

电焊作业环境中职业危害因素检测与防护

袁伟明¹, 宾平凡², 邢鸣鸾¹, 张美辨¹, 邹华¹, 刘鸿¹, 栾俞清¹

摘要: [目的] 检测电焊作业环境主要职业病危害因素, 提出切实可行的防护对策。[方法] 2011 年抽取不同焊接行业 16 家(次)企业, 对焊接作业环境进行职业病危害因素检测。[结果] 手工电焊作业环境中, 噪声平均值 85.6 dB(A), 点超标率 71.4%; 锰及其化合物平均值 0.13 mg/m³, 点超标率 40.0%; 电焊烟尘平均值 3.18 mg/m³, 点超标率 20.0%。气体保护焊环境中, 锰及其化合物平均值 0.03 mg/m³, 点超标率 60.0%; 噪声平均值 84.5 dB(A), 点超标率 45.5%; 电焊烟尘平均值 2.28 mg/m³, 点超标率 30.0%。一氧化氮、二氧化氮、臭氧、一氧化碳、紫外线等职业病危害因素在手工电焊和气体保护焊环境中均有检出, 但均未超标。气体保护焊和手工电焊作业环境中, 超细粒子浓度与焊接点距离、焊工工作时间和风速有关。[结论] 企业除加强全面通风和局部通风外, 采取有效的个体防护措施十分重要。对超细粒子的防护主要是佩戴安装有超细过滤棉的口罩。

关键词: 电焊作业环境; 职业病危害因素; 检测; 防护对策

Occupational Hazards and Protection in Electronic Welding Environment YUAN Wei-ming¹, BIN Ping-fan², XING Ming-luan¹, ZHANG Mei-bian¹, ZOU Hua¹, LIU Hong¹, LUAN Yu-qing¹ (1. Institute of Occupational Health and Poison Control, Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Zhejiang 310051, China; 2. Ningbo University, Zhejiang 315211, China) · The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract: [Objective] To detect main occupational hazards in electronic welding environment and propose feasible preventive measures. [Methods] Sixteen welding workshops were selected in 2011 for occupational hazards detection. [Results] In the manual welding environment, the mean noise level was 85.6 dB(A) and the noise levels in 5 monitoring sites (5/7, 71.4%) were higher than the national occupational hazards limits (NOHL); of manganese and its chemical compounds, the mean concentration was 0.13 mg/m³ and the results in 2 monitoring sites (2/5, 40.0%) exceeded the NOHL; the mean content of electronic welding smoke was 3.18 mg/m³ and 1 monitoring site (1/5, 20.0%) was unqualified. In the gas shielded arc welding environment, the average level of manganese and its chemical compounds was 0.03 mg/m³ and the levels in 6 monitoring sites (6/10, 60.0%) exceeded the NOHL; other results included noise intensity with a mean value of 84.5 dB(A) and 5 unqualified sites (5/11, 45.5%); electronic welding smoke with a mean value of 2.28 mg/m³ and 3 unqualified sites (3/10, 30.0%). The other occupational hazards including nitric oxide, nitrogen dioxide, ozone, carbon monoxide, and ultraviolet ray were also detected and within the NOHLs. The concentrations of ultrafine particles were associated with the distance from welding operation spot, working hours, and wind speed. [Conclusion] It is an effective measure to wear appropriate personal protective equipment in addition to general ventilation and local ventilation at the welding spots to reduce occupational hazards. Masks with ultrafiltration material are critical to protect workers from ultrafine particles.

Key Words: electronic welding environment; occupational hazards; detection; preventive measures

焊接技术的应用领域十分广阔,基本上与所有金属有关的制造业、安装业、维修业都要用到焊接技术,如造船、锅炉、汽车、化工机械、钢结构等行业。焊接按其过程中金属所处状态不同,分为熔化焊、压力焊和钎焊三大类,在三类焊接方法中,经熔化焊类的电弧焊应用最为普遍。在 2011 年对浙江省十几家大型

企业进行熔化电弧焊现场监测和研究发现,电焊作业环境电焊工接触的职业病危害因素很多^[1-2],主要包括电焊烟尘、有毒气体、噪声、电焊弧光、超细粒子等,可导致电焊工尘肺、噪声聋、电光性眼炎等^[3-4]。本研究拟重点检测电焊作业环境中直径<100 nm 的颗粒物(particulate matter, PM),为电焊作业工人的个体防护提供依据。

[基金项目] 浙江省医药卫生科技计划项目(编号:2012YB050)

[作者简介] 袁伟明(1967—),男,学士,主管医师;研究方向:职业病与卫生学评价;E-mail: ywm0255@163.com

[作者单位] 1. 浙江省疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所,浙江 310051; 2. 宁波大学,浙江 315211

1 对象与方法

1.1 对象

2011 年采用整群随机抽样法,抽取船舶制造、金

属家具制造、钢结构制造、汽车制造、化工机械企业等行业 16 家(次)企业不同的焊接作业环境作为调查和检测对象。

1.2 方法

1.2.1 检测方法 按《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》(GBZ159—2004)^[5]和《工作场所空气中粉尘测定 第 1 部分:总粉尘浓度》(GBZ/T 192.1—2007)^[6]采集样品检测作业岗位的电焊烟尘,按《工作场所空气有毒物质测定 无机含氮化合物》(GBZ/T 160.29—2004)^[7]测定氮氧化物浓度,按《工作场所物理因素测量 第 8 部分:噪声》(GBZ/T 189.8—2007)^[8]检测噪声强度,按《工作场所物理因素测量 第 6 部分:紫外辐射》(GBZ/T 189.6—2007)^[9]检测电焊弧光强度。用 Dust-TRAK 粉尘检测仪(型号 8530,美国 TSI 公司)实时检测颗粒总质量浓度,粒子粒径范围 0.1~10 μm,浓度范围 0.001~150 mg/m³。用 P-TRAK 冷凝粒子计数器(型号 8525,美国 TSI 公司)实时检测颗粒总数量浓度,粒子粒径范围 0.02~>1 μm,浓度范围 0~5 × 10⁵/cm³。质量浓度分布检测设备采用阶式碰撞颗粒采样仪(型号 125A Nano-MOUDI,美国 MSP 公司),仪器具有 13 级标称切割直径,分别为 10 000、5 600、3 200、1 800、1 000、560、320、180、100、56、32、18 和 10 nm,滤膜采用 47 mm 铝膜,采样流速为 10.0 L/min。收集不同粒径颗粒进行实验室分析。分析天平(型号 XS205,瑞士梅特勒公司)称取采样前后滤膜重量,计算 13 级标称切割直径范围颗粒质量浓度。采用美国欧西亚公司 Oregon Scientific WMR200A 专业气象站检测小气候,其中风速单位为 m/s。

1.2.2 超细粒子检测 取焊接工人的蹲位,两台仪器与呼吸带同高,二氧化碳气体保护焊以距焊接点 1.0、2.0、3.0 m 为采样点;手工电焊因实际应用已很少,工作面较局限,所以取 0.5、1.0、1.5 m 为采样点。以连续工作的电焊作业为采样对象,连续 3 d 每个岗位每个

不同距离分别取样。以 3 d 均值表示超细粒子的数量浓度和质量浓度。本研究中超细粒子为直径 < 100 nm 超细颗粒的统称。

1.3 检测的规范性

实际检测点数和位置满足作业场所职业病危害因素检测规范;因国内、外均无统一的检测规范,尚处摸索阶段,因此超细粒子的检测按本研究的工作方案实施。

1.4 统计分析

调查资料应用 SPSS 13.0 进行统计分析。采用单因素方差分析和相关性分析方法,检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 一般情况

所监测企业均有比较多的电焊工作场所或车间,电焊种类主要为手工电焊和气体保护焊。从事焊接作业的工人每个企业均有 20 人以上,焊接作业时间为每日 2~10 h,焊条用量约为 50~1 000 m/(人·d)。厂房一般有轴流风机作为全面机械排风设施,有些岗位尚配有局部排风设施,但有些手工电焊岗位没有全面通风系统和局部机械通风设施。

2.2 职业病危害因素识别

识别不同企业电焊工作现场存在的职业病危害因素,有电焊烟尘、一氧化碳、二氧化氮、锰及其化合物、一氧化碳、臭氧、电焊弧光、噪声和超细粒子。

2.3 常规职业病危害因素检测结果

检测结果表明,手工电焊作业环境中职业病危害因素超标率依次是:噪声平均值 85.6 dB(A),超标率 71.4%;锰及其化合物平均值 0.13 mg/m³,超标率 40.0%;电焊烟尘平均值 3.18 mg/m³,超标率 20.0%。气体保护焊依次是:锰及其化合物平均值 0.03 mg/m³,超标率 60.0%;噪声平均值 84.5 dB(A),超标率 45.5%;电焊烟尘平均值 2.28 mg/m³,超标率 30.0%,见表 1。

表 1 电焊作业环境职业病危害因素检测结果

Table 1 Detection results of occupational hazards in electronic welding environment

焊接种类 Welding type	危害因素名称 Hazards	监测点数 Monitoring sites	样品数 Samples	浓度(强度) 的 TWA 范围 TWA range	均值 Mean	卫生限值 Limits	超标数 Monitoring sites exceeding limits	点超标率(%) Proportion of monitoring sites exceeding limits
手工电焊 Manual welding	电焊烟尘(Electronic welding smoke, mg/m ³)	5	15	1.25~4.94	3.18	4	1	20.0
	锰及其化合物(Manganese and its compounds, mg/m ³)	5	15	0.013~0.270	0.13	0.15	2	40.0
	一氧化碳(CO, mg/m ³)	5	15	0.70~1.25	1.00	20	0	0.0
	一氧化氮(NO, mg/m ³)	5	15	0.02~0.12	0.11	15	0	0.0
	二氧化氮(NO ₂ , mg/m ³)	5	15	0.008~0.150	0.08	5	0	0.0
	臭氧(O ₃ , mg/m ³)	4	15	0.019~0.090	0.02	0.3	0	0.0
	噪声[Noise, dB(A)]	7	21	66.0~103.8	85.60	85	5	71.4
	紫外线(UV, μW/cm ²)	4	12	0.016~0.178	0.10	0.24	0	0.0

续表 1

焊接种类 Welding type	危害因素名称 Hazards	监测点数 Monitoring sites	样品数 Samples	浓度(强度) 的 TWA 范围 TWA range	均值 Mean	卫生限值 Limits	超标数 Monitoring sites exceeding limits	点超标率(%) Proportion of monitoring sites exceeding limits
气体保护焊 Gas shielded arc welding	电焊烟尘(Electronic welding smoke ,mg/m ³)	10	30	0.43~8.25	2.28	4	3	30.0
	锰及其化合物(Manganese and its compounds ,mg/m ³)	10	30	0.003~1.100	0.03	0.15	6	60.0
	一氧化碳(CO ,mg/m ³)	11	33	0.25~8.90	2.11	20	0	0.0
	一氧化氮(NO ,mg/m ³)	8	24	0.008~0.150	0.10	15	0	0.0
	二氧化氮(NO ₂ ,mg/m ³)	8	24	0.006~0.110	0.03	5	0	0.0
	臭氧(O ₃ ,mg/m ³)	6	18	0.00~0.07	0.01	0.3	0	0.0
	噪声[Noise ,dB(A)]	11	33	67.0~93.2	84.50	85	5	45.5
	紫外线(UV ,μW/cm ²)	7	21	0.016~0.164	0.08	0.24	0	0.0

[注] TWA :时间加权平均值(Time-weighted average) ; :时间加权平均容许浓度(Permissible concentration-time weighted average) ; :最高容许浓度(Maximum allowable concentration) ; :8h 等效连续 A 声级(8h equivalent continuous A-weighted sound pressure level) ; :辐射度(Irradiance)。

2.4 超细粒子检测结果

2.4.1 气体保护焊不同焊接距离的超细粒子浓度 随着离焊接点距离增加,颗粒数量浓度、质量浓度降低,见表 2。

表 2 气体保护焊不同焊接距离的超细粒子浓度($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Concentrations of ultrafine particles at different distance from gas shielded arc welding spots

距离(m) Distance	数量浓度($\times 10^5$) Number concentration	质量浓度(mg/m ³) Mass concentration
1.0	3.21 \pm 0.88 ^{ab}	2.77 \pm 0.84 ^a
2.0	2.69 \pm 0.49 ^a	2.69 \pm 0.58 ^a
3.0	2.12 \pm 0.79	1.59 \pm 0.77

[注] ^a :与 3.0 m 相比较(Compared with 3.0 m), $P < 0.05$; ^b :与 2.0 m 相比较(Compared with 2.0 m), $P < 0.05$ 。

2.4.2 手工电焊不同焊接距离的超细粒子浓度 随着离焊接点距离增加,颗粒数量浓度、质量浓度降低,见表 3。

表 3 手工电焊不同焊接距离的超细粒子浓度($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Concentrations of ultrafine particles at different distance from manual welding spots

距离(m) Distance	数量浓度($\times 10^5$) Number concentration	质量浓度(mg/m ³) Mass concentration
0.5	1.76 \pm 0.79 ^{cd}	17.47 \pm 15.28 ^{cd}
1.0	0.82 \pm 0.51	3.93 \pm 4.08
1.5	0.51 \pm 0.24	2.09 \pm 1.31

[注] ^c :与 1.0 m 相比较(Compared with 1.0 m), $P < 0.05$; ^d :与 1.5 m 相比较(Compared with 1.5 m), $P < 0.05$ 。

2.4.3 气体保护焊不同粒径范围内超细粒子浓度的分布 气体保护焊不同粒径范围内超细粒子质量浓度的分布为双峰分布,峰值分别为 10~18 μm 和 0.56~0.32 μm,见图 1。PM_{1.0} 和 PM_{0.1} 分别占总质量的 68.0% 与 12.4%。

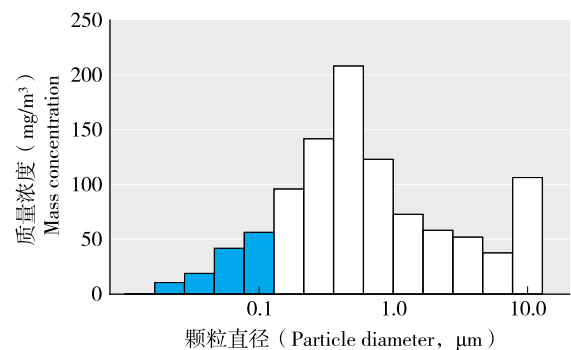


图 1 气体保护焊超细粒子不同粒径范围内质量浓度的分布
Figure 1 Mass concentrations distribution of ultrafine particles at gas shielded arc welding spots

2.4.4 超细粒子浓度的时间变化 气体保护焊及手工电焊环境中,超细粒子数量浓度与质量浓度相关系数分别为 $r = 0.857$ ($P < 0.01$) $r = 0.807$ ($P < 0.01$),均具有较高的相关性。由图 2、图 3 可见,超细粒子的浓度时间变化曲线与工人的作息时间有关,说明电焊作业超细粒子主要来源于电焊作业。

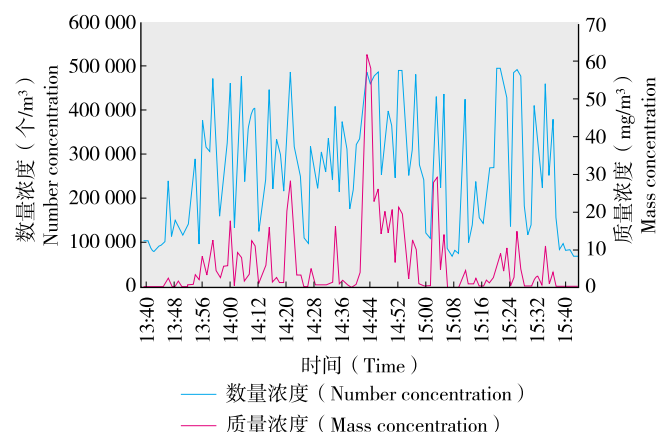


图 2 气体保护焊超细粒子浓度的时间变化
Figure 2 Concentration curves of ultrafine particles at gas shielded arc welding spots

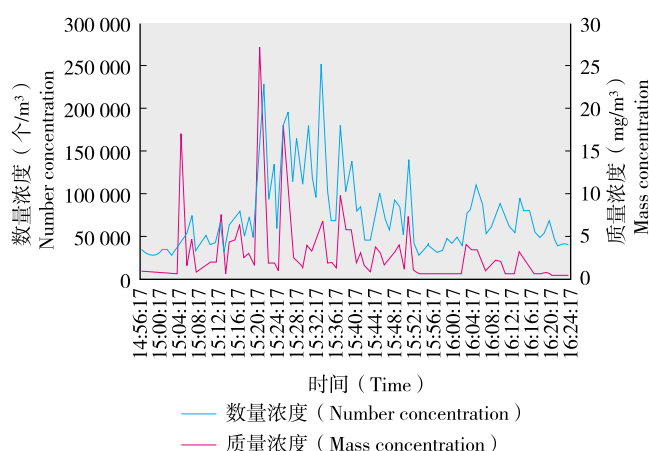
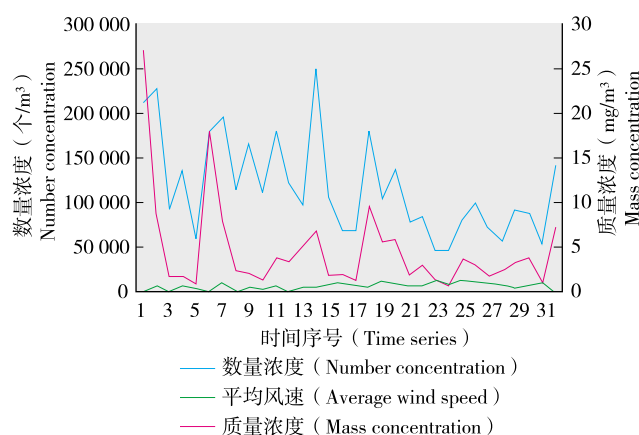


图3 手工电焊超细粒子浓度的时间变化

Figure 3 Concentration curves of ultrafine particles at manual welding spots

2.4.5 超细粒子浓度与风速的关系 由图4可见,气体保护焊环境中,超细粒子数量浓度与质量浓度具有较强相关性,相关系数 $r=0.771$ ($P<0.01$);数量浓度与监测现场风速呈负相关($r=-0.459$, $P<0.01$),随着风速的增加,数量浓度逐渐减少,回归方程为 $\hat{y}=-51466.66x+151292.11$ 。但质量浓度与现场风速无统计学相关($r=-0.244$, $P>0.05$)。因手工电焊在室内进行作业,一些小企业单位没有完整通风系统,因此未作分析。



[注] 时间序号是一个工作日8:00时以后每30 min测定1次,中午休息1 h (Time series indicates concentration determination once every 30 min after 8:00 in workdays, with 1 h lunch break).

图4 气体保护焊超细粒子浓度与风速的关系

Figure 4 Relationship between wind speed and particle concentrations at gas shielded arc welding spots

3 讨论

以自由状态存在的最小物质组分粒子是本研究的重点。毒理和流行病学研究证明,因超细颗粒的特

殊理化特性,吸入暴露后可引起比大颗粒更严重的健康效应^[10]。本研究对电焊作业超细粒子的检测结果表明,气体保护焊和手工电焊超细粒子与焊接点距离、焊工工作时间均有关,随着离焊接点距离增加,颗粒浓度降低。说明离焊接点距离远,可减少超细颗粒的吸入。气体保护焊颗粒质量分布为双峰分布,峰值分别为 $10\sim 18\mu\text{m}$ 和 $0.56\sim 0.32\mu\text{m}$,高于国外相关实验室研究报告的范围^[11],可能与现场研究更长的检测时间及焊接基底材料、焊丝有关。两种焊接方式颗粒物数量浓度与质量浓度均具有较高的相关性,浓度的时间变化曲线与工人的作息时间表有关:中午休息时间,超细颗粒的数量浓度和质量浓度均下降,说明电焊作业超细颗粒主要来源于电焊作业。气体保护焊颗粒物数量浓度与监测现场风速呈负相关:随着风速的增加,颗粒数量浓度逐渐减少;但颗粒物质量浓度与现场风速无统计学相关,这可能与风速能增加颗粒之间碰撞机会,使颗粒聚集有关。

因为烟尘本身的重量,所以屋顶或者侧墙安装全面通风系统并不是完全有效的,增加局部通风或者移动式烟尘捕集机是比较合理的方法。本研究结果显示,噪声超标率比较高,因此用人单位应该采取降噪、防噪措施治理电焊作业环境噪声污染,如效果不明显则必须采取个体防护措施。

电焊作业的危害治理是个公认的难题,做好电焊作业工人的个人防护就显得特别重要。从2008年我们对电焊工作个人防护设施的配发情况调查看,个人防护用品发放率大于90%的有工作服、手套、眼罩,而口罩发放率只有51.5%,耳塞的发放率只有70.9%^[2]。而此次研究表明电焊作业环境电焊烟尘、锰及其化合物、噪声超标严重,所以针对这三个主要超标因素做好相应的个体防护措施相当重要。而目前多数企业对电焊作业的危害还不能科学合理地进行预防,因为防尘口罩有防尘作用,但对化学毒物和超细粒子的防护作用较差,防尘口罩最好安装有超细过滤棉。目前广泛应用的超细纤维通过喷融工艺形成的无纺布材料,但普通的无纺布过滤材料上还是存在孔隙,对于空气中的亚微米级粒子甚至更小的超细粒子过滤效果仍无法满足要求,而聚丙烯驻极体材料的出现解决了这一问题,因此得到了广泛的应用。驻极体是指具有长期储存电荷能力的功能介电材料,而空气中的微小颗粒物则很容易通过驻极体产生的电场力作用下被捕获,从而起到过滤效果。目前市售的对纳米级超细粒子有较

好防护作用的口罩型号,对于非油性颗粒物是 8233、9322 和 8210,对于油性颗粒物是 8577。本次研究认为,有电焊作业的企业更应重视对超细粒子的防护。

· 作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

参考文献:

- [1] 史志澄. 加强焊接工人的健康监护[J]. 职业医学, 1999, 17(2): 66.
- [2] 袁伟明, 邹华, 王洁, 等. 电焊作业工人健康状况调查分析[J]. 环境与职业医学, 2009, 26(4): 365-366.
- [3] 刘丽荣. 电焊工尘肺 1 例[J]. 中国伤残医学, 2007, 15(4): 111.
- [4] 欧军荣, 黎海红, 吕林, 等. 电焊工慢性锰中毒一例调查分析[J]. 职业卫生与应急救援, 2006, 24(4): 215-216.
- [5] 中华人民共和国卫生部. GBZ 159—2004 工作场所空气中有害物质监测的采样规范[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2004.
- [6] 中华人民共和国卫生部. GBZ/T 192.1—2007 工作场所空气中粉尘测定 第 1 部分: 总粉尘浓度[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2006.
- [7] 中华人民共和国卫生部. GBZ/T 160.29—2004 工作场所空气有毒物质测定 无机含氮化合物[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2004.
- [8] 中华人民共和国卫生部. GBZ/T 189.8—2007 工作场所物理因素测量 第 8 部分: 噪声[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2007.
- [9] 中华人民共和国卫生部. GBZ/T 189.6—2007 工作场所物理因素测量 第 6 部分: 紫外辐射[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2007.
- [10] YEGANEH B, KULL CM, HULL MS, et al. Characterization of airborne particles during production of carbonaceous nanomaterials[J]. Environ Sci Technol, 2008, 42(12): 4600-4606.
- [11] DASCH J, D'ARCY J. Physical and chemical characterization of airborne particles from welding operations in automotive plants[J]. J Occup Environ Hyg, 2008, 5(7): 444-454.

(收稿日期: 2012-04-20)

(英文编审: 黄克峙; 编辑: 郭薇薇; 校对: 王晓宇)

(上接第 257 页)

参考文献:

- [1] REDLING K. Rare earth elements in agriculture (doctoral dissertation) [M]. Munchen: Ludwig-Maximilians University, 2006.
- [2] 倪嘉缙. 稀土生物无机化学[M]. 北京: 科学出版社, 1995.
- [3] 魏复盛, 刘廷良, 滕恩江, 等. 我国土壤中稀土元素背景值特征[J]. 环境科学, 1991, 12(5): 78-82.
- [4] 刘湘虎. 稀土元素对动物及人的影响[J]. 中国畜牧兽医, 2008, 35(8): 158-160.
- [5] 刘颖, 陈东. 稀土元素对动物肝脏的影响[J]. 解剖科学进展, 2001, 7(2): 160-162.
- [6] 陈祖义, 朱旭东. 稀土元素的肝脏蓄积性及毒性危害[J]. 家畜生态学报, 2009, 30(4): 98-102.
- [7] 张金超, 许善锦, 王夔, 等. 稀土离子对体外兔成熟破骨细胞骨吸收功能的影响[J]. 科学通报, 2003, 48(16): 1767-1771.
- [8] 陈祖义, 朱旭东. 稀土元素的骨蓄积性、毒性及其对人群健康的潜在危害[J]. 生态与农村环境学报, 2008, 24(1): 88-91.
- [9] 陈祖义. 稀土元素的脑部蓄积性、毒性及其对人群健康的潜在危害[J]. 农村生态环境, 2005, 21(4): 72-73, 80.
- [10] 高俊全. 稀土元素与食物链[C]//北京食品学会成立二十周年学术论文集. 北京: 北京食品学会, 1999: 49-52.
- [11] 刘弘, 吴春峰, 方亚敏, 等. 上海市居民膳食中铅镉暴露水平评估[J]. 中国食品卫生杂志, 2011, 23(3): 218-223.
- [12] 吴雪原. 茶叶中农药的最大残留限量及风险评估研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2009.
- [13] 朱为方, 徐素琴, 邵萍萍, 等. 赣南稀土区生物效应研究——稀土日允许摄入量[J]. 中国环境科学, 1997, 17(1): 63-66.
- [14] 郭勇全, 肖萍, 李文蕊, 等. 茶叶中稀土元素及其健康效应[J]. 食品与发酵科技, 2010, 46(5): 65-69.

(收稿日期: 2012-07-19)

(英文编审: 金克峙; 编辑: 郭薇薇; 校对: 洪琪)