

# 同位素稀释电感耦合等离子体质谱法测定食品中的碘

万渝平<sup>1</sup>, 潘红红<sup>1</sup>, 洗燕萍<sup>2</sup>, 梁润<sup>1</sup>, 李绍波<sup>1</sup>, 罗东辉<sup>2</sup>, 郭新东<sup>2</sup>

(1. 成都市产品质量监督检验院, 四川成都 610041) (2. 广州市质量监督检测研究院, 广东广州 510110)

**摘要:** 采用同位素稀释法结合密封玻璃管的提取技术, 建立了准确、灵敏的食品样品中碘的电感耦合等离子体质谱法 (ID-ICP-MS) 分析方法。样品中添加碲 ( $^{128}\text{Te}$ ) 同位素内标, 以四甲基氢氧化铵 (TMAH) 为提取液, 采用烧结玻璃试管密封, 水浴振荡浸提样品中的碘, 电感耦合等离子体质谱法测定, 同位素稀释内标法定量。结果表明, 碘在  $0.025\ \mu\text{g/L}$ ~ $50\ \mu\text{g/L}$  范围内线性线性关系良好, 相关系数为 0.9999, 线性方程为  $y=1.0506x+1.2511$ ; 当取样质量为 0.1 g 时, 方法的检出限为  $1.8\ \mu\text{g/kg}$ ; 在 2.50、5.00 和  $10.00\ \text{mg/kg}$  3 个低、中、高添加水平, 加标回收率在 80.29~104.70% 之间, 方法相对偏差小于 5.0%; 通过对海带标准物质 GBW08517 的测定, 表明测定值与标准值之间无显著性差异。本方法简便、准确、灵敏度高, 适用于多类食品中碘含量的测定。

**关键词:** 电感耦合等离子体质谱法; 同位素稀释法; 食品; 碘

文章编号: 1673-9078(2013)10-2528-2532

## Determination of Iodine in Food by Isotope Dilution Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

WAN Yu-ping<sup>1</sup>, PAN Hong-hong<sup>1</sup>, XIAN Yan-ping<sup>2</sup>, LIANG Run<sup>1</sup>, LI Shao-bo<sup>1</sup>, LUO Dong-hui<sup>2</sup>, GUO Xin-dong<sup>2</sup>

(1.Chengdu Product Quality Supervision and Inspection Institute, Chengdu 610041, China)

(2.Guangzhou Quality Supervision and Testing Institute, Guangzhou 510110, China)

**Abstract:** A method for the determination of iodine in food by isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry (ID-ICP-MS) was established, combined with sealed glass tube extraction technology. After addition of the isotopic labeled Tellurium ( $^{128}\text{Te}$ ) and tetramethyl ammonium hydroxide (TMAH) as extraction solution into a sealed glass tube, the homogenized sample was shocked in a water bath to obtain an extract suitable for analysis by ICP-MS, and the internal standard was used for quantitative analysis. Under the optional conditions, the linear range was between  $0.025\ \mu\text{g/L}$  and  $50\ \mu\text{g/L}$  with the linear correlation coefficients of 0.9999, and the linear equation was  $y = 1.0506x + 1.2511$ . The detection limit was  $1.8\ \mu\text{g/kg}$  when the sample mass was 0.1 g. The mean recoveries for food samples at three spiked concentrations levels of 2.50, 5.00 and  $10.00\ \text{mg/kg}$  were ranged from 80.29% to 104.70% with relative standard deviation (RSD,  $n=6$ ) less than 5.0%. The ID-ICP-MS method for determination of the iodine in standard material GBW08517 of kelp presented no significant differences between measured values and certified values. Due to the simplicity, accuracy and high sensitivity, this method was suitable for the determination of iodine in various of food.

**Key words:** inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS); isotope dilution analysis; food; iodine

碘是人类发现的第二个生物必需微量元素, 不仅可以调节机体的物质代谢, 对机体的生长发育也具有非常重要的作用。适量的碘可供应人体合成生长发育

收稿日期: 2013-05-17

基金项目: 国家重大科学仪器设备开发专项 (2012YQ090167), 四川省科技支撑计划项目 (2012GZ0118)

作者简介: 万渝平 (1967-), 女, 高级工程师, 研究方向为食品及食品相关产品分析技术研究

通讯作者: 郭新东 (1976-), 男, 博士, 教授级高工, 研究方向为食品及食品相关产品分析技术研究

所必需的甲状腺激素, 碘缺乏可引起甲状腺功能低下, 但碘摄入过量也会对健康造成一定的危害, 导致甲状腺肿大、碘中毒等疾病<sup>[1]</sup>。WHO 规定了青少年和成人每天所需的碘量为  $150\ \mu\text{g}$ , 而人体所需的碘主要来源于食品, 因此建立可靠的食品中碘的测定方法尤为重要。

目前, 食品中碘的测定方法主要有化学分析法<sup>[2]</sup>、光度法<sup>[3~4]</sup>、电化学分析法<sup>[5]</sup>、色谱分析法<sup>[6~8]</sup>和电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS)<sup>[9~17]</sup>等。化学分析方法操作繁琐, 误差大, 灵敏度和选择性不够理想; 吸

光光度法, 由于显色反应不够稳定或碘易损失而产生较大的误差, 灵敏度和选择性也不高; 电化学分析法可以实现快速分析, 灵敏度高、选择性好, 但是离子选择电极法要求在整个测定过程中保持温度恒定, 否则易产生较大误差; 气相色谱法<sup>[8]</sup>需要对样品进行衍生, 操作较复杂且局限性大, 仅适用于奶粉和配方食品中碘的测定; 电感耦合等离子体质谱分析技术

(ICP-MS) 在检测无机微量元素方面具有灵敏度高、检出限低、快速、准确等优点, 在食品、地质、化工等领域被广泛应用<sup>[9]</sup>, 国外早已应用 ICP-MS 方法测定奶粉、鱼肉等食品中的碘<sup>[10-14]</sup>, 而国内尚处于起步阶段, 刘丽萍等<sup>[15]</sup>和吕超等<sup>[16]</sup>采用四甲基氢氧化铵 (TMAH) 和过氧化氢提取, 以碲 ( $^{128}\text{Te}$ ) 为内标, 分别建立了乳制品与饮料、啤酒及果汁中碘含量的 ICP-MS 测定方法; 郑聪等<sup>[17]</sup>采用 TMAH 提取, 以碲为内标, 建立了 ICP-MS 测定食用藻类植物中碘含量的方法。但是, 食品基体复杂, 种类繁多, 食品中碘主要以无机碘 (碘酸盐、碘化物)、有机碘 (如碘代氨基酸) 等多种形态存在, 碘的不同形态及其易挥发、不稳定、易污染等因素使碘的分析变得复杂, 如果操作不当, 将影响检测结果的准确性和重现性, 因此样品的前处理成为了能否准确测定碘含量的关键之一。有研究表明<sup>[17]</sup>, 采用聚四氟乙烯和氟化乙丙烯等塑料容器提取, 会对碘有吸附作用, 易产生交叉污染, 而且容器的密闭性也是关系到碘是否挥发损失的关键。针对此, 本文采用烧结密封玻璃试管, 水浴振荡提取样品中的待测物, 很好地解决了样品前处理中碘易挥发损失的难题, 玻璃管为一次性使用, 有效避免了交叉污染, 使流程空白显著降低; 同时, 通过正交试验优化前处理条件, 以及优化仪器条件, 建立了同位素稀释电感耦合等离子体质谱法测定高盐、高糖、高脂肪等不同类别食品中碘含量方法。实验结果表明所建方法简便、快速、准确, 可适用于多类食品中碘的测定。

## 1 仪器与试剂

### 1.1 仪器

XSERIES2 电感耦合等离子体质谱仪, 美国 Thermo 公司; ML204 分析天平, 美国 METTLER TOLEDO 公司; SW22 恒温水浴振荡器, 德国 JULABO 公司; Milli-Q 超纯水处理系统, 美国 Millipore 公司; Allegra X-22R Centrifuge 高速离心机, 美国 Beckman 公司; 10 mL 玻璃试管, 北京玻璃仪器厂; 膜过滤器, 孔径 0.45  $\mu\text{m}$ , 与注射器相连使用。

本实验器皿均用 10%  $\text{HNO}_3$  中浸泡过夜, 再在 2% 四甲基氢氧化铵 (TMAH) 中超声清洗 2 h。

### 1.2 试剂

碘标准储备溶液 (1000.0 mg/L, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); 碲标准储备溶液 (1000.0 mg/L, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); 海带标准品 (GBW08517, 国家海洋局第二海洋研究所); 实验用水均为超纯水 (>18  $\text{M}\Omega/\text{cm}$ )。

25% 四甲基氢氧化铵 (TMAH) 溶液: 称取 125 g TMAH, 加入 500 mL 超纯水, 碘的含量应低于 1  $\mu\text{g}/\text{L}$ ;  
1% TMAH 溶液: 移取 4 mL 25% TMAH 溶液至 100 mL 容量瓶中, 超纯水定容。

### 1.3 标准溶液的配制

碘标准使用液 (10.0 mg/L): 准确移取 1.0 mL 浓度为 (1000.0 mg/L) 的碘储备液于 100 mL 棕色容量瓶中, 超纯水定容。实验中工作曲线采用 10.0 mg/L 碘标准使用液逐级稀释制备。

碲标准使用液 (50.0 mg/L): 准确移取 5.0 mL 浓度为 (1000.0 mg/L) 的碲储备液于 100 mL 容量瓶中, 超纯水定容。

### 1.4 样品处理

准确称取 0.1 g~0.3 g 样品于 10 mL 玻璃试管中, 加入碲标准使用液 (50.0 mg/L) 250  $\mu\text{g}$ , 加入 6.0 mL 去离子水, 混匀, 防止结块, 加入 1.0 mL 25% TMAH 溶液, 混匀, 烧结密闭容器, 置于 80  $^\circ\text{C}$ 、振荡频率为 60 Hz 的恒温水浴振荡器中振荡加热 3 h。取出冷却至室温后, 将样品定量转移至 25 mL 具塞比色管中, 用超纯水定容后, 振摇 30 min。样品溶液经 0.45  $\mu\text{m}$  膜过滤。此提取液中含 1% TMAH, 在 24 h 内上机测试。同时做试剂空白。

## 2 结果与讨论

### 2.1 干扰与校正

质谱干扰与校正由 Thermo-Elementa XSERIES2 电感耦合等离子体质谱仪操作软件提供的质谱干扰系数自动进行校正。对于高盐食品, 在检测时常会出现较严重的非质谱干扰, 如影响雾化效率、盐在锥口沉积而产生锥口效应和样品基体形成的空间电荷效应等, 为了消除这些非质谱干扰, 本实验选择耐盐性较高的锥口 (采样锥孔径 1.0 mm, 截取锥孔径 0.7 mm), 有利于保持信号平衡; 同时采用基体匹配方式, 即采用

样品基质校正标准溶液或在标准溶液中加入相同浓度的 NaCl。

## 2.2 仪器工作条件的优化

表1 ICP-MS 仪器工作条件

Table 1 Operating Conditions for ICP-MS

工作参数	设定值	工作参数	设定值
发射功率/W	1400	测定方式	跳峰
冷却气流量/(L/min)	13.0	扫描次数	60
辅助气流量/(L/min)	0.70	停留时间/s	30
雾化气流量/(L/min)	0.91	每个质量通道数	2
截取锥孔径/mm	0.7	样品间隔冲洗时间/s	10
采样锥孔径/mm	1.0	分析元素	127I

用 10.0 μg/L 的 Sc、Ge、Y、In、Tb 和 Bi 调试仪器，观察灵敏度、调 PPA 因子，符合要求后，保存调谐参数。为了满足不同基质食品的检测要求（如有些样品含有较多的有机质），本实验设定较高的 ICP-MS 发射功率（1400 W），通过对海带标准物质 GBW08517 的分析，证明该发射功率能满足检测要求。此外，鉴于 ICP-MS 会产生记忆效应，本实验在样品测定的间隔使用 0.25% TMAH 溶液清洗进样系统 10 s，与蒸馏水清洗相比，更有效降低样品之间碘背景信号的干扰，数据重现性好。优化后的仪器操作条件参数列于表 1。

## 2.3 实验条件的选择

对食品中碘的提取，常用碱提法，一般以氨水、氢氧化钾溶液或强碱 TMAH 溶液为提取溶剂。为了建立一个可以适合不同种类基质食品的通用提取方法，本实验选用 25% TMAH 溶液作为提取溶剂。提取溶剂的用量应该控制在样品提取液不粘稠为宜，考虑到一些干试样易结块而降低提取率，本实验以试验对比的方式确认，当干湿样品称取量为 0.1 g~0.3 g 时，加入 6.0 mL 去离子水混匀，可以有效防止干试样结块，使最终的提取液粘度适合，同时也不会影响湿样品的检测。

表2 因素水平表

Table 2 Factor and level table

水平	A(提取时间/h)	B(提取温度/°C)	C(振荡频率/Hz)
1	2.5	60	50
2	3.0	70	60
3	3.5	80	70

本实验针对影响碘提取率的另外 3 个方面的因素（提取时间、提取温度、振荡频率），按三因素三水平 L<sub>9</sub>(3<sup>4</sup>) 设计正交试验，方案见表 2。采用 GBW08517

海带标准样品进行了正交实验优化，结果见表 3。可见影响提取率的因素的重要性依次为提取温度>提取时间>振荡频率；筛选出最佳的提取条件为：提取温度为 80 °C，提取时间为 3 h，振荡频率为 60 Hz。

表3 正交试验表

Table 3 Orthogonal test table

试验编号	水平因子			碘含量/(mg/kg)
	A	B	C	
1	1	1	1	497.03
2	1	2	2	472.8
3	1	3	3	536.1
4	2	1	2	569.7
5	2	2	3	494.68
6	2	3	1	550.17
7	3	1	3	530.63
8	3	2	1	526.72
9	3	3	2	535.32
T1	1505.93	1597.36	1573.92	
T2	1614.55	1494.2	1577.82	T=4713.15
T3	1592.67	1621.59	1561.41	
$\bar{x}_1$	501.98	532.45	524.64	/
$\bar{x}_2$	538.18	498.07	525.94	/
$\bar{x}_3$	530.89	540.53	520.47	/
极差 R	36.2	42.46	5.47	/
主次顺序	B>A>C			
优水平	A <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	C <sub>2</sub>	/
优组合	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub>			

由于碘易挥发损失，塑料容器易吸附而造成损失和交叉污染，因此，处理样品的容器应选用密封的玻璃容器。本实验以烧结玻璃管的方式进行密封，密封性好；玻璃管为一次性使用，可以有效避免交叉污染。

## 2.4 内标元素的选择

本实验考察了采用锗(<sup>72</sup>Ge)和碲(<sup>128</sup>Te)同时作为内标校正仪器，并采用双标和单标方式分别计算碘含量的结果。实验表明：采用 <sup>72</sup>Ge 作内标时，测定结果的精密度较差；采用 <sup>128</sup>Te 作内标时，测定结果较稳定，精密度较好，且根据质量数和电离能与碘接近，故本实验选用 <sup>128</sup>Te 作为碘的内标元素；同时，采用在样品前处理前加入同位素内标的方式，可以减少样品前处理的误差。

## 2.5 标准工作曲线

用 1% TMAH 配制一系列碘的标准溶液，浓度分别为 0.0、1.0、5.0、10.0、40.0、50 μg/L，在本实验

条件下进行检测, 拟合得到线性方程为  $y=1.0506x+1.2511$ , 相关系数为 0.9999。

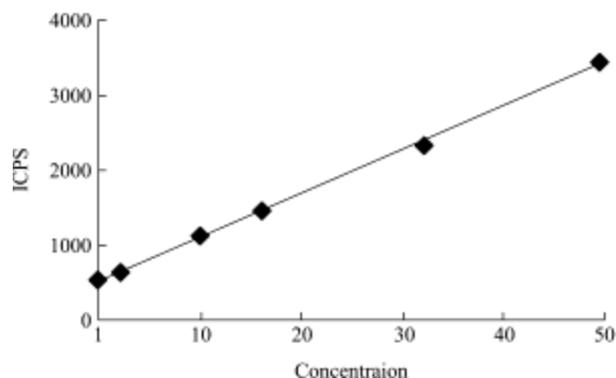


图1 标准曲线

Fig.1 the standard curve

## 2.6 检出限

连续测定经同样前处理的试剂空白 11 次, 计算标准偏差 ( $\delta$ ) 和碘离子的平均响应强度 ( $B$ ); 连续测定  $c=1.0 \mu\text{g/L}$  的碘标准溶液 6 次, 计算碘离子的平均响应强度 ( $S$ )。以公式  $[3\delta/(S-B)] \times c$  计算得到仪器检出限为  $0.0071 \mu\text{g/L}$ , 以公式  $[10\delta/(S-B)] \times c$  计算得到定量限为  $0.025 \mu\text{g/L}$ 。结合前处理稀释倍数和回收率, 计算方法检出限, 当称样质量为  $0.1 \text{g}$ , 前处理稀释 250 倍, 则方法的检出限为  $1.8 \mu\text{g/kg}$ , 远低于现行的国家

标准的检出限  $20 \mu\text{g/kg}$ <sup>[8]</sup>, 表明方法灵敏度高。

## 2.7 回收率

选择巧克力、婴幼儿配方奶粉、奶米粉食品样品, 进行 3 个浓度水平的加标回收实验 ( $n=6$ ), 结果表明 (如表 4 所示): 对于不同类型的样品、不同浓度的加标回收率均在  $80.29\% \sim 104.70\%$  之间, 表明方法的回收率高。

表 4 加标回收测定结果 ( $n=6$ )

Table 4 The results of recovery test

样品	本底值/(mg/kg)	加入量/(mg/kg)	平均测定值/(mg/kg)	平均回收率/%
巧克力	0.2	2.5	2.407	88.3
		5	5.235	104.7
		10	8.71	87.1
奶粉	0.765	2.5	2.863	83.9
		5	4.103	82.05
		10	8.029	80.29
奶米粉	0.435	2.5	2.538	84.1
		5	4.133	82.65
		10	8.123	81.23

## 2.8 方法精密度

表 5 方法精密度测定结果 ( $n=6$ )

Table 5 The results of precision test

样品	测定结果/(mg/kg)						平均浓度/(mg/kg)	RSD/%
	1	2	3	4	5	6		
酱油	3.441	3.658	3.480	3.362	3.542	3.718	3.534	3.81
食盐	28.696	27.880	26.497	27.149	25.833	25.944	27.000	4.19
巧克力	0.281	0.264	0.263	0.279	0.263	0.256	0.268	3.73
麻辣面制品	0.787	0.812	0.835	0.794	0.835	0.751	0.802	4.01

选择不同类型的样品, 进行精密度实验。结果表明 (如表 5 所示): 对于不同类型、不同浓度的样品, 相对标准 RSD 均小于 5%。表明方法的精密度良好。

准确性进行评价, 其测定结果 ( $512 \pm 4$ )  $\text{mg/kg}$  与标准值 ( $515 \pm 61$ )  $\text{mg/kg}$  相吻合, 相对误差为 4.3%, 经过统计学  $t$  检验, 没有显著性差异, 表明本实验方法准确、可靠。结果见表 6。

## 2.9 标准物质测定

表 6 标准物质结果测定

Table 6 The results of standard substance

标准参考物质	海带中碘含量分析
证书值/(mg/kg)	$515 \pm 61$
测定值/(mg/kg)	$512 \pm 4$
标准偏差/s	2.51
$E_t/\%$	4.3
$t$	$2.16 < t_{(0.05, 5)}$

选用海带国家标准物质 (GBW08517) 对方法的

## 2.10 实际样品测定

选择不同类型的市售多类食品测定其碘含量, 测定结果见表 7。由表可见, 常见食品中碘含量在  $0.1 \sim 6 \text{mg/kg}$  左右, 加碘食盐中碘的含量较高, 一般在  $20 \text{mg/kg}$  以上。各类食品中的碘含量水平为均衡饮食提供了参考。

## 3 结论

本研究针对碘的特殊理化性质, 以使用一次性的

烧结密封玻璃试管水浴振荡提取待测物,解决了样品前处理中碘易挥发损失、易交叉污染的难题;样品先以6 mL水溶解或混匀,可有效防止因试样结块或提取液粘稠而造成结果偏低;通过正交试验优化提取条件,确定提取温度为80℃,提取时间为3 h,振荡频率为60 Hz,并选择以碲( $^{128}\text{Te}$ )作内标,建立了同位素稀释电感耦合等离子体质谱测定多类食品中碘含量的方法。当称样质量为0.1 g,方法检出限为1.8  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,灵敏度高;以回收率和精密度实验,以及对有证标准物质进行测定来考察方法的准确性,结果表明:此方法具有较好的精密度和准确度,线性范围宽、检出限低、操作简单,适用于多类食品中碘含量的测定。

表7 各类食品碘含量测定结果

Table 7 The results of all kinds of food samples

样品名称	测定结果 (mg/kg)	样品名称	测定结果 (mg/kg)
大米	0.08~0.3	巧克力	0.2~0.4
婴幼儿配方奶粉	0.6~1.2	奶米粉	0.3~0.5
花生	0.1~0.2	海苔肉酥	0.5~0.7
酱油	2.9~4.0	麻辣面制品	0.7~0.9
加碘食盐	20.0~29.0	波力海苔	4.0~5.5

## 参考文献

- [1] Gilman AG, Goodman L S, Rad T W, et al. The Pharmacological Basis of Therapeutics [M]. 7th Edition New York: Macmillan, 1985
- [2] 杨凤梅,刘东升,贺安云.直接滴定法测定食盐中碘含量影响因素探讨[J].中国地方病防治杂志,2009,24(3):211-212  
Yang F M, Liu D S, He A Y. Study on the influence factors of the determination of iodine content in salt by direct titration method [J]. Chinese Journal of Control of Endemic Diseases, 2009, 24(3): 211-212
- [3] 吴文泉,李炳焕,贾小鹏.溴甲酚绿吸光光度法测定食盐中碘含量的研究[J].食品科技,2010,219(1):282-284  
Wu W Q, Li B H, Jia X P. Study on iodine content of salt with bromocresol green absorptiophotometry [J]. Food Science and Technology, 2010, 219(1): 282-284
- [4] Pena-Pereira F, Lavilla I, Bendicho C. Headspace single-drop microextraction coupled to microvolume UV-vis spectrophotometry for iodine determination [J]. Analytica Chimica Acta, 2009, 631(2): 223-228
- [5] 额尔登桑,耐登,柴志波.测定食盐碘含量及其影响因素研究[J].食品研究与开发,2010,33(2):126-130  
E E, Nai D, Cai Z B. Research on Temperature Effect and Determination of Iodine Content in Iodacted Salt [J]. Food Research and Development, 2010,33(2): 126-130
- [6] Manju G, Pillai A, Singh A, et al. Salt-assisted liquid-liquid microextraction for the determination of iodine in table salt by high-performance liquid chromatography-diode array detection [J]. Food Chemistry, 2011, 124(4): 1741-1746
- [7] Hu K K, Huang W X, Su Y H, et al. Simultaneous determination of fluorine and iodine in urine by ion chromatography with electrochemical pretreatment [J]. Chinese Chemical Letters, 2009, 20(12): 1483-1486
- [8] GB 5413.23-2010 食品安全国家标准 婴幼儿食品和乳品中碘的测定[S]  
GB 5413.23-2010 National food safety standard Determination of iodine in foods for infants and young children, milk and milk products [S]
- [9] 李金英,郭冬发,姚继军,等.电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)新进展[J].质谱学报,2002,23(3):164-179  
Li J Y, Guo D F, Yao J J, et al. Recent Progress of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) [J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2002, 23(3): 164-179
- [10] GUNTHER R, KLAUS G H. Iodine determination in food samples using inductively coupled plasma isotope dilution mass spectrometry [J]. Anal Chem, 1998, 70 (11): 2221-2224
- [11] KAREN M E, AMUND M. Iodine content in fish and other food products from east Africa analyzed by ICP-MS[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 1997, 10(3): 270-282
- [12] FECHER PAGOLDMANN I, NAGENGASA. Determination of iodine in Food sample by inductively coupled plasma mass spectrometry after alkaline extraction [J]. Journal of Analytical Spectrometry, 1998, 13: 977-982
- [13] Zheng J, Takata H, Tagami K, et al. Rapid determination of total iodine in Japanese coastal seawater using SF-ICP-MS [J]. Microchemical Journal, 2012, 100: 42-47
- [14] Romarís-Hortas V, Moreda-Piñeiro A, Bermejo-Barrera P. Microwave assisted extraction of iodine and bromine from edible seaweed for inductively coupled plasma-mass spectrometry determination [J]. Talanta, 2009, 79(3): 947-952
- [15] 刘丽萍,吕超,谭玲,等.电感耦合等离子体质谱法测定乳制品中碘含量的方法研究[J].质谱学报,2010,31(3):138-142  
Liu L P, Lu C, Tan L, et al. Determination of Iodine in Dairy Products by ICP-MS [J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2010, 31(3): 138-142

- [16] 吕超,刘丽萍,谭玲.电感耦合等离子体质谱法测定饮料、啤酒及果汁中的碘[J].中国食品卫生杂志,2010,22(4):347-350  
Lü C, Liu L P, Tan L. Determination of Iodine in Beverage, Beer and Fruit Juice by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry [J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2010, 22(4): 347-350
- [17] 郑聪,王金花,高峰,等.电感耦合等离子体-质谱法测定食用藻类植物中碘含量[J].食品科学,2011,32(8):202-205  
Zheng C, Wang J H, Gao F, et al. Determination of Iodine Content in Edible Algae by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry [J]. Food Science, 2011, 32(8): 202-205

现代食品科技