

基于休闲豆干的热量成分检测及检测模型校正

The correction of calory answer testing model based on leisure dried Tofu

黄路路^{1,2,3} 吴菲菲^{1,2,3} 李化强^{1,2,3}

HUANG Lu-lu^{1,2,3} WU Fei-fei^{1,2,3} LI Hua-qiang^{1,2,3}

赵良忠^{1,2,3} 尹锦辉^{1,2,3} 常伦峰^{1,2,3}

ZHAO Liang-zhong^{1,2,3} YIN Jin-hui^{1,2,3} CHANG Lun-feng^{1,2,3}

(1. 邵阳学院生物与化学工程系, 湖南 邵阳 422000; 2. 豆制品加工技术湖南省应用基础研究基地, 湖南 邵阳 422000; 3. 湖南省果蔬清洁加工工程技术研究中心, 湖南 邵阳 422000)

(1. Department of Biological and Chemical Engineering, Shaoyang University, Shaoyang, Hunan 422000, China; 2. Soybean Processing Techniques of the Application and Basic Research Base in Hunan Province, Shaoyang, Hunan 422000, China; 3. Hunan Provincial Engineering and Technology Research Center for Fruit and Vegetable Clean Processing, Shaoyang, Hunan 422000, China)

摘要:以市售休闲豆干为原料,分别采用凯氏定氮法、快速水分测定法和索氏提取法测定其蛋白质、水分和脂肪含量,再使用热量成分检测仪分别测定其含量,运用数学分析法对其检测模型进行校正,得到相应的校正模型。所得校正后的热量成分检测仪模型分别为: $y_p = 1.15x$, $y_w = 0.85x$, $y_f = 0.65x$,模型适用于蛋白质含量、水分含量和脂肪含量范围分别为 22.80~27.30, 36.12~51.59, 7.42~14.80 g/100 g 的休闲豆干的校正。经校正后蛋白质含量平均绝对误差减小了 1.44, 平均误差率减小了 6.23%; 水分含量平均绝对误差减小了 6.77, 平均误差率减小了 14.71%; 脂肪含量平均绝对误差减小了 4.49, 平均误差率减小了 45.74%, 校正后热量成分检测仪能够快速、准确地检测休闲豆干中蛋白质、水分、脂肪的含量,为休闲豆干蛋白质、水分、脂肪含量的快速检测提供了新途径。

关键词:豆干; 蛋白质; 水分; 脂肪; 热量成分; 模型校正

Abstract: Using the market sale leisure dried bean curd as material, determined the protein content in leisure dried tofu by Kjeldahl method, the moisture content in rapid moisture tester and the fat content with Soxhlet extraction method. Then using the Calory Answer to determinate the contents of protein, fat and moisture, using

基金项目: 湖南省科技厅平台项目(编号: 2013TP4068, 2015TP2022); 湖南省科技厅重点项目(编号: 2015CK3031); 邵阳学院研究生科研创新项目(编号: CX2016SY027)

作者简介: 黄路路, 女, 邵阳学院在读硕士研究生。

通讯作者: 赵良忠(1963—), 男, 邵阳学院教授, 硕士。

E-mail: Sys169@163.com

收稿日期: 2016-06-25

the mathematical analysis method to correct the detection model, and then the corresponding correction model is obtained. After the calibration, the model of the Calory Answer respectively is $y_p = 1.15x$, $y_w = 0.85x$, $y_f = 0.65x$, these correction model were suitable for the leisure dried tofu that the protein content, moisture content and the fat content ranges in 22.80~27.30 g/100 g, 36.12~51.59 g/100 g and 7.42~14.80 g/100 g, respectively. The protein content after correction of absolute error is decreased by 1.44, the average error rate is reduced by 6.23%; moisture content of absolute error is reduced 6.77, the average error rate reduces 14.71%; fat content of absolute error is decreased by 4.49 and the average error rate reduces 45.74%. After the correction, the corrected Calory Answer can quickly and accurately detect the content of protein, moisture, fat, and provides a new approach for the rapid detection of protein, moisture, fat content in the leisure dried tofu.

Keywords: dried bean curd; protein; moisture; fat; calory answer; model correction

大豆因其独特的营养特性,被誉为蛋白质之王。如今,豆制品已逐渐发展成为 21 世纪的绿色健康食品。豆制品加工业愈来愈受到人们的关注,并不断发展延伸,豆类食品的营养保健功能也得到进一步发展^[1-2]。在全球范围内,中国的豆制品加工工业起步最早^[3]。豆干,其加工历史十分悠久,风味鲜香爽口,营养丰富,食用方便,是男女老少都能食用的休闲食品,越来越受到人们青睐^[4-6],其主要成分有蛋白质、脂肪、碳水化合物、水分等。豆干中的蛋白质含量高,容易被人体消化吸收,又富含 Ca、P、Fe 等各种人体必需的矿物质成分^[7-8]。豆干中不含胆固醇^[9],能够预防心血管疾

病、预防骨质疏松、降低血糖、防癌及延缓衰老,是极具保健功能的休闲食品^[10]。

消费者对于食品中的营养成分和含量越来越关注,如何快速、准确地检测食品中营养成分已成为食品研究的重点问题。传统分析方法准确度高,但耗时长、损耗大、操作步骤繁琐、易受外因影响,不能满足生产企业、产品监督机构等快速检测的要求^[11-13]。以日本 JWP 公司生产的 Calory Answer (热量成分检测仪)为代表的利用近红外原理生产的快速检测设备,在谷物类、肉类、日本料理、中式菜肴、饮料、罐头等食品热量和主要成分快速分析时^[14-15]可以实现检测自动化,省去检测时试样的前处理和检测本身的耗时,同时避免了对物料的破坏,实现快速、简便、无损检测^[16-18]。休闲豆干是最具特色的中国特色产品,可视为蛋白质的胶凝产物,由于该类产品只在中国生产,国外生产的快速检测设备数据库中并没有对应的标准曲线和相关的数据库及检测模型可供选择,生产企业和分析机构利用该类设备做快速分析时只能选择与休闲豆干相近的产品检测模型,从而导致快速检测的结果误差大,影响设备的使用效果。本研究拟采用传统方法和热量成分检测仪分别测定休闲豆干中的蛋白质、水分、脂肪含量并建立分析模型,然后运用数学方法求得校正方程,得到相应的校正模型,旨在为利用热量成分检测仪快速、准确检测休闲豆干中蛋白质、水分、脂肪的含量提供新方法。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

休闲豆干:市售;

石油醚、浓硫酸、浓 HCl:分析纯,成都金山化学试剂有限公司;

硼酸:分析纯,天津风船化学试剂有限公司;

NaOH:分析纯,长沙风路口塑料化工厂;

95%乙醇:分析纯,成都金山化学试剂有限公司;

甲基红:指示剂,天津大茂化学试剂有限公司;

溴甲酚绿:指示剂,上海三爱化学试剂有限公司;

亚甲基蓝:指示剂,天津科密欧化学试剂有限公司;

无水 Na₂CO₃:基准试剂,上海山浦化工有限公司;

消化催化剂(含 CuSO₄、K₂SO₄):分析纯,北京盈盛恒泰科技有限责任公司。

1.1.2 主要仪器设备

移液枪:P10型,上海一恒科技有限公司;

索氏提取器:250 mL,上海实验仪器厂;

电子天平:FA2104型,上海实验仪器厂;

凯氏定氮仪:UDK139型,意大利 VELP 公司;

热量成分检测仪:CA-HM型,日本 JWP 公司;

快速水分测定仪: MJ33型,梅特勒-托利多公司。

1.2 方法

1.2.1 蛋白质含量的测定 按 GB 5009.5—2010 执行。

1.2.2 水分含量的测定 按 GB/T 5497—1985 执行。

1.2.3 脂肪含量的测定 按 GB/T 5009.5—2003 执行。

1.2.4 热量成分检测仪测定试样中各成分的含量 将热量成分检测仪打开,开机预热 30 min 后,打开电脑桌面上的 JWP 软件,选择 Prepared food 模式,加标样盘,点击开始,进行定标校准,然后加样品盘进行测定。加样时,豆干样品要铺平、铺满装样盘,每测定一个样品都要用标样进行标定,记录数据。

1.2.5 数据处理方法

$$E = |x_i - s_i|, \quad (1)$$

$$ER = E \div x_i \times 100\%, \quad (2)$$

$$K = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{s_i} \quad [19], \quad (3)$$

式中:

E ——绝对误差, g/100 g;

ER ——误差率, %;

K ——校正系数;

n ——测量组数;

x_i ——传统方法测定值(凯氏定氮法测定值、快速水分测定仪测定值、索氏提取法测定值), g/100 g;

s_i ——热量成分检测仪测定值, g/100 g。

2 结果与分析

分别采用凯氏定氮法、快速水分测定法和索氏提取法测定休闲豆干中蛋白质、水分和脂肪含量,再使用热量成分检测仪分别测定其含量,所得的模型相关性不是非常好,所以文中对所得模型进行了校正。

2.1 0.50 mol/L 盐酸标准溶液的标定

每 1 mL 盐酸滴定液相当于 53.00 mg 的无水碳酸钠,盐酸标准溶液的浓度见表 1。

2.2 蛋白质含量的检测

应用凯氏定氮法测定,发现其含量范围为 22.80 ~ 27.30 g/100 g,见表 2。经凯氏定氮法校正后所得的热量成分检测仪模型为: $y = 0.476 6x + 14.400 1$, $R^2 = 0.997 9$,见图 1。说明热量成分检测仪测定的蛋白质含量与凯氏定氮法测定的蛋白质含量存在紧密相关性,模型的拟合程度较好,建立的模型可信。

表 1 0.50 mol/L 盐酸标准溶液的标定

Table 1 0.5 mol/L hydrochloric acid standard solution calibration

样品序号	消耗盐酸 体积/mL	无水碳酸 钠质量/g	盐酸溶液浓度/ (mol · L ⁻¹)	盐酸溶液浓度平 均值/(mol · L ⁻¹)
1	34.40	0.820 0	0.451 1	
2	34.30	0.820 0	0.452 4	0.452 4
3	34.20	0.820 0	0.453 7	

表 2 休闲豆干中蛋白质含量

Table 2 The protein content in leisure dried tofu

序号	凯氏定氮法测定值/ $(10^{-2} \text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	热量成分检测仪测定值/ $(10^{-2} \text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	绝对误差/ $(10^{-2} \text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	误差率/%	校正系数 K	校正后热量成分检测仪测定值/ $(10^{-2} \text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	校正后的绝对误差/ $(10^{-2} \text{g} \cdot \text{g}^{-1})$	校正后误差率/%
1	23.80	19.50	4.30	18.07	1.22	22.43	1.38	5.80
2	23.20	18.60	4.60	19.83	1.25	21.39	1.81	7.80
3	23.50	19.20	4.30	18.30	1.22	22.08	1.42	6.04
4	24.40	21.20	3.20	13.11	1.15	24.38	0.02	0.08
5	24.60	21.40	3.20	13.01	1.15	24.61	0.01	0.04
6	24.70	21.80	2.90	11.74	1.13	25.07	0.37	1.50
7	25.30	22.70	2.60	10.28	1.11	26.11	0.80	3.16
8	25.40	23.20	2.20	8.66	1.09	26.68	1.28	5.04
9	25.10	22.40	2.70	10.76	1.12	25.76	0.66	2.63
10	25.80	23.80	2.00	7.75	1.08	27.37	1.57	6.09
11	25.80	23.70	2.10	8.14	1.09	27.26	1.45	5.62
12	25.60	23.50	2.10	8.20	1.09	27.03	1.43	5.59
13	27.00	26.40	0.60	2.22	1.02	30.36	3.36	12.44
14	27.30	26.90	0.40	1.47	1.01	30.94	3.63	13.30
15	26.90	26.30	0.60	2.23	1.02	30.25	3.35	12.45
16	26.60	25.70	0.90	3.38	1.04	29.56	2.95	11.09
17	26.70	25.90	0.80	3.00	1.03	29.79	3.09	11.57
18	26.50	25.30	1.20	4.53	1.05	29.10	2.60	9.81
19	24.90	22.10	2.80	11.24	1.13	25.42	0.52	2.09
20	24.60	21.50	3.10	12.60	1.14	24.73	0.12	0.49
21	24.40	20.90	3.50	14.34	1.17	24.04	0.37	1.52
22	24.10	20.40	3.70	15.35	1.18	23.46	0.64	2.66
23	23.90	20.10	3.80	15.90	1.19	23.12	0.79	3.31
24	23.80	19.70	4.10	17.23	1.21	22.66	1.15	4.83
25	23.10	18.40	4.70	20.35	1.26	21.16	1.94	8.40
26	23.40	18.90	4.50	19.23	1.24	21.74	1.67	7.14
27	23.20	18.50	4.70	20.26	1.25	21.28	1.93	8.32
28	22.90	17.80	5.10	22.27	1.29	20.47	2.43	10.61
29	22.80	17.40	5.40	23.68	1.31	20.01	2.79	12.24
30	22.90	17.60	5.30	23.14	1.30	20.24	2.66	11.62

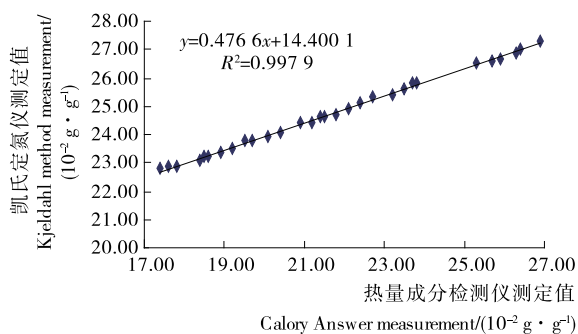


图 1 休闲豆干中蛋白质含量的凯氏定氮法测定值与热量成分检测仪测定值之间的相关性

Figure 1 The correlation of protein content between Kjeldahl method and Calory Answer measurement in leisure dried tofu

将表 2 中的 30 组数据通过式(3)计算休闲豆干中蛋白质含量的校正系数 K , 可得出 K 值主要集中在 1.08~1.22。取其平均值 1.15 作为蛋白质检测模型的校正系数 K , 其热量仪测得的蛋白质含量乘以 1.15 即为校正后的蛋白质含量。由表 2 可知, 30 组数据中有 24 组数据经校正后的绝对误差明显小于校正之前的, 更接近传统方法测定值。经校正后平均误差率由 12.67% 变为 6.44%, 减小了 6.23%。因此, 校正后模型方程为 $y = 1.15x$ (x 即热量成分检测仪测定蛋白质含量值)。

对于所建模型的优劣, 还需要对该模型进行验证, 观察其校正参数的好坏, 全面评价定标结果。

由表 2、3 可知, 校正前原模型的相对误差为 0.09, 校正后的相对误差降至 0.04, 降低了 0.05, 说明校正后的模型效果较为理想。

表3 验证分析

Table 3 Validation analysis

样品序号	凯式定氮测定值	热量仪测定值(x)	模型校正值(y)	原相对误差	校正后相对误差
1	51.20	46.20	53.13	0.10	0.04
2	51.60	46.70	53.71	0.09	0.04
3	51.70	47.00	54.05	0.09	0.05

2.3 休闲豆干中水分含量的检测

使用快速水分测定仪测定休闲豆干水分含量,发现其含量范围为36.12~51.59 g/100 g,热量仪法测定休闲豆干中水分含量的结果均大于快速水分测定仪检测结果,其中最大

误差为10.36,最小误差为6.64,见表4。误差出现的原因可能是快速水分测定仪检测水分含量时,环境、操作等因素影响测定结果,进而影响热量成分检测值与化学分析值间的关联程度。经校正后所得的热量成分检测仪模型为: $y =$

表4 休闲豆干中水分含量

Table 4 The moisture content in leisure dried tofu

序号	快速水分测定仪测定值/($10^{-2}g \cdot g^{-1}$)	热量成分检测仪测定值/($10^{-2}g \cdot g^{-1}$)	绝对误差/($10^{-2}g \cdot g^{-1}$)	误差率/%	校正系数K	校正后热量成分检测仪测定值/($10^{-2}g \cdot g^{-1}$)	校正后绝对误差/($10^{-2}g \cdot g^{-1}$)	校正后误差率/%
1	47.80	54.32	7.24	15.15	0.88	46.17	1.63	3.41
2	42.76	51.49	8.73	20.42	0.83	43.77	1.01	2.36
3	48.45	57.77	9.32	19.24	0.84	49.10	0.65	1.34
4	51.00	58.07	7.07	13.86	0.88	49.36	1.64	3.22
5	36.12	46.48	10.36	28.68	0.78	39.51	3.39	9.39
6	46.20	53.75	7.55	16.34	0.86	45.69	0.51	1.10
7	51.59	60.23	8.64	16.75	0.86	51.20	0.39	0.76
8	45.97	52.61	6.64	14.44	0.87	44.72	1.25	2.72
9	48.13	55.43	7.30	15.17	0.87	47.12	1.01	2.10
10	47.08	54.32	7.24	15.38	0.87	46.17	0.91	1.93

1.102 7x-13.529 5, $R^2=0.926 6$,见图2。

将表4中数据通过式(3)计算休闲豆干中水分含量的校正系数K,可得出K值主要集中在0.7~0.9。取其平均值0.85作为水分含量检测模型的校正系数K,其热量仪测得的休闲豆干水分含量乘以0.85,即为校正后的水分含量。由表4可知,经校正后的绝对误差明显小于校正之前的绝对误差,

更接近传统方法测定值。经校正后平均误差率由17.54%变为2.83%,减小了14.71%。因此,校正后模型方程为 $y = 0.85x$ (x即热量成分检测仪测定水分含量值)。

由表4、5可知,校正前原模型的相对误差为0.15,校正后的相对误差降至0.02,降低了0.13,说明校正后的模型效果较为理想。

2.4 休闲豆干中脂肪含量的检测

使用索氏提取法测定其脂肪含量,发现其含量范围为7.42~14.80 g/100 g,见表6。由表6可知,热量成分检测仪法测定休闲豆干中脂肪含量均大于索氏提取法测定值,其中最大误差为6.25,最小误差为4.61。误差出现的原因可能是索氏提取法检测脂肪含量时,环境、试剂等因素影响测定结果,进而影响热量成分检测仪测定值与化学分析值间的关联程度。由图3可以得出休闲豆干脂肪含量索氏提取法与热量仪测定值的回归方程为 $y = 1.146 4x - 7.662 8$, $R^2 = 0.938 0$,误差不大,相关性较好。

将表6中数据通过式(3)计算休闲豆干中脂肪含量的校正系数K,可得出K值主要集中在0.5~0.8,取其平均值0.65作为脂肪含量检测模型的校正系数K,其热量仪测得的

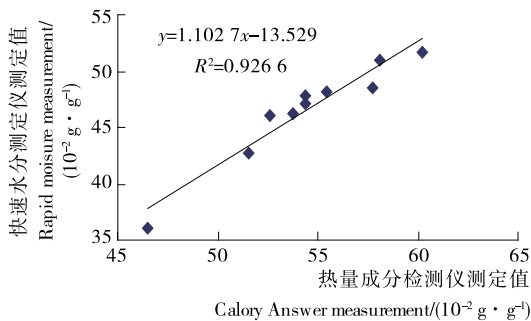


图2 休闲豆干中水分含量的快速水分测定值与热量仪测定值之间的相关性

Figure 2 The correlation of moisture content between rapid moisture tester and Calory Answer measurement in leisure dried tofu

表 5 验证分析

Table 5 validation analysis g/100 g

样品序号	快速水分测定值	热量仪测定值(x)	模型校正值(y)	原相对误差	校正后相对误差
1	49.83	57.48	48.86	0.15	0.02
2	49.53	57.27	48.68	0.16	0.02

表 6 休闲豆干中脂肪含量

Table 6 The fat content in leisure dried tofu

序号	索氏提取法测定值/(10 ⁻² g·g ⁻¹)	热量成分检测仪测定值/(10 ⁻² g·g ⁻¹)	绝对误差/(10 ⁻² g·g ⁻¹)	误差率/%	校正系数 K	校正后热量成分检测仪测定值/(10 ⁻² g·g ⁻¹)	校正后绝对误差/(10 ⁻² g·g ⁻¹)	校正后误差率/%
1	8.35	14.40	6.05	72.46	0.58	9.36	1.01	12.10
2	11.35	16.92	5.57	49.07	0.67	11.00	0.35	3.08
3	10.64	15.17	4.63	43.52	0.70	9.86	0.78	7.33
4	8.50	14.44	5.96	70.12	0.59	9.39	0.89	10.47
5	14.80	19.90	5.10	34.46	0.74	12.94	1.87	12.64
6	11.48	16.46	4.98	43.38	0.70	10.70	0.78	6.79
7	7.42	13.67	6.25	84.23	0.54	8.89	1.47	19.81
8	11.93	16.54	4.61	38.64	0.72	10.75	1.18	9.89
9	10.11	15.60	5.49	54.30	0.65	10.14	0.03	0.30
10	9.35	14.40	4.65	49.73	0.65	9.36	0.01	0.11

休闲豆干脂肪含量乘以 0.65 即为校正后的脂肪含量。由表 6 可知,经校正后的绝对误差明显小于校正之前的绝对误差,更接近传统方法测定值。经校正后平均误差率由 53.99%变为 8.25%,减小了 45.74%。因此,校正后模型方程为 $y = 0.65x$ (x 即热量成分检测仪测定脂肪含量值)。

由表 6、7 可知,校正前原模型的相对误差为 0.62,校正后的相对误差降至 0.06,降低了 0.56,说明校正后的模型效果较为理想。

3 结论

本研究以中国传统食品休闲豆干为试样,分别采用凯氏定氮法、快速水分测定法和索氏提取法测定休闲豆干中蛋白质、水分和脂肪含量,并与热量成分检测仪测定的数据进行数学分析,根据两者数据间的相关性,对分析模型进行校正。得到休闲豆干蛋白质含量在 22.80~27.30 g/100 g 范围内的回归方程为: $y = 0.4766x - 14.4001, R^2 = 0.9979$,校正后的热量成分检测仪模型为: $y_p = 1.15x$,经校正后蛋白质含量平均绝对误差减小了 1.44,平均误差率减小了 6.23%。休闲豆干水分含量在 36.12~51.59 g/100 g 范围内的回归方程为: $y = 1.1027x - 13.5295, R^2 = 0.9266$,校正后的热量成分检测仪模型为: $y_w = 0.85x$,经校正后水分含量平均绝对误差减小了 6.77,平均误差率减小了 14.71%。休闲豆干脂肪含量在 7.42~14.80 g/100 g 范围内的回归方程为: $y = 1.1464x - 7.6628, R^2 = 0.9380$,校正后的热量成分检测仪模型为: $y_f = 0.65x$,经校正后脂肪含量平均绝对误差减小了 4.49,平均误差率减小了 45.74%。经校正后休闲豆干中蛋白质、水分、脂肪含量的平均绝对误差和平均误差率都显著降低,说明校正后的方程正确率得到很大提高,校正后,热量成分检测仪可用于快速、准确地检测休闲豆干中蛋白质、水分、脂肪的含量。但本研究所得模型可能只适用于蛋白质含量、水分含量和脂

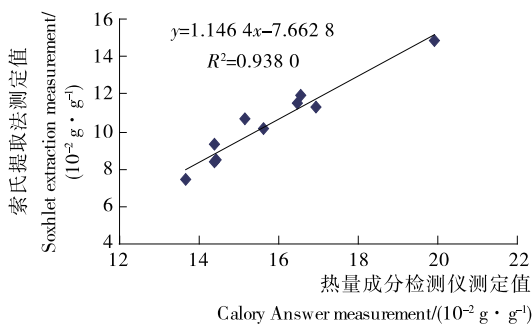


图 3 休闲豆干中脂肪含量的索氏提取法测定值与热量仪测定值之间的相关性

Figure 3 The correlation of fat content between Soxhlet extraction and Calory Answer measurement in leisure dried tofu

表 7 验证分析

Table 7 validation analysis g/100 g

样品序号	索氏提取测定值	热量仪测定值(x)	模型校正值(y)	原相对误差	校正后相对误差
1	8.55	14.18	9.20	0.66	0.08
2	9.37	14.88	9.67	0.58	0.03

肪含量范围分别为 22.80~27.30, 36.12~51.59, 7.42~14.80 g/100 g 的休闲豆干的校正, 所研究的范围有限, 需要进一步扩大研究范围和加大研究力度。

参考文献

- [1] 苏继颖. 大豆制品的营养及发展趋势[J]. 中国油脂, 2006, 31(8): 40-41.
- [2] 王中江, 江连洲, 李杨, 等. 大豆制品的营养成分及研究进展[J]. 中国食物与营养, 2010(4): 16-19.
- [3] 吕晓敏, 代养勇, 董海洲, 等. 我国大豆加工业的现状和发展趋势[J]. 中国食物与营养, 2009(12): 23-25.
- [4] 张友峰, 赵玲艳. 豆干类熟食工艺优化及防腐研究进展[J]. 农产品加工: 学刊, 2013(13): 55-57.
- [5] 卜宇芳, 李文强, 谢灵来, 等. 休闲豆腐干贮藏过程中品质变化研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(2): 115-118.
- [6] 蒋琼华, 赵良忠, 李化强, 等. 休闲豆制品贮藏期的品质变化及腐败机理研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(1): 116-119, 211.
- [7] 杨倩, 张懿, 李瑞杰. 加工条件对豆干质构的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2011, 30(5): 683-686.
- [8] 谢玲. 休闲豆腐干行业突破短板 放眼全国[N]. 中国食品报, 2011-09-13(04).
- [9] 陈金财. 休闲豆制品行业现状及未来发展方向[J]. 农产品加工: 创新版, 2009(7): 52-54.
- [10] 余有贵, 曾传广, 危兆安, 等. 邵阳风味豆干生产中过程控制的研究[J]. 食品科学, 2008, 29(12): 219-221.
- [11] 孙婷婷, 刘晔, 任占冬, 等. 基于双波长紫外吸收的乳脂肪快速测定[J]. 食品科学, 2015, 36(10): 100-104.
- [12] 孙蓉, 吴文标. 食品中蛋白质检测技术研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(23): 393-398.
- [13] WEI Qin, WU Dan, DU Bin, et al. A spectrophotometric method for determination of total proteins in cow milk powder samples using the o-nitrophenylfluorone/Mo(VI) complex[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2006, 19(1): 76-82.
- [14] 邱燕燕, 孙娟娟, 魏肖鹏, 等. 近红外法测定豆浆蛋白质、脂肪和可溶性固形物含量[J]. 中国粮油学报, 2015, 30(10): 123-126.
- [15] NCT Mariani, RCD Costa, KMGD Lima, et al. Predicting soluble solid content in intact jaboticaba [Myrciaria jaboticaba (Vell.) O. Berg] fruit using near-infrared spectroscopy and chemometrics[J]. Food Chemistry, 2014, 159(11): 458-462.
- [16] WANG Dong-ni, LARS Norgaard, MORTEN Morup. Non-linear calibration models for near infrared spectroscopy[J]. Analytica Chimica Acta, 2013, 813(2): 1-14.
- [17] SHI Ji-yong, ZOU Xiao-bo, HUANG Xiao-wei, et al. Rapid detecting total acid content and classifying different types of vinegar based on near infrared spectroscopy and least-squares support vector machine[J]. Food Chemistry, 2013, 2(1): 192-199.
- [18] 张令标, 何建国, 刘贵珊, 等. 基于可见/近红外高光谱成像技术的番茄表面农药残留无损检测[J]. 食品与机械, 2014, 30(1): 82-85.
- [19] 付秋娟, 杜咏梅, 常爱霞, 等. 烤烟叶片身份和结构与化学成分的关系及其近红外模型研究[J]. 中国烟草学报, 2009, 15(6): 41-43.
- [9] 吁继承. 用银明胶络合剂测定酒中氰化物[J]. 食品科学, 1989(1): 42-44.
- [10] 周裕敏, 田衍, 张萍. 流动注射安培法测定水中总氰化物[J]. 理化检验: 化学分册, 2014, 50(10): 1 317-1 318.
- [11] 杨俊, 陈亿展, 孟令兵, 等. 氰化物纸片快速测定食品中的氰化物[J]. 中国卫生检验杂志, 2012, 22(10): 2 325-2 327.
- [12] GIURIATI C, CAVALLI S, GORNI A, et al. Ion chromatographic determination of sulfide and cyanide in real matrices by using pulsed amperometric detection on a silver electrode[J]. Journal of Chromatography A, 2014, 1 023(1): 105-112.
- [13] 王书源, 李忠海, 付湘晋, 等. 高荧光 CdTe 量子点荧光探针测定 Cu^{2+} [J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 125-129.
- [14] 李玉美, 班睿, 谢兵, 等. 量子点在食品安全检测中的应用研究[J]. 江苏农业学报, 2015, 31(1): 222-230.
- [15] 李萌立, 李忠海, 李节, 等. 量子点荧光探针技术在食源性致病细菌检测中的应用[J]. 食品与机械, 2013, 29(5): 241-244.
- [16] AL-SABHA T N, AL-KAREMY NM. The use of 7,7',8,8'-tetracyanoquinodimethane for the spectrophotometric determination of some primary amines application to real water samples [J]. Journal of Analytical Methods in Chemistry, 2013, 2 013(1): 1-8.
- [17] LA Ming, HAO Yuan-qiang, WANG Zhao-yang, et al. Selective and sensitive detection of cyanide based on the displacement strategy using a water-soluble fluorescent probe[J]. Journal of Analytical Methods in Chemistry, 2016, 2016(1): 1-6.
- [18] HAO Yuan-qiang, CHEN Wan-song, Wang Li-qiang. A retrievable, water-soluble and biocompatible fluorescent probe for recognition of Cu(II) and sulfide based on a peptide receptor[J]. Talanta, 2015, 143(23): 307-314.
- [19] ZHOU Bin-bin, LI Chun-lan, LIU You-nian, et al. Ferrocene tripeptide Gly-Pro-Arg conjugates: synthesis and inhibitory effects on alzheimer's $\text{A}\beta_{1-42}$ fibrillogenesis and $\text{A}\beta$ -induced cytotoxicity in vitro [J]. Bioorganic & Medicinal Chemistry, 2013, 21(11): 395-402.
- [20] GEE H-C, LEE C-H, JEONGY-H, et al. Highly sensitive and selective cyanide detection via Cu^{2+} complex ligand exchange [J]. Chem. Commun., 2011, 47(43): 11 963-11 965.
- [21] JUNG H S, HAN J H, KIMZ H, et al. Coumarin-Cu(II) ensemble-based cyanide sensing chemodosimeter[J]. Org. Lett., 2011, 13(19): 5 056-5 059.

(上接第 47 页)