

ICP—AES 法同时测定新疆红枣中的 12 种元素

Determination of twelve elements in jujube by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP—AES)

陈 恺 李瑾瑜 李 琼 李焕荣

CHEN Kai LI Jin-yu LI Qiong LI Huan-rong

(新疆农业大学食品科学与药学学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

(College of Food Science and Pharmacy, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052, China)

摘要:利用湿法消解分别处理新疆地区 3 个品种的红枣样品,采用电感耦合等离子体发射光谱法测定红枣中 Na、Mg、Al、K 等 12 种元素的含量。该方法的相关系数 $r > 0.998$;元素测定除个别值外, RSD 均小于 5%。结果表明:新疆红枣中的矿物质元素含量丰富,尤以 K ($> 12\,277\ \mu\text{g/g}$), Ca ($> 785\ \mu\text{g/g}$), Mg ($> 646\ \mu\text{g/g}$), Na ($425\ \mu\text{g/g}$), Al ($> 179\ \mu\text{g/g}$), Fe ($> 22\ \mu\text{g/g}$) 含量较高,阿克苏骏枣和哈密大枣的 K 和 Fe 含量均高于其他地区品种的枣。

关键词:红枣;微量元素;电感耦合等离子体发射光谱法;湿法消解

Abstract: A method was developed using ICP—AES for the simultaneous determination on the content of trace heavy metals including Na, Mg, Al, K, etc in 3 species of jujube of Xin Jiang district. The correlation index of method was greater than 0.998; Determination of elements in addition to the individual value, RSD is less than 5%. The results showed that: xingjiang jujube had rich mineral elements content, which especially in K ($> 12\,277\ \mu\text{g/g}$), Ca ($> 785\ \mu\text{g/g}$), Mg ($> 646\ \mu\text{g/g}$), Na ($425\ \mu\text{g/g}$), Al ($> 179\ \mu\text{g/g}$), Fe ($> 22\ \mu\text{g/g}$) content is higher, the K and Fe content of Aksu jun jujube and Hama jujube were higher than other areas and varieties of jujube.

Keywords: jujube; trace elements; inductively coupled plasma atomic emission spectrometry(ICP—AES); HNO_3 digestion

枣(ziziphus jujuba mill)为鼠李科枣属植物,是中国特有的果树资源和独具特色的优势果树树种,也是中国当今第一大干果。截至 2013 年底,新疆红枣种植面积达 $4.7 \times 10^5\ \text{hm}^2$ ^[1],约占中国总种植面积的 1/3。由于红枣栽培地域广泛,品种繁多,红枣营养成分及含量(尤其是鲜枣)差异很

大^[2]。红枣的药理作用与其含有丰富的蛋白质、氨基酸、维生素、黄酮类物质、环磷酸腺苷以及微量元素有着密切的关系^[3]。微量元素在人体内不仅能促进机体合成生命活动所需的物质,提高生命质量,而且还能提高酶的活性,增强机体的免疫功能^[4],因此,研究不同产地红枣中微量元素的差异,对于解释红枣的临床应用机理、评定与鉴别红枣的品质等具有重要意义。

元素分析是食品分析的重要内容^[5-9]。目前检测枣中微量元素的方法主要是原子吸收光谱法^[10,11],也有学者用电感耦合等离子体质谱法^[12],原子吸收光谱法仅能对单一元素逐一进行分析,检测所需样品量大。电感耦合等离子体质谱法虽然结果满意,但是设备昂贵,对仪器操作和设备维护要求较高;电感耦合等离子体发射光谱法(ICP—AES)是近年来备受青睐的元素测定方法,具有样品制备简单、分析速度快、动态线性范围宽、精密度高、能同时快速检测多个元素等特点^[13,14],广泛应用于食品、生物制品和水质分析等方面的研究。本研究拟采用湿法消解,结合 ICP—AES 对新疆不同地区红枣栽培品种(灰枣、哈密大枣和骏枣)的 Na、Mg、Al、K、Ca、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Cd 等无机元素进行测定并分析其差异性,旨在为新疆红枣的营养价值与安全性提供理论数据,并为其营养功能的进一步开发研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

灰枣:分别来自阿克苏地区、和田地区;

骏枣:分别来自哈密地区、和田地区和阿克苏地区;

哈密大枣:来自哈密地区;

以上红枣均于脆熟全红期采摘,每个品种选取优级枣 1 kg。

基金项目:新疆农业大学校前期资助课题(编号:XJAU201223)

作者简介:陈恺(1985—),男,新疆农业大学实验师,硕士。

E-mail:chenk117@sohu.com

通讯作者:李焕荣

收稿日期:2014—09—21

1.1.2 主要试剂

Na、Mg、Al、K、Ca、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Cd 元素标准储备液:1 000 μg/mL,国家有色金属及电子材料分析测试中心;

HNO₃、HClO₄:优级纯,天津市元立化工有限公司;
试验用水:超纯水(18.2 MΩ·cm),本实验室自制。

1.2 仪器与设备

电感耦合等离子体发射光谱仪:ICP-7510 型,岛津企业管理(中国)有限公司;
石墨消解仪:SH220 型,济南海能仪器股份有限公司;
电子天平:AL204-IC,梅特勒—托利多仪器有限公司;
恒温干燥箱:PHG-9140A 型,上海一恒科学仪器有限公司;
优普超纯水处理系统:UPHW-I90T,成都超纯科技有限公司;

超声波发生器:JPCQ1028 型,武汉嘉鹏电子有限公司;
研磨机:IKA200 型,德国 IKA 公司;

所有玻璃器皿洗净后,均用体积比为 1:10(HNO₃:水)的硝酸溶液浸泡过夜,然后用超纯水浸泡、冲洗。

1.3 方法

1.3.1 样品制备 样品经蒸馏水洗净,用超纯水进一步清洗,切分去核,于 80℃ 恒温干燥箱中烘干至恒重,粉碎过筛,置于干燥器备用。

工作液配制:用体积比为 1:50(HNO₃:水)的硝酸溶液逐级稀释。

1.3.2 样品处理 分别准确称取粉碎枣粉 3 g,置于 200 mL 高温消化管中,分别加入 40 mL 混酸溶液(HClO₄:HNO₃=1:4),连接密封装置后,置于石墨消化炉上,100℃ 加热消化 1 h,待大量黄烟冒尽后,再升高温度(150℃)至大量白烟生成,继续消化 1 h,去密封装置赶酸,溶液剩余 2~3 mL 为消化完全。消化液转入容量瓶,超声溶解 30 min,定容至 50 mL,待测。每样做 3 个平行,同时制作空白溶液。

1.3.3 ICP—AES 工作参数 高频输出功率 1.2 kW,冷却气流量 14 L/min,等离子气流量 1.2 L/min,载气流量 0.7 L/min,进样:同心雾化器、标准矩管、径向观测。

1.3.4 标准曲线的制作 参照赵燕等^[15]的测定方法,取标准储备液,用体积比为 1:50(HNO₃:水)的硝酸稀释成不同浓度的混合标准系列。以体积比为 1:50(HNO₃:水)的硝酸为空白,在选定的仪器操作条件下对标准溶液进行测定并绘制标准曲线。

2 结果与分析

2.1 分析谱线的选择

样品中各分析元素在 ICP 光源的激发下会发射出大量谱线,因此在各个元素测定时可选择多条特征谱线,每条谱线都会受到不同程度的干扰。ICP—AES 具有自动背景校正功能。本试验选取 2~3 条特征谱线,根据综合分析选择谱线干扰少,信噪比高、背景浓度低、灵敏度高的最适谱线,结果见表 1。

表 1 各元素最适分析波长

Table 1 Analytical wavelengths of elements

元素	波长/nm	元素	波长/nm
Na	589.592	Fe	259.940
Mg	279.553	Co	228.616
Al	396.153	Ni	231.604
K	766.491	Cu	327.396
Ca	393.366	Zn	213.856
Mn	257.610	Cd	226.502

2.2 标准曲线和线性方程

按 1.3.4 分别配制 0.3、3.0、30.0、60.0、100.0 μg/mL 标准溶液,并以体积比为 1:10(HNO₃:水)的硝酸溶液为标准空白,按照 1.3.3 的仪器参数测定,以质量浓度 C(μg/mL)为纵坐标,信号强度 A(Cts/s)为横坐标,绘制标准曲线并得出回归方程和相关系数,结果见表 2。

由表 2 可知,各元素标准曲线方程的相关系数分别在 0.998 以上,说明标准曲线的线性关系良好,方法符合精度标准为 0.998 以上的要求。

2.3 各元素的检出限和精密度

用空白连续进样测定 10 次,以其结果标准偏差的 3 倍对应的浓度计算各元素的检出限(LOD)和精密度,结果见表 3。

表 2 各元素含量标准曲线

Table 2 Element standard curve

元素	回归方程	相关系数
Na	$C=2.6846 \times A-1.6158$	0.9999
Mg	$C=1.2435 \times 10^{-2}A-0.8854$	0.9986
Al	$C=9.6106 \times 10^{-1}A-0.9932$	0.9999
K	$C=3.7161 \times 10^2A-4.2257$	0.9999
Ca	$C=4.4706 \times 10^{-3}A-1.0542$	0.9987
Mn	$C=3.4268 \times 10^{-2}A-0.3157$	0.9998
Fe	$C=1.7280 \times 10^{-1}A-0.3001$	0.9999
Co	$C=2.9593 \times 10^{-1}A-0.3733$	0.9998
Ni	$C=4.3491 \times 10^{-1}A-0.3981$	0.9998
Cu	$C=4.3278 \times 10^{-1}A-0.3452$	0.9999
Zn	$C=1.0852 \times 10^{-1}A-0.2774$	0.9999
Cd	$C=1.3567 \times 10^{-1}A-0.1322$	0.9999

表 3 各元素的检出限和精密度

Table 3 Detection limit, precision of each elements

元素	检出限/ ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)	标准偏差 (S)	相对标准偏差 RSD/%
Na	0.004 5	0.001 5	0.42
Mg	0.090 0	0.030 0	5.04
Al	0.005 4	0.001 8	0.57
K	0.000 3	0.000 1	0.20
Ca	0.569 4	0.189 8	0.57
Mn	0.008 7	0.002 9	0.91
Fe	0.003 9	0.001 3	0.40
Co	0.003 0	0.001 0	0.32
Ni	0.003 0	0.001 0	0.31
Cu	0.004 2	0.001 4	0.41
Zn	0.003 0	0.001 0	0.28
Cd	0.003 6	0.001 2	0.35

2.4 新疆不同地区红枣中元素的测定结果

按照 1.3.2 处理 5 种枣样品,采用 ICP—AES 进行结果测定,并分别加入 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 各标准溶液计算回收率,测定结果见表 4。

由表 4 可知,除个别地区的 Co 和 Ni 外,其余元素测定值的相对标准偏差 RSD 均小于 5%,表明本试验方法的测定结果精密度良好,各元素的加标回收率为 97.7%~103.3%,结果比较理想。由 DPS 数据处理软件进行显著性差异分析可知,哈密大枣富含 K、Ca、Co,而 Mn 含量较低;阿克苏灰枣 K、Ni 含量低,Cu 含量较高;阿克苏骏枣富含 Mn、Fe、Cu;哈密骏枣富含 Mn、Fe、Zn;和田骏枣富含 Co,而 K、Ca、Cu 含量较低。综合分析,以地区为指标,哈密地区红枣中除 Na 外的常量元素(K、Ca、Mg)和微量元素(Fe、Zn、Cu、Mn)含量相对其他地区较高;以红枣品种为指标,各品种的常量元素 K 含量最高,微量元素中 Fe 含量最高,3 个红枣品种间微量元素含量测定对比由高到低顺序为骏枣>哈密大枣>灰枣。

表 4 样品中微量元素含量[†]

Table 4 Samples of trace element in the content ($n=3$)

样品	Na			Mg			Al			K		
	平均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	RSD/ %	回收 率/%	平均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	RSD/ %	回收 率/%	平均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	RSD/ %	回收 率/%	平均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	RSD/ %	回收 率/%
	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	%	率/%	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	%	率/%	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	%	率/%	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	%	率/%
和田骏枣	715.117 4 ^{Aa}	0.170 8	98.5	740.177 9 ^{Bb}	0.229 7	99.8	210.3486 ^a	4.062 5	97.7	12 871.053 2 ^{Bb}	1.431 1	98.9
阿克苏骏枣	695.904 7 ^{Aa}	1.847 7	99.6	670.926 6 ^{Cc}	4.000 4	98.7	190.225 6 ^{ab}	4.639 5	99.8	15 007.996 5 ^{Aa}	2.048 1	99.3
阿克苏灰枣	565.385 4 ^{Bc}	1.531 6	100.1	646.392 7 ^{Cd}	3.490 9	100.4	194.679 1 ^{ab}	2.380 4	100.2	12 277.344 3 ^{Bb}	1.397 7	99.7
哈密骏枣	596.639 3 ^{Bb}	2.222 4	99.6	704.069 6 ^{BbCc}	1.043 8	101.8	204.704 8 ^{ab}	0.868 2	97.8	14 033.593 8 ^{Aa}	4.546 8	100.4
哈密大枣	425.886 5 ^{Cd}	4.136 1	102.5	815.923 9 ^{Aa}	1.431 9	98.8	179.855 2 ^b	1.548 4	99.6	14 970.649 7 ^{Aa}	3.058 9	97.9
样品	Ca			Mn			Fe			Co		
	平均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	RSD/ %	回收 率/%	平均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	RSD/ %	回收 率/%	平均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	RSD/ %	回收 率/%	平均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	RSD/ %	回收 率/%
	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	%	率/%	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	%	率/%	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	%	率/%	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	%	率/%
和田骏枣	785.501 1 ^{Bc}	0.844 7	96.8	5.096 5 ^{Bc}	1.763 6	99.7	23.185 7 ^{Cc}	5.011 2	100.5	0.270 6 ^{Aa}	2.857 3	101.2
阿克苏骏枣	976.158 5 ^{Ab}	4.148 2	97.6	6.606 3 ^{Ab}	3.190 9	99.4	32.038 1 ^{Aa}	1.433 7	99.8	0.071 4 ^{Bc}	3.084 5	100.5
阿克苏灰枣	993.844 7 ^{Ab}	3.962 0	98.5	4.692 2 ^{Bcd}	1.574 3	102.3	22.810 0 ^{Cc}	2.689 4	99.7	0.140 0 ^{Bb}	4.905 9	100.8
哈密骏枣	1 111.411 6 ^{Aa}	1.859 0	97.9	6.978 3 ^{Aa}	0.252 1	98.7	29.819 2 ^{AaBb}	1.854 4	98.6	0.112 5 ^{Bbc}	2.001 9	101.8
哈密大枣	1 000.262 5 ^{Ab}	3.836 1	99.8	4.436 7 ^{Cd}	3.947 4	100.6	26.577 3 ^{BbC}	3.899 4	102.3	0.304 6 ^{Aa}	6.002 2	99.8
样品	Ni			Cu			Zn			Cd		
	平均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	RSD/ %	回收 率/%	平均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	RSD/ %	回收 率/%	平均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	RSD/ %	回收 率/%	平均值/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	RSD/ %	回收 率/%
	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	%	率/%	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	%	率/%	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	%	率/%	($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)	%	率/%
和田骏枣	1.632 3 ^{Aa}	1.254 8	99.7	3.190 8 ^{Cc}	0.998 7	100.8	3.900 9 ^{Dd}	2.944 2	99.6	未检出	0	100.7
阿克苏骏枣	1.585 5 ^{AaB}	2.728 8	98.6	5.167 2 ^{Aa}	0.712 1	103.2	8.234 0 ^{Bb}	1.407 1	98.8	未检出	0	99.8
阿克苏灰枣	5.075 0 ^{Bb}	4.771 2	97.8	1.251 1 ^{Aa}	1.708 0	101.5	8.116 5 ^{Bb}	1.627 3	99.5	未检出	0	97.8
哈密骏枣	1.442 6 ^{AaBb}	2.094 8	99.7	4.597 7 ^{Bb}	0.256 0	100.4	8.735 8 ^{Aa}	0.633 5	100.6	未检出	0	101.1
哈密大枣	1.701 2 ^{Aa}	7.936 9	100.7	4.596 9 ^{Bb}	3.015 9	102.7	7.099 9 ^{Cc}	2.808 2	101.4	未检出	0	102.8

[†] 同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。

3 结论

本试验测定了新疆不同地区的3个主栽品种的枣果微量元素。结果表明,红枣中的矿物质元素含量丰富,尤以K($>12\,277\,\mu\text{g/g}$),Ca($>785\,\mu\text{g/g}$),Mg($>646\,\mu\text{g/g}$),Al($>179\,\mu\text{g/g}$),Fe($>22\,\mu\text{g/g}$),Na($425\,\mu\text{g/g}$)含量较高,这和杨艳杰等^[3]对不同红枣中微量元素含量测定结果保持一致。其中阿克苏骏枣和哈密大枣的K含量均高于其他地区 and 品种的枣,也和张艳红等^[12]的研究结果相一致。

中国GB 2762—2012中规定的Cd在水果及其制品中限量指标 $<0.05\,\text{mg/kg}$,本试验所测定样品是 $80\,^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重的红枣干样,Cd含量均低于检出限。新疆不同地区的红枣中常量元素K、Ca、Mg、Na等含量均丰富,不同地区红枣栽培品种的微量元素含量相差较大,这可能与当地的土壤环境以及施肥、农药使用等状况有关,各个地区的红枣主栽品种中的矿质元素含量与土壤矿物质含量、红枣成熟度等的相关性有待进一步研究。通过湿法消解,结合ICP—AES法测定红枣中矿质元素的含量,红枣中含有丰富的矿质元素,可作为补充人体矿物质的膳食来源,具有较高的营养价值。

参考文献

- 新疆维吾尔自治区统计局. 新疆统计年鉴 2012[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- 王军, 张宝善, 陈锦屏, 等. 红枣营养成分及其功能的研究[J]. 食品研究与开发, 2003, 24(2): 68~72.
- 杨艳杰, 何弘水. 不同品种红枣中微量元素的分析[J]. 光谱实验室, 2008, 25(3): 484~486.
- 李志洲, 陈均志. 红枣中微量元素含量的测定[J]. 光谱实验室, 2007, 24(2): 109~112.
- Marczenko Z, Freiser H. Spectrophotometric determination of trace elements[J]. Critical Reviews in Analytical Chemistry, 1981, 11(3): 195~260.
- Duyck C, Miekeley N, Porto da Silveira C L, et al. The determination of trace elements in crude oil and its heavy fractions by atomic spectrometry[J]. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 2007, 62(9): 939~951.
- Zhu Zhen-li, Liu Ji-xin, Zhang Si-chun, et al. Determination of Se, Pb, and Sb by atomic fluorescence spectrometry using a new flameless, dielectric barrier discharge atomizer[J]. Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy, 2008, 63(3): 431~436.
- Bianchi F, Maffini M, Mangia A, et al. Experimental design optimization for the ICP—AES determination of Li, Na, K, Al, Fe, Mn and Zn in human serum[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2007, 43(2): 659~665.
- Ashoka S, Peake B, Bremner G, et al. Comparison of digestion methods for ICP—MS determination of trace elements in fish tissues[J]. Analytica Chimica Acta, 2009, 653(2): 191~199.
- 朱明扬, 余莲芳, 任欢, 等. 8种干制水产品中7种金属元素含量的检测分析[J]. 食品与机械, 2012, 28(6): 99~102.
- 张艳红, 陈兆慧, 王德萍, 等. 红枣中氨基酸和矿质元素含量的测定[J]. 食品科学, 2008, 29(1): 263~266.
- 叶嘉荣, 任露陆, 郭新东, 等. 微波消解—电感耦合等离子体质谱法测定水果中19种元素[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 76~79.
- 李淳, 李双石, 章宇宁. 不同品种葡萄皮渣中常量元素和微量元素的测定[J]. 食品与机械, 2013, 29(6): 59~62.
- 叶润, 刘芳竹, 刘剑, 等. 微波消解—电感耦合等离子体发射光谱仪测定大米中铜、锰、铁、钙、镁、钾、钠8种元素[J]. 食品科学, 2014, 35(6): 117~120.
- 赵燕, 李鑫, 李建科, 等. 电感耦合等离子体发射光谱法测定铅法皮蛋中的多种无机元素[J]. 食品科学, 2010, 31(24): 337~340.
- (上接第74页)
- 田高友, 袁洪福, 刘慧颖, 等. 小波变换用于近红外光谱性质分析[J]. 分析化学, 2004, 32(09): 1125~1130.
- 郝勇, 陈斌, 朱锐. 近红外光谱预处理中几种小波消噪方法的分析[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(10): 1838~1841.
- Haughey S A, Graham S F, Cancouët E, et al. The application of near-infrared reflectance spectroscopy(NIRS) to detect melamine adulteration of soya bean meal[J]. Food Chemistry, 2013, 136(3~4): 1557~1561.
- Deeruyenaere V, Froidmont E, Bartiaux-Thill N, et al. Faecal near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) compared with other techniques for estimating the in vivo digestibility and dry matter intake of lactating grazing dairy cows[J]. Animal Feed Science and Technology, 2012, 173(3~4): 220~234.
- Dalle Zotte A, Berzaghi P, Jansson LM, et al. The use of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) in the prediction of chemical composition of freeze-dried egg yolk and discrimination between different n-3 PUFA feeding sources[J]. Animal Feed Science and Technology, 2006, 128(1~2): 108~121.
- 张华秀, 李晓宁, 范伟, 等. 近红外光谱结合 Boosting-PLS 快速检测奶粉中蛋白质含量[J]. 计算机与应用化学, 2010, 27(9): 1197~1200.
- Aoyama S, Toshima T, Saito Y, et al. Maternal breast milk odour induces frontal lobe activation in neonates: A NIRS study[J]. Early Human Development, 2010, 86(9): 541~545.
- Brunet D, Woignier T, Lesueur-Jannoyer M, et al. Determination of soil content in chlordecone (organochlorine pesticide) using near infrared reflectance spectroscopy (NIRS)[J]. Environmental Pollution, 2009, 157(11): 3120~3125.
- Bruno-Soares AM, Murray I, Paterson RM, et al. Use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for the prediction of the chemical composition and nutritional attributes of green crop cereals[J]. Animal Feed Science and Technology, 1998, 75(1): 15~25.
- 张仲源, 刘静, 管晓, 等. 近红外光谱分析技术在食品检测中的应用研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2011, 37(11): 159~165.