

茶叶中稀土元素的研究进展

彭传焱[#], 李大祥[#], 宛晓春, 蔡荟梅^{*}

(茶树生物学与资源利用国家重点实验室, 安徽农业大学, 合肥 230036)

摘要: 稀土元素对茶树生长和茶叶品质有系列影响。茶树对轻稀土(La, Ce, Y 和 Nd 等)具有较强的生物富集作用, 茶树各部位稀土总量大小为: 根>茎>老叶>成熟叶>叶柄>芽头, 其中茶树叶片中的稀土含量与其老嫩度呈显著的正相关。据报道, 我国居民膳食摄入稀土含量均值为 0.133 mg/d, 而通过饮茶摄入稀土的含量估算为 0~0.1129 mg/d, 均远小于文献报道的稀土日允许摄入量(1.2~57.6 mg/d), 稀土元素饮食暴露水平很低。目前, 还没有稀土日允许摄入量的相关标准, 但茶叶中稀土总量限量标准和粮食作物一样(2 mg/kg), 茶叶不同于粮食作物, 在限量的相关标准制订中应充分考虑茶叶的日消费量及稀土元素的水溶性。建议加强稀土食品安全的基础研究和系统性风险评估, 以便为完善食品(茶叶)中稀土限量标准提供科学依据。

关键词: 茶叶; 稀土元素; 限量; 日摄入量

Research progress of rare earth element in tea plants (*Camelliasinensis* L.)

PENG Chuan-Yi[#], LI Da-Xiang[#], WAN Xiao-Chun, CAI Hui-Mei^{*}

(State Key Laboratory of Tea Plant Biology and Utilization, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

ABSTRACT: Rare earth element can be both a help and a hindrance for tea plants growth and tea quality. Tea plant had an enrichment impact on light rare earth element (La, Ce, Y and Nd, etc.), and the rare earth oxides (RE₂O₃) content of tea plant in descending order was: root > stem > old leave > mature leave > petiole > bud. There was a significant positive correlation between tenderness of tea leaves and RE₂O₃ content. It was reported that daily intake of RE₂O₃ content from diet was 0.133 mg/d, and the intake through tea consumption was estimated to be from 0 mg/d to 0.1129 mg/d, which was far below the acceptable daily intake reported (1.2~57.6 mg/d) and suggested that exposure to level of RE₂O₃ was quite low. Currently, no standard limit for RE₂O₃ daily intake has been recommended by government. However, the limit for content of RE₂O₃ in tea was the same with food crops (2 mg/kg). Tea was different from food crops, so we should take full account of its daily consumption quantity and solubility of RE₂O₃ for setting the limitation. Consequently, basic researches on RE₂O₃ in food safety and systemic risks assessment were suggested to strengthen to provide scientific basis for setting safety standards.

基金项目: 现代农业(茶叶)产业技术体系建设专项资金项目(CARS-23)、安徽省科技计划项目(1406C085017)、茶叶化学与健康领军人才团队引进重大示范项目

Fund: Supported by the Earmarked Fund for Modern Agro-industry Technology Research System in Tea Industry (CARS-23), Anhui Scientific and Technological Project (1406C085017), and Anhui Major Demonstration Project for Leading Talent Team on Tea Chemistry and Health

[#]彭传焱、李大祥为共同第一作者

[#]PENG Chuan-Yi and LI Da-Xiang are co-first authors

^{*}通讯作者: 蔡荟梅, 副教授, 主要研究方向为茶叶化学与质量安全。E-mail: chm@ahau.edu.cn

***Corresponding author:** CAI Hui-Mei, Associate Professor, State Key Laboratory of Tea Plant Biology and Utilization, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China. E-mail: chm@ahau.edu.cn

KEY WORDS: tea; rare earth element; limit; daily dietary intake

1 引言

稀土元素(rare earth element, REE), 是指镧系元素及与其性质相近的钪(Sc)和钇(Y), 其中镧系中的钷(Pm)是人工放射性元素, 因此, 常说的 REE 就是指镧(La)、铈(Ce)、镨(Pr)、钕(Nd)、钐(Sm)、铕(Eu)、钆(Gd)、铽(Tb)、镝(Dy)、钬(Ho)、铒(Er)、铥(Tm)、镱(Yb)、镱(Lu)、钇(Y)和钪(Sc)这 16 种元素, 一般可划分为两个亚族: (1)轻稀土(钪族稀土, LREE): La、Ce、Pr、Nd、Sm、Eu 和 Gd; (2)重稀土(钇族稀土, HREE): Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Y 和 Sc^[1]。土壤中的稀土含量常以稀土氧化物(RE_2O_3)来计, 含量为 76~629 mg/kg, 均值为 176.8 mg/kg^[2-4], 绝大部分是以难溶态形式存在, 不能被植物吸收利用^[1,4]。我国的稀土资源分布广泛, 目前在全国 20 多个地区发现有稀土矿产。早在 1972 年, 我国已开展稀土农用的相关研究, 在作物增产促质方面取得了丰富的经验, 近年来食品安全备受关注, 茶叶稀土含量超标的曝光, 使人们谈“稀土”色变, 稀土与生态效应以及对人体健康的影响引起了广泛的关注^[5-7]。

2 稀土在茶树上的应用及富集特性

轻稀土对植物具有明显的生理活性, 农用稀土主要是 La 和 Ce 元素的化合物, 被公认为农牧渔业的“生长调节剂”和工业“维生素”^[8]。低浓度的稀土元素可以提高植物的叶绿素含量, 增强光合作用, 促进根系发育, 增加根系对养分吸收, 促进种子萌发和幼苗生长, 提高种子发芽率, 还具有能够提高产量、改善品质和提高农作物抗病能力等多重效应^[5,9-12]。稀土元素对植物的生物效应机制主要有^[13,14]: (1)对作物体内生长激素的合成或激活起催化作用; (2)可能作为酶的辅基或激活剂而起着促进生化反应的作用; (3)在某些生化过程中可以取代某些金属元素而起作用。

在茶树上应用研究是稀土农用研究的重要组成部分, 包括生物有机肥、农药降解剂。茶树叶面喷施稀土是一项增产提质的栽培措施, 始于上个世纪 80 年代初期, 在湖南、浙江、安徽、福建、贵州等省茶区试验并推广^[15]。研究表明在茶叶栽培中使用稀土肥料, 具有增产提质、提早发芽、改善茶鲜叶质量等作用^[16-19], 同时对茶叶中的有机氯农药有降解作用^[15]。

许多植物都可以从土壤中吸收稀土, 总体来说, 植物体内稀土元素含量不高, 不同部位对土壤稀土的富集能力按其含量大小为: 根>茎、叶>花>果实和籽粒, 主要富集在植物根部^[5,20-22], 茶树各部位稀土总量大小为: 根>茎>老叶>成熟叶>叶柄>芽头, 且叶片中稀土含量与成

熟度呈正相关(图 1)^[23,24]。在加工过程中茶叶稀土含量不会发生变化^[25], 采摘一芽二叶($\text{RE}_2\text{O}_3 < 2 \text{ mg/kg}$, 图 1)制作的茶叶不会出现稀土含量超标的问题。

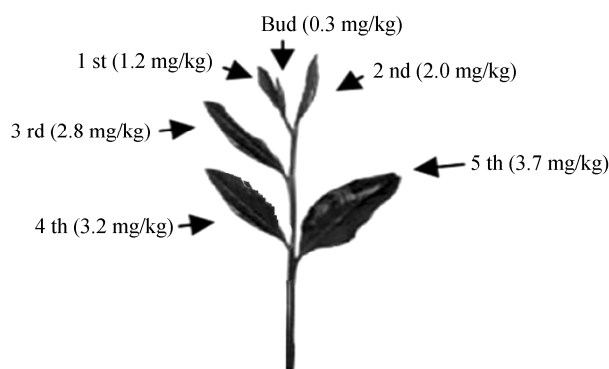


图 1 茶叶成熟度与稀土含量关系^[24]

Fig. 1 The relationship between leaf maturity and REE amount^[24]

茶树对稀土的富集能力要比其他主要粮食作物高 2 个数量级^[2-3], 但不同于粮食作物, 应充分考虑稀土元素的水溶性及日消费量。茶叶中水不溶态 REE 约有 75%, 残存于茶渣中, 不会进入茶汤, 而水溶性 REE 中约有 10%是以活性稀土多糖形式存在^[17,26]。茶叶中含有栽培土壤中所有的稀土元素, 其中以 La、Ce、Nd、Pr 和 Y 为主, 占稀土总量的 92%。茶树主要对轻稀土具有较强的富集作用, 尤其对 La 吸收较多, 对重稀土则富集较少或基本不吸收^[16-18]。采摘间隔期越长, 叶面喷施稀土对茶叶中稀土含量及组成等的影响越小^[18]。茶叶中稀土的来源主要有: (1)茶园土壤母质稀土; (2)含稀土的肥料和农药的使用; (3)环境污染、灌溉用水和空气漂移等; (4)制茶机械中的合金; (5)茶园土壤的酸化, 使茶园土壤中无生物有效性的稀土转化为生物有效性稀土而被茶树吸收。

3 茶叶中稀土含量限量标准的发展

目前, 稀土对人体健康的影响还缺乏科学地系统评估。一般情况下接触稀土不会给人带来危害, 但长期低剂量暴露或摄入可能会对人体健康或体内代谢产生影响。稀土元素的环境累积性、生物吸收与富集性、通过食物链摄入生物体内的蓄积性以及可能产生的生物毒性效应可能会诱发对免疫功能、大脑、脏器(肝肾、心脏)和皮肤的负面影响^[27-30]。

稀土微肥的应用虽对农作物有增产效益, 且系低毒性物质, 但长期使用是否在食物链中有生物富集作用缺乏系统研究。早在 1991 年我国便制定了《植物性食品中稀土限量卫生标准》, 分析测定了 1904 份样品(其中茶叶样品仅 3 份, 含量为 1.50~1.90 mg/kg)^[31], 在此基础上, 提出了

2 mg/kg 的限量标准, 此后便一直沿用这个限量, 在 2012 年颁布的《食品中污染物限量》中, 由 16 种稀土氧化物总量取代 5 种氧化物总量(表 1), 且采用了更加准确的电感耦合等离子体质谱(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)分析方法, 致使茶叶中稀土超标率大增^[37], 给茶叶企业采购和销售带来极大困难。新标准的实施, 对于原料成熟度高的乌龙茶和黑茶的影响很大^[31,37]。茶叶的食用方法是冲泡饮用茶汤, 稀土氧化物的水溶性不强, 由于制定标准时茶叶样品量少^[38]且分光光度法检测手段的弊端^[39,40], 加之联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)和国际食品法典委员会(Codex Alimentarius Commission, CAC)都未规定食品中稀土元素限量, 业内专家一直在质疑这一标准设立的科学性与必要性。目前茶叶中有多少稀土可溶入茶汤? 又有多少可被人体吸收? 这些问题尚缺乏系统性的风险评估和科学依据。建议政府部门应联合业内专家开展稀土食品安全性的基础研究, 重新评估稀土的健康影响后再制定出更加符合茶叶现状的科学限量值。

4 日膳食和饮茶摄入稀土含量评估

目前, 在世界范围内, 还没有稀土日允许摄入量(acceptable daily intake, ADI)的相关标准。我国居民食用的食品品种与食用量因地区不同而异, 但仍以谷类(大米、小麦、薯类)和蔬菜为主要食物。由表 2 可以看出, 我国居民主要膳食的稀土含量均值范围为 0.052~0.425 mg/kg^[41], 要低于茶叶(0.975~2.055 mg/kg)^[42], 通过食物摄入的稀土量均值为 0.133 mg/d, 90%为 0.156mg/d^[41,43], 但是茶叶中的稀土只有 23.46%可溶于茶汤^[44]。根据我国居民茶叶消费量, 最大值 45 g/d, 最小值 3 g/d, 平均为 11.4 g/d^[45], 结合已报道的茶叶中稀土含量(表 2), 估算得出每日通过饮茶摄入的稀土含量为 0~0.1129 mg/d, 均值为 0.00386 mg/d(表 3)。即便饮茶以最大摄入量 0.1129 mg/d 计, 日膳食和饮茶摄入稀土含量的均值为 0.2459 mg/d, 90%为 0.2689 mg/d, 均远小于文献报道的日允许摄入量(表 4), 因此我国居民膳食稀土元素暴露水平很低, 稀土元素的健康风险较低^[46]。

表 1 茶叶中稀土限量标准发展变迁
Table 1 Development of limit standards for content of REE in tea

限量标准	限量(mg/kg)	说明	测定方法
GB13107-1991 ^[32] 植物性食品中稀土限量卫生标准	2	La, Ce, Pr, Nd, Sm, 5 种 稀土氧化物总量	GB/T 13108-1991 ^[35] 植物性食品中稀土的测定方法(分光光度法)
GB2762-2005 ^[33] 食品中污染物限量	2	La, Ce, Pr, Nd, Sm, 5 种 稀土氧化物总量	GB/T 13108-1991 ^[35] 植物性食品中稀土的测定方法(分光光度法)
GB2762-2012 ^[34] 食品中污染物限量	2	镧系元素及钪和钇, 16 种稀土氧化物总量	GB 5009.94-2012 ^[36] 植物性食品中稀土元素的测定(ICP-MS)

表 2 国内主要食品的稀土含量(以氧化物计)^[41,42]
Table 2 REE content in staple foods in China (calculated as RE₂O₃)^[41,42]

食品种类	平均值(mg/kg)	中位置(mg/kg)	Min(mg/kg)	Max(mg/kg)
谷物	0.052	0.024	-	-
果蔬	0.337	0.019	-	-
鲜肉	0.098	0.098	-	-
鲜蛋	0.065	0.065	-	-
腌蛋	0.306	0.306	-	-
鲜活水产品	0.335	0.335	-	-
腌制水产品	0.425	0.425	-	-
茶 叶	绿茶	0.975	-	ND
	红茶	1.590	-	0.26
	青茶	2.055	-	0.25
	花茶	1.210	-	0.24
	普洱茶	1.390	-	0.52

注: ND 为未检出。

表 3 通过饮茶摄入稀土含量估算
Table 3 Estimation of daily intake of REE through tea consumption

	估算最大值(mg/d)	估算平均值(mg/d)	估算最小值 (mg/d)
绿茶	0.0767	0.0026	0
红茶	0.0619	0.0043	0.0002
青茶	0.1129	0.0055	0.0002
花茶	0.0323	0.0032	0.0002
普洱	0.0523	0.0037	0.0004

注：估算最大值(Max, mg/d)=居民茶叶最大消费量(45 g/d)×茶叶中稀土最高含量(mg/kg)×茶叶中稀土的溶出率(23.46%); 估算平均值(Mean, mg/d)=居民茶叶平均消费量(11.4 g/d)×茶叶中稀土平均含量(mg/kg)×茶叶中稀土的溶出率(23.46%); 估算最小值(Min, mg/d)=居民茶叶最小消费量(3 g/d)×茶叶中稀土最低含量(mg/kg)×茶叶中稀土的溶出率(23.46%)。

表 4 稀土日允许摄入量的报道(以氧化物计)
Table 4 Report of acceptable daily intake (ADI) of REE
(calculated as RE₂O₃)

作者(年)	日允许摄入量(mg/d)	参考文献
崔明珍(1987)	14.4	[47]
纪云晶(1990)	14.4	[48]
田庆伟(1992)	57.6	[49]
朱为方(1997)	4.2	[50]
徐厚恩(2004)	1.2	[51]

注：安全系数为 100，体重以 60 kg 计算。

5 结 语

总体而言，我国居民膳食稀土元素暴露水平较低，健康风险很低。茶树虽然对轻稀土具有较强的富集特性，通过估算得出每天通过饮茶摄入稀土含量 0~0.1129 mg/d，均值为 0.00386 mg/d，即使以吃茶的方式全部摄入(0~0.4812 mg/d)，加上通过膳食摄入的量，也远小于报道的日允许摄入量(1.2~57.6 mg/d)。目前，稀土对茶树生长和茶叶品质的影响，稀土在茶叶中的存在形态及分布特性，茶叶中稀土含量的检测方法，稀土-茶多糖复合物的生物功能都有不同程度的研究和报道^[11,12,17,18,26]。但是稀土元素的系统性风险评估依然不够完善，相信随着研究的深入，人们对稀土安全性的认识会越来越深入，会更加合理地利用，造福人类。

参考文献

[1] 江祖成, 蔡汝秀, 张华山. 稀土元素分析化学[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
Jiang ZC, Cai RX, Zhang HS. Analytical chemistry of the rare earths [M]. Beijing: Science Press, 2000.

[2] Liang T, Zhang S, Wang L, *et al.* Environmental biogeochemical behaviors of rare earth elements in soil-plant systems[J]. Environ Geochem Hlth, 2005, 27(4): 301–311.

[3] Ding SM, Liang T, Zhang CS, *et al.* Fractionation mechanisms of rare earth elements (REEs) in hydroponic wheat: an application for metal accumulation by plants [J]. Environ Sci Technol, 2006, 40(8): 2686–2691.

[4] 彭安, 王子健. 稀土环境化学研究的近期进展[J]. 环境科学进展, 1995, 3(4): 22–31.
Peng A, Wang ZJ. Recent research progress on environmental chemistry of rare-earth elements [J]. Adv Environ Sci, 1995, 3(4): 22–31.

[5] Thomas PJ, Carpenter D, Boutin C, *et al.* Rare earth elements (REEs): Effects on germination and growth of selected crop and native plant species[J]. Chemosphere, 2014, 96: 57–66.

[6] Pagano G, Guida M, Tommasi F, *et al.* Health effects and toxicity mechanisms of rare earth elements -knowledge gaps and research prospects[J]. Ecotox Environ Saf, 2015, 115: 40–48.

[7] Migaszewski ZM, Gałuszka A. The characteristics, occurrence, and geochemical behavior of rare earth elements in the environment: a review [J]. Crit Rev Env Sci Tech, 2015, 45(5): 429–471.

[8] 王瑾, 邹新武, 周卫龙, 等. 不同茶类冲泡过程中稀土浸出率试验分析[J]. 中国茶叶加工, 2012, (1) 12–13, 52.
Wang J, Zou XW, Zhou WL, *et al.* The preliminary study on rare-earth oxides leaching rate of the different tea brewing process [J]. Chin Tea Proc, 2012, (1) 12–13, 52.

[9] Diatloff E, Smith FW, Asher CJ. Effects of lanthanum and cerium on the growth and mineral nutrition of corn and mungbean [J]. Ann Bot-London, 2008, 101(7): 971–982.

[10] Wang L, Wang W, Zhou Q, *et al.* Combined effects of lanthanum (III) chloride and acid rain on photosynthetic parameters in rice[J]. Chemosphere, 2014, 112: 355–361.

[11] 钟淑琳, 闵蔚宗. 茶叶中分离出一种稀土-脂多糖[J]. 科学通报, 1994, 9: 863–868.
Zhong SL, Min WZ. Isolation of rare-earth-lipopolysaccharide from tea [J]. Sci Bull, 1994, 9: 863–868.

[12] Nie SP, Xie MY. A review on the isolation and structure of tea polysaccharides and their bioactivities [J]. Food Hyd, 2011, 25(2): 144–149.

[13] Tyler G. Rare earth elements in soil and plant systems - a review [J]. Plant Soil, 2004, 267, 191–206.

[14] 季宏兵, 王立军, 董云社, 等. 稀土元素的环境生物地球化学循环研究现状[J]. 地理科学进展, 2004, 23(1): 51–61.
Ji HB, Wang LJ, Dong YS, *et al.* An overview on the biogeochemistry

- cycle for rare earth elements (REEs) [J]. *Prog Geog*, 2004, 23(1): 51–61.
- [15] 汪东风, 王常红. 稀土在茶树上应用研究进展[J]. *稀土*, 1996, 17(4): 46–50.
- Wang DF, Wang CH. Research progress of application of rare earth elements in tea plant [J]. *Chin Rare Earths*, 1996, 17(4): 46–50.
- [16] 陈照喜, 王晓蓉, 田笠卿, 等. 土壤和茶树对稀土元素的富集作用[J]. *中国环境科学*, 1995, 15(2): 145–147.
- Chen ZX, Wang XR, Tian LQ, *et al.* Accumulation of rare earth elements in soil and tea plant [J]. *China Environ Sci*, 1995, 15(2): 145–147.
- [17] 汪东风, 赵贵文, 叶盛. 茶叶中稀土元素的组成及存在状态[J]. *茶叶科学*, 1999, 19(1): 41–46.
- Wang DF, Zhao GW, Ye S. Composition and existing state of rare earth elements in tea [J]. *J Tea Sci*, 1999, 19(1): 41–46.
- [18] 汪东风, 曹心德, 赵贵文, 等. 喷施稀土对茶叶中不同状态的稀土元素组成及含量的影响[J]. *稀土*, 2000, 21(1): 44–48.
- Wang DF, Cao XD, Zhao GW, *et al.* Effects of spraying rare earth on compositions and contents of rare earth elements in tea [J]. *Chin Rare Earths*, 2000, 21(1): 44–48.
- [19] 王常红, 汪东风, 杨进华, 等. 稀土对茶树生殖生长的影响[J]. *茶叶科学*, 2000, (1): 55–58.
- Wang CH, Wang DF, Yang JH, *et al.* Effects of rare earth on the generative growth of tea plant [J]. *J Tea Sci*, 2000, (1): 55–58.
- [20] 祁俊生, 付川, 王裕玲. 稀土在农作物中吸收分布[J]. *重庆大学学报*, 2004, 27(2): 111–115.
- Qi JS, Fu C, Wang YL. Study on absorption and distribution of rare earth elements in crops with rare earth fertilizer [J]. *J Chongqing Univ*, 2004, 27(2): 111–115.
- [21] 刘书娟, 王立军, 章申, 等. 长期喷施稀土对土壤-植物(小麦)系统中稀土元素分布、累积及运移的影响[J]. *应用生态学报*, 1997, 8(1): 55–58.
- Liu SJ, Wang LJ, Zhang S, *et al.* Effect of long-term foliage-dressing rare earth elements (REEs) on their distribution, accumulation and translocation in soil-spring wheat system [J]. *Chin J Appl Ecol*, 1997, 8(1): 55–58.
- [22] 王立军, 胡霭堂, 周权锁, 等. 稀土元素在土壤-水稻体系中的迁移与吸收累积特征[J]. *中国稀土学报*, 2006, 24(1): 91–97.
- Wang LJ, Hu AT, Zhou QS, *et al.* Accumulation and fractionation of rare earth elements in soil-rice system [J]. *J Chin Rare Earth Soc*, 2006, 24(1): 91–97.
- [23] 陈磊, 林锻炼, 高志鹏, 等. 稀土元素在茶园土壤和乌龙茶中的分布特性[J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2011, 40(6): 595–601.
- Chen L, Lin DL, Gao ZP, *et al.* Distribution of rare earth elements in tea garden soil and oolong tea [J]. *J Fujian Agric Forestry Univ (Nat Sci Edit)*, 2011, 40(6): 595–601.
- [24] 杨秀芳, 徐建峰, 翁昆, 等. 茶树成熟新梢不同部位元素含量研究[J]. *中国茶叶加工*, 2008, (3): 18–20.
- Yang XF, Xu JF, Weng K, *et al.* Research on the content of element in different parts of mature shoots of tea plant [J]. *Chin Tea Proc*, 2008, (3): 18–20.
- [25] 李亦军, 白婷婷, 孙威江, 等. 乌龙茶加工过程中稀土含量变化的研究[J]. *中国茶叶加工*, 2011, (3): 15–17.
- Li YJ, Bai TT, Sun WJ, *et al.* Study on the changes of REE content during oolong tea processing [J]. *Chin Tea Proc*, 2011, (3): 15–17.
- [26] 汪东风, 李俊, 赵贵文, 等. 稀土对茶叶中稀土结合糖蛋白的组成及活性的影响[J]. *中国稀土学报*, 2000, 18(4): 363–366.
- Wang DF, Li J, Zhao GW, *et al.* Effects of rare earths on composition and activities of rare earth elements binding glucoprotein in tea [J]. *J Chin Rare Earth Soc*, 2000, 18(4): 363–366.
- [27] 朱为方, 徐素琴, 张辉, 等. 稀土区儿童智商调查研究. I 赣南稀土区生物效应研究[J]. *科学通报*, 1996, 41(10): 914–916.
- Zhu WF, Xu SQ, Zhang H, *et al.* Investigation of the children's IQ level in rare earth region I: biological effects in rare earth district of south Jiangxi [J]. *Chin Sci Bull*, 1996, 41(10): 914–916.
- [28] 冯嘉, 张辉, 朱为方, 等. 稀土高背景区稀土生物学效应研究. I 轻稀土区人群血液生化指标 [J]. *中国稀土学报*, 2000, 18(4): 356–359.
- Feng J, Zhang H, Zhu WF, *et al.* Bio-effect of rare earths in RE-high background region I. Some blood biochemical Indices from population resided in light REE district [J]. *J Chin Rare Earth Soc*, 2000, 18(4): 356–359.
- [29] 金秉恩, 吴建军, 肖桂凡. 稀土冶炼作业对女工健康与生殖功能危害的调查[J]. *劳动医学*, 1991, 8(4): 17–19.
- Jin BE, Wu JJ, Xiao GF. Investigation of the bad effects of rare earth activity on health and reproductive function [J]. *J Labor Med*, 1991, 8(4): 17–19.
- [30] Thomas JH. Toxicity of rare earths [J]. *New Frontiers in Rare Earth Science and Applications*, 1985, (1): 679–683.
- [31] 杨秀芳, 孔俊豪, 高玉萍, 等. 我国茶叶稀土问题现状与研究[J]. *中国茶叶加工*, 2012, (1): 4–7, 11.
- Yang XF, Kong JH, Gao YP, *et al.* Investigation and current situation of rare-earth elements issues in chinese tea [J]. *Chin Tea Proc*, 2012, (1): 4–7, 11.
- [32] GB13107-1991 植物性食品中稀土限量卫生标准[S].
- GB13107-1991 Maximum limits for rare earth elements in plant-based food [S].
- [33] GB 2762-2005 食品中污染物限量[S].
- GB 2762-2005 Maximum limits for pollutants in food [S].
- [34] GB 2762-2012 食品中污染物限量[S].
- GB 2762-2012 Maximum limits for pollutants in food [S].
- [35] GB/T 13108-91 植物性食品中稀土的测定方法[S].
- GB/T 13108-91 The measurement method of rare earth elements content for plant-based food [S].
- [36] GB 5009. 94-2012 植物性食品中稀土元素的测定[S].
- GB 5009. 94-2012 The measurement method of rare earth elements content for plant-based food [S].
- [37] Zhang Y. Analysis of rare earth elements in pu'er tea of Yunnan by ICP-AES [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2010, 30(10): 2830–2833.
- [38] 苏德昭, 向良迪, 翟永信, 等. 我国食品中的稀土元素及其膳食摄入量研究[J]. *中华预防医学杂志*, 1993, 27(1): 6–9.
- Su DZ, Xiang LD, Zhai YX, *et al.* Studies on the rare earth content in food and its daily intake in man [J]. *Chin J Prev Med*, 1993, 27(1): 6–9.
- [39] 周卫龙, 许凌, 徐建峰, 等. GB/T5009. 94-2003 测定茶叶中稀土总量的探讨[J]. *中国茶叶加工*, 2007, (2): 34–36.
- Zhou WL, Xu L, Xu JF, *et al.* Discussion on the issue of national standards (GB/T5009. 94-2003) for determination of total content of rare earth elements in tea [J]. *Chin Tea Proc*, 2007, (2): 34–36.
- [40] 钱聪, 郭启雷. 茶叶中五种稀土元素的测定[J]. *食品安全质量检测学报*, 2014, 5(10): 3238–3242.

- Qian C, Guo QL. Determination of 5 sorts of rare earth elements in tea [J]. J Food Saf Qual, 2014, 5(10): 3238–3242.
- [41] Jiang DG, Yang J, Zhang S, *et al.* A survey of 16 rare earth elements in the major foods in China [J]. Biomed Environ Sci, 2012, 25(3): 267–271.
- [42] 石元值, 韩文炎, 马立锋, 等. 茶叶中稀土氧化物总量现状及其溶出特性研究[J]. 茶叶科学, 2011, 31(4): 349–354.
- Shi YZ, Han WY, Ma LF, *et al.* Status of the total amount of rare earth oxides in tea and its leaching characteristics [J]. J Tea Sci, 2011, 31(4): 349–354.
- [43] 李立明, 饶克勤, 孔灵芝, 等. 中国居民 2002 年营养与健康状况调查 [J]. 中国流行病学杂志, 2005, 26(7): 478–484.
- Li LM, Rao KQ, Kong LZ, *et al.* A description on the Chinese national nutrition and health survey in 2002 [J]. Chin J Epidemiol, 2005, 26(7): 478–484.
- [44] Wang DF, Wang CH, Ye S, *et al.* Effects of spraying rare earths on contents of rare earth elements and effective components in tea [J]. J Agric Food Chem, 2003, 51(23): 6731–6735.
- [45] 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.
- Wu XY. Studies on maximum residue limits for pesticides in tea and relative risk assessment [D]. Hefei: J Anhui Agric Univ, 2009.
- [46] 王李伟, 李洁, 田明胜, 等. 上海市居民膳食中稀土元素暴露水平评估 [J]. 环境与职业医学, 2013, 30(4): 255–262.
- Wang LW, Li H, Tian MS, *et al.* Assessment of Shanghai residents exposure to rare earth elements from diet [J]. J Environ Occup Med, 2013, 30(4): 255–262.
- [47] 崔明珍, 纪云晶, 董辛尧, 等. 稀土硝酸盐的慢性毒性及致癌稀土实验 [J]. 中国稀土学报, 1987, 5: 67–70.
- Cui MZ, Ji YJ, Dong XY, *et al.* Study on the chronic toxicity and carcinogenicity of rare earth nitrates [J]. J Chin Rare Earth Soc, 1987, 5: 67–70.
- [48] 纪云晶, 崔明珍, 栗建林, 等. 稀土农用安全性毒理学评价(摘要)[J]. 医学研究通讯, 1990, 19(11): 26–27.
- Ji YJ, Cui MZ, Li JL, *et al.* Toxicological evaluation of the agricultural security of rare earth elements (abstract) [J]. Med Res Comm, 1990, 19(11): 26–27.
- [49] 田庆伟, 白成江, 李袭丽, 等. 活性氯化稀土的毒性研究[J]. 卫生毒理学杂志, 1992, 6(1): 32.
- Tian QW, Bai CJ, Li XL, *et al.* Toxicity studies on active rare earth chlorides [J]. J Health Toxicol, 1992, 6(1): 32.
- [50] 朱为方, 邵萍萍, 张辉, 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.
- Zhu WF, Shao PP, Zhang H, *et al.* Investigation on intake allowance of rare earth-A study on bio-effect of rare earth in South Jiangxi [J]. China Environ Sci, 1997, 17(1): 63–66.
- [51] Xu EH. The progress of resource, environment and health in China [M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2004.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



彭传燊, 在读博士生, 主要研究方向为茶叶化学与质量安全。

E-mail: pcy0917@ahau.edu.cn



李大祥, 博士, 副教授, 主要研究方向为茶叶化学与健康。

E-mail: dxli@ahau.edu.cn



蔡荟梅, 硕士, 副教授, 主要研究方向为茶叶化学与质量安全。

E-mail: chm@ahau.edu.cn