070 4
40	样品 1	13.437 0±4.466 5	24.617 0±8.223 8	1.934 0±0.119 8	1.000 0±0.000 0	13.649 5±0.611 2
	样品 2	14.655 0±3.856 3	14.901 5±3.944 2	1.844 5±0.727 0	8.000 0±1.563 7	14.874 0±0.169 7
	样品 3	16.060 0±3.395 2	33.832 0±5.805 0	2.372 2±0.783 9	10.200 0±1.452 6	20.260 0±1.440 0
	样品 4	17.554 0±3.634 2	25.965 0±1.170 8	2.082 8±0.450 1	2.200 0±0.143 2	18.924 0±1.318 8
	样品 5	19.865 5±3.444 0	36.286 0±4.020 0	2.253 6±0.089 7	6.200 0±0.334 2	21.875 0±1.042 4
	样品 6	21.078 0±1.893 3	37.511 0±2.876 0	2.580 0±0.180 0	7.200 0±1.674 3	23.157 5±2.380 0
	样品 7	26.562 0±4.794 9	38.262 5±3.388 5	3.781 2±0.543 3	12.200 0±1.324 4	29.632 0±0.150 0

续表 7

形变量/%	样品	Pf	Pa	A	Cp	Ld
50	样品 1	23.115 7±0.904 9	12.944 1±4.301 0	3.258 3±0.455 1	2.200 0±0.707 1	22.914 5±2.531 3
	样品 2	26.823 1±1.657 0	15.795 6±0.340 9	6.054 7±3.163 9	4.200 0±0.707 1	35.978 1±3.476 6
	样品 3	35.533 5±5.662 0	21.134 2±3.697 2	9.038 2±0.384 2	4.200 0±0.707 1	41.384 4±3.028 8
	样品 4	40.705 9±2.086 5	27.828 1±4.205 4	7.822 6±0.278 8	2.000 0±1.414 2	40.287 9±1.310 2
	样品 5	38.389 5±0.452 1	24.924 1±1.111 0	9.104 1±1.889 0	3.000 0±1.414 2	45.798 3±3.693 8
	样品 6	42.479 4±4.450 3	24.011 2±2.830 9	11.896 7±2.009 8	5.000 0±1.414 2	56.325 9±7.517 5
	样品 7	46.272 9±5.218 2	34.295 0±4.301 0	14.374 1±6.408 3	5.000 0±2.828 4	72.820 5±3.688 1
60	样品 1	15.442 4±3.663 9	11.276 0±6.519 8	2.130 2±0.566 4	2.200 0±2.121 3	17.229 1±1.139 6
	样品 2	13.796 9±0.935 1	9.331 9±0.437 7	2.747 3±0.028 7	5.200 0±2.121 3	18.278 4±1.466 9
	样品 3	12.248 4±0.787 8	9.442 7±1.154 8	1.817 5±0.789 9	5.000 0±0.000 0	14.202 9±5.396 3
	样品 4	20.878 0±1.927 6	14.576 7±3.535 9	2.936 9±1.205 6	6.200 0±0.707 1	22.156 2±4.071 7
	样品 5	21.063 6±3.406 1	28.220 0±4.503 9	9.449 7±6.957 7	6.000 0±0.899 5	46.553 4±6.761 7
	样品 6	25.051 5±3.660 7	25.284 5±0.869 1	4.649 5±1.290 1	6.000 0±1.414 2	36.492 0±3.589 3
	样品 7	36.780 3±7.830 1	41.006 9±5.226 8	9.811 6±7.650 4	9.000 0±1.414 2	50.539 0±7.669 3

表 8 不同压缩形变量下的质构测试数据与脆度感官评价相关性[†]

Table 8 The correlation between texture test data and the sensory evaluation at different compression deformations

压缩性 变量/%	Pf	Pa	A	Cp	Ld
20	0.868*	0.896**	0.837*	0.594	0.808*
30	0.915**	0.895**	0.804*	0.725	0.720*
40	0.959**	0.801**	0.823*	0.320	0.951**
50	0.967**	0.926**	0.942**	0.369	0.934**
60	0.900**	0.863*	0.879*	0.664	0.739*

[†] **表示置信度(双侧)为 0.01 时,相关性是显著的;*表示置信度(双侧)为 0.05 时,相关性是显著的。

由表 8 可知,当压缩速度为 1.0 mm/s 时,在不同的压缩形变量下,除 Cp 以外的质构测试数据与脆度感官评价皆具有一定的相关性,当压缩形变量为 50%时,脆度感官评价与质构数据 Pf、Pa、A、Ld 呈极显著相关,在压缩形变量分别为 20%、30%、40%、60%时脆度与质构数据也具有显著相关性,但其相关系数比压缩形变量为 50%时相关系数低。当压缩量为 20%、30%、40%时,样品没有发生断裂性破碎或破碎不严重,即样品形变不严重,不能完全反映样品内部结构;当压缩量为 50%时,样品内部发生完全破碎;当压缩形变量继续增加,样品整体成为破碎状态分散在载物台上^[11],质地不均匀,导致数据不能很好地表示样品的内部属性。试验表明米麦通质构测试最优压缩形变量为 50%。

2.3 米麦通脆度预测模型的建立

应用 Spss 数据分析软件对试验数据进行统计分析,建立以脆度感官评价为因变量,压缩速度为 1.0 mm/s、压缩量为 50%条件下质构测试数据 Pf、Pa、A、Ld 为自变量的线性回归方程,方程为 $Y = -4.130 + 0.241X_1 - 0.101X_2 - 0.487X_3 + 0.128X_4$ (X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 依次代表物性测试的 Pf、Pa、A、Ld;Y 代表脆度感官评价,使样品破碎施加的力)相关系数为 0.977,显著性系数 $P < 0.05$,所以相关系数具有显著相关性,说明回归模型具有统计学意义,可见脆度感官评价可以用仪器进行预测。

3 结论与讨论

(1) 米麦通在质构压缩测试中的最佳物性测试参数为:压缩测试速度为 1.0 mm/s;压缩形变量为 50%。

(2) 研究表明,质构仪测试的数据中最大正峰力(X_1)、到达最大正峰力的线性距离(X_2)、压缩测试试验的正峰面积(X_3)、到达最大正峰力的线性距离(X_4)4 个参数与米麦通的脆度感官得分显著相关,米麦通脆度预测模型 $Y = -4.130 + 0.241X_1 - 0.101X_2 - 0.487X_3 + 0.128X_4$,相关系数为 0.977,显著性系数 $P < 0.05$,因此可以用质构仪的压缩测试方法替代感官评价,对米麦通的脆度进行客观的评价。

参考文献

1 黄寿恩,李忠海,何新益. 干燥方法对脱水柑橘皮品质特性的影响[J]. 中国食品学报,2011,11(3):118~122.
2 Norman N Potter, Joseph H Hotchkiss. 食品科学[M]. 第五版. 王璋等,译. 北京:中国轻工出版社,2001.

(下转第 140 页)

3 结论

本试验结果表明,由胃蛋白酶、中性蛋白酶和胰蛋白酶酶解黄海燕体壁所得到的酶解物对 DPPH 自由基和羟基自由基都具有很好的清除作用,可以作为抗氧化清除自由基的良好原料。并且中性蛋白酶酶解物对 DPPH 自由基和羟基自由基具有明显的清除能力,其对 DPPH 自由基和羟基自由基清除能力的 IC_{50} 值分别为 17.71, 11.94 mg/mL。黄海燕体壁酶解液为开发新型功能性海洋食品基料提供了一定的理论依据,将提高黄海燕的利用价值,并将扩展 ESR 技术在水产品加工与检测方面的应用。

参考文献

- 郭承华,张芳,刘迅,等. 黄海产海燕黄海燕皂甙的制备[J]. 海洋通报,2000, 19(2): 93.
- 汪行舟,安立龙. 海星资源的开发现状及发展[J]. 资源开发与利用,2007, 24(3): 31~34.
- Je J Y, Lee K H, Lee M H, et al. Antioxidant and antihypertensive protein hydrolysates produced from tuna liver by enzymatic hydrolysis[J]. Food Research International, 2009, 42(9): 1 266~1 272.
- Lin Lin, Li Ba-fang. Radical scavenging properties of protein hydrolysates from Jumbo flying squid (*Dosidicus eschrichtii* Steenstrup) skin gelatin[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86(14): 2 290~2 295.
- Guerard F, Sumaya-Martinez M T, Laroque D, et al. Optimization of free radical scavenging activity by response surface methodology in the hydrolysis of shrimp processing discards [J]. Process Biochemistry, 2007, 42(11): 1 486~1 491.
- Mamelona J, Saint-Louis R, Pelletier é. Nutritional composition and antioxidant properties of protein hydrolysates prepared from echinoderm byproducts[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(1): 147~154.
- Dong Xiu-ping, Zhu Bei-wei, Zhao Hong-xia, et al. Preparation and in vitro antioxidant activity of enzymatic hydrolysates from oyster (*Crassostrea talienwhannensis*) meat [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(5): 978~984.
- 刘小玲,林莹,尹秀华,等. 罗非鱼皮胶原肽的制备及抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2007, 23(3): 92~95.
- 王莅莎,朱蓓薇,周大勇,等. 鲍鱼脏器多糖的抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2008, 24(4): 65~69.
- 任俊凤,任婷婷,朱蓓薇. 河豚鱼皮胶原蛋白肽的提取及其抗氧化活性的研究[J]. 中国食品学报, 2009, 9(1): 77~83.
- 盘赛昆,顾小红,汤坚,等. 鳙鱼肉酶解物清除羟基自由基的研究[J]. 食品与机械, 2008, 25(4): 64~67.
- 张爽,朱蓓薇,董秀萍,等. 不同分子质量鲍鱼外套膜酶解物抗氧化活性研究[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 108~111.
- Zhou Da-yong, Zhu Bei-Wei, Qiao Lu, et al. In vitro antioxidant activity of enzymatic hydrolysates prepared from abalone viscera[J]. Food & Bioproducts Processing: Transactions of the Institution of Chemical Engineers Part C, 2012, 90(2): 148~154.
- 顾明广,苏芳,刘艳霞. 酶解鱼皮胶原蛋白制备抗氧化肽工艺研究[J]. 食品与机械, 2014, 30(2): 149~151.
- 赵保路. 电子自旋共振技术在生物和医学中的应用[M]. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2009: 58~59.
- Falch E, Velasco J, Aursand M, et al. Detection of radical development by ESR spectroscopy techniques for assessment of oxidative susceptibility of fish oils[J]. European Food Research and Technology, 2005, 221(5): 667~674.
- 杜明,朱蓓薇,云霞,等. 酶法水解松仁蛋白的最佳条件研究[J]. 食品工业科技, 2003(6): 36~38.
- 黄鹏,苏宁,王昌涛. 沙棘生物活性肽的制备及功效研究[J]. 食品与机械, 2010, 26(6): 67~69.
- 赵鸿霞,周大勇,秦磊,等. 响应面法优化海参卵酶解工艺[J]. 食品与机械, 2010, 26(5): 114~117.
- 赵雅聘,刘山,赵鑫. 黄海燕体壁胶原蛋白肽的制备及其抗氧化活性[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(1): 5~8.
- (上接第 45 页)
- G Roudaut, C Dacremont, B Valles Pamies, et al. Crispness: a critical review on sensory and material science approaches[J]. Trends in Food Science & Technology, 2002, 13(6~7): 217~227.
- 于泓鹏,曾庆孝. 脆度的研究方法及其控制参数[J]. 食品与发酵工业, 2004, 30(3): 85~89.
- 李自红,苏东民,张波,等. 物性测试仪研究休闲食品的特性[J]. 中国农学通报, 2011, 27(4): 326~329.
- Mitsuru Taniwaki, Takanori Hanada, Naoki Sakurai, Device for acoustic measurement of food texture using a piezoelectric sensor [J]. Food Research International, 2006, 39(10): 1 099~1 105.
- Lubov Iliassafon, Etal Shimoni. Predicting the sensory crispness of coated turkey breast by its acoustic signature[J]. Food Research International, 2007, 40(7): 827~834.
- 李春红,潘家荣,张波. 物性测试仪对休闲食品酥脆性的测试[J]. 现代科学仪器, 2008(6): 59~62.
- 张爱霞,邓宏斌,陆淳. 感官分析技术及其在食品工业中的应用[J]. 乳业科学与技术, 2004(3): 113~114.
- 李云飞,殷涌光,徐树来,等. 食品物性学[M]. 第二版. 北京: 中国轻工业出版社, 2010.
- 吴谋成. 食品分析与感官评定[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.
- 郝红涛,赵改名,柳艳霞,等. 肉类制品的质构特性及其研究进展[J]. 食品与机械, 2009, 25(3): 125~128.
- 罗应婷,杨钮娟. SPSS 统计分析从基础到实践[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- 贾瑜. 韧性饼干力学特性及质地评价的研究[J]. 江苏: 江苏大学, 2010.