

江苏省典型茶园土壤硒分布特性及其有效性研究

赵 妍, 宗良纲*, 曹 丹, 张 倩, 肖 峻, 汪润池

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘 要:通过实地调查,研究了江苏省 22 个典型茶园表层土样和 12 个剖面土样的全硒含量,分析了土壤全硒含量分布特性、有效硒含量及其影响因素。结果表明,江苏省典型茶园土壤全硒含量在 $0.10\sim 1.78\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 之间,平均为 $0.50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,高于全国平均值。其中,宜兴地区土壤全硒平均含量为 $0.88\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,明显高于其他地区的 $0.25\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,但前者土壤硒活化率仅为 4.94%,明显低于江苏省平均值 9.04%。宜兴地区虽然土壤供硒潜力巨大,但要充分利用富硒土壤开发、生产富硒茶必须提高土壤中硒的活化率和可利用度。土壤有效硒与土壤 pH 值、CEC 呈极显著正相关,在实际生产中可通过提高土壤 pH 值等改善土壤环境条件的方法来提高土壤硒的有效性,从而提高茶叶中硒的含量。研究区内硒在表层土壤中的相对含量趋向增加,生物积累大于淋溶作用。

关键词:茶园土壤;全硒;有效硒;活化率;剖面

中图分类号:X833 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)12-2467-08

Distribution and Availability of Selenium in Typical Tea Garden of Jiangsu Province, China

ZHAO Yan, ZONG Liang-gang*, CAO Dan, ZHANG Qian, XIAO Jun, WANG Run-chi

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: As a trace element selenium (Se) is of great importance on human health and its contents in environment directly affects the health and safety of human beings, animals and plants. Concentrations, distribution, and availability of Se in typical tea garden soils in Jiangsu Province were investigated and the governing factors were analyzed. 12 vertical profile samples and 22 top layers samples were collected. The results showed that the total Se content ranged from $0.10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ to $1.78\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ in tea garden soils of Jiangsu with an average of $0.50\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ which is higher than the national average value. The average Se concentration in samples from Yixing ($0.88\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) was significantly higher than that from other sampling sites ($0.25\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). This indicated there existed relatively Se-rich top soils in Yixing, southern Jiangsu though Se in top soils was not rich in most areas of Jiangsu. Nevertheless, the activity index of Se was 4.94% in samples from Yixing. It was remarkably lower than the average value in Jiangsu (9.04%), which puts a disadvantage to produce Se-rich tea in Yixing. Availability of Se positively correlated to the pH and CEC of the soil. Therefore, increasing the soil pH or other practices of improving the conditions of soil in agricultural production could be potentially effective to culture natural Se-rich tea in Yixing. Se content was higher in the top layer of the soils indicating that biological accumulation plays a more significant role than eluviation in control the vertical distribution of Se. The results of this study can serve as a practical reference for both reasonable planning of the tea production and development of Se-rich tea industrialization in Jiangsu.

Keywords: tea garden soil; total Se; available Se; activity index; profiles

硒是一种准金属元素,也是生态系统中重要的微量元素。研究发现:人体的 40 多种疾病与缺硒有关,如癌症、贫血、脑血管疾病、白内障和糖尿病等^[1-2]。据

中国科学院普查,我国有 70% 以上地区,约 1 亿人口缺硒。卢良恕、李振声等院士呼吁加强富硒农产品开发^[3],建立日常食物摄取的人类硒营养模式,加大富硒食品生产,保障人体健康。目前,我国一方面依靠高硒地区生产天然富硒茶叶,另一方面在低硒地区通过人为补充外源硒提高茶叶的硒含量,一般采用叶面喷洒一定浓度的无机硒溶液和在土壤中施用硒肥,通过茶树自身的生物转化,提高茶叶硒含量,但是这种通过

收稿日期:2011-03-21

基金项目:江苏省“六大人才高峰”项目“土壤环境条件对农产品硒含量及形态分布的影响”;江苏省农业科技自主创新资金(CX(11)3042)

作者简介:赵 妍(1987—),女,硕士研究生,研究方向为环境质量与食品安全。

* 通讯作者:宗良纲 E-mail:zonglg@njau.edu.cn

外源硒提高茶叶硒含量的方式存在安全施用量和安全喷洒浓度等问题,如果措施不合理,还会带来严重的环境污染和安全隐患且硒肥的利用率很低。因此,在土壤自然富硒地区开发安全、高产、优质富硒茶的市场潜力是十分巨大的^[3]。

茶是世界三大饮料之一,江苏省是我国主要的茶叶生产省份和重要的出口茶叶生产基地。研究表明:茶树有较强的硒富集能力,且富硒茶中硒的含量与抑制肿瘤的作用呈显著正相关^[4-5]。同时,有文献报道^[6]在江苏南部溧阳-宜兴一带低山丘陵地区存在较大面积的富硒土壤,并在当地开发了富硒茶叶。但是近年来江苏省茶园土壤环境令人担忧,茶园土壤酸化日趋严重已成为当前茶叶生产中的突出问题^[7-9]。茶园土壤酸化不仅会活化土壤中的重金属,还影响茶树对土壤养分的吸收,其中也包括对硒的吸收。不同类型土壤有效硒含量也是影响茶叶含硒量的主要因素,两者间呈显著正相关^[10]。本研究通过定位监测分析茶园土壤理化性质、茶园土壤中硒含量及其有效性,探究土壤环境对土壤硒含量及其有效性的影响,为正确评价江苏省茶园土壤硒状况、有效利用富硒地区土壤硒资源以及加快富硒茶产业的发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

本课题组自2002年承担江苏省无公害茶叶生产技术体系攻关项目以来,根据江苏省主要茶叶产区,先后选择了30多个茶场设立茶园土壤特性长期定位监测点(采用GPS定位技术)。茶场的选择依据江苏省无公害茶叶生产基地的分布状况,在产茶相对集中的地区增加选取定位监测茶园的比例,使调查结果更加符合江苏茶叶生产的实际情况;同时,选择规模较大,一般在30 hm²以上并且管理规范的茶场。

2008—2010年的春季采茶期,在无锡(宜兴)、苏州、南京、扬州等主要茶叶产地采集了12个剖面土样和22个表层土样(其中宜兴地区9个,其他地区13个)。采用多点混合法采集0~20 cm的土壤样品,即采样时根据茶园的面积和地形条件,决定样点的数量和分布,一般地形平坦,面积较小的设8~10个采样分点,地形起伏,面积较大的茶园采样点在10个以上。将多个采样分点的样品混匀后通过四分法弃取,保留1 kg左右的土样。同时,选择代表性茶场设置采样剖面,分别采集0~20、20~40、40~60 cm和60~80 cm土样。采集的土样经风干、剔除杂物后磨碎分别过20目

和100目筛,备用待测。

1.2 测定项目与方法

土壤基本理化性质测定:分析方法基本参照《土壤农化分析方法》^[11],其中土壤有机质测定采用外加热重铬酸钾氧化-容量法;土壤质地采用比重计速测法;土壤阳离子交换量采用1 mol·L⁻¹乙酸铵交换法;土壤pH(H₂O)采用水浸提电位法,即用无CO₂去离子水调节水土质量比为2.5:1,搅拌1 min,静置30 min后,用pH计测定。

土壤全硒含量测定:参照吴少尉等^[12]推荐的测定方法,称取0.500 0 g左右的土壤样品置于聚四氟乙烯坩埚中,用少量水润湿,加入5 mL浓HNO₃、2 mL HClO₄和2 mL HF于低温电热板上加热至冒白烟,视情况补加酸,再蒸至近干(切勿全干),冷却,用15 mL HCl浸取,转移至25 mL的比色管中,加入2 g·L⁻¹ Fe³⁺盐溶液1 mL,再用5 mol·L⁻¹ HCl定容。取适量的溶液,于沸水浴中加热20~30 min。冷却后用原子荧光光度计测定。

土壤有效硒含量测定:参照瞿建国等^[13]推荐的测定方法,称取4.000 0 g左右的土壤样品,以1:5的固液比,用0.5 mol·L⁻¹ NaHCO₃溶液浸提土壤中有效态硒,取10 mL浸出液置于50 mL石英烧杯中。加入4.5 mol·L⁻¹ HCl 0.5 mL和5% K₂S₂O₈ 1 mL,摇匀,并置于微沸水浴中加热1 h,分解浸出液中的有机质,把有机硒转化为Se⁶⁺,然后加入3% H₂C₂O₄ 1 mL,继续加热30 min。再加入7.5 mL浓HCl后加热15 min,冷却并用高纯水稀释至25 mL,摇匀,最后用原子荧光光度计测定。

1.3 数据处理

采用Microsoft Excel 2003及SPSS 13.0统计分析软件进行数据处理和差异显著性检验,并用Microsoft Excel 2003软件进行绘图。

2 结果与分析

2.1 不同地区茶园表层土壤全硒含量分布

2.1.1 土壤全硒含量及其分布

江苏省22个典型茶场土壤样品检测结果表明,茶园表层土壤全硒含量变幅为0.10~1.78 mg·kg⁻¹,平均值为0.50 mg·kg⁻¹,而全国土壤平均硒含量为0.29 mg·kg⁻¹^[14],江苏省全省土壤表层硒含量0.22 mg·kg⁻¹^[15],可见所检测的茶园土壤全硒含量大大高于全国及江苏省土壤平均值。所检测的土壤全硒含量的变异系数较大,达86.48%。这是由于所调查区域中宜兴地区茶

园土壤硒含量平均值 $0.88 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 明显高于江苏其他地区的 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。茶园土壤全硒含量平均值高主要也是由宜兴地区茶园土壤普遍富硒造成的。

依据谭见安等^[16]从我国克山病带和低硒环境的研究划分的我国硒元素生态景观的界限值, 对所调查的江苏全省、江苏宜兴地区和宜兴之外其他地区的茶园土壤进行了硒全量分布的频度分析, 结果表明, 研究区茶园表层土壤 9% 属于缺硒土壤 ($<0.125 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 9% 属于少硒土壤 ($0.125 \sim 0.175 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 41% 属于高硒土壤 ($0.450 \sim 3.000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 41% 属于足硒土壤 ($0.175 \sim 0.450 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。宜兴地区茶园表层土壤 100% 属高硒土壤, 其他地区仅 8% 属高硒土壤 (图 1)。依据江苏省第二次土壤普查结果^[17], 本研究区域中宜兴地区的茶园土壤类型为棕红壤, 其他地区土壤类型为黄棕壤。同时据文献报道^[9], 当地富硒的煤系地层、含泥炭质粉砂岩及其风化残留产物是富硒土壤的基本物质来源, 特定的区域地质背景是控制当地土壤大面积相对富硒的关键因素。这也跟李艳慧^[18]研究的在宜兴地区存在着一定面积的富硒土壤的结果一致。

此外, 有报道称中国的富硒茶主要产自湖北、陕西、贵州、四川等土壤硒含量较高的茶区, 这些茶区形成了中国富硒茶生产地带。由此看来, 土壤富硒是生产天然富硒茶的先决条件, 宜兴作为江苏省优质茶叶的重要产地也具有开发和生产天然、高产、优质富硒茶的优势。

2.1.2 土壤理化性质与土壤全硒含量的关系

土壤含硒量与母质有关, 成土矿物中所含的硒通过风化作用可转变成生物可利用态。因此, 土壤硒状况因成土母质和气候条件而异, 不同地区土壤的硒含

量差异较大。世界各国土壤的硒含量大多在 $0.1 \sim 2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。目前普遍认为, 我国土壤中硒含量主要与母质有关, 但成土过程中的气候-生物因素对硒在土壤含量、形态、富集和分散有很重要的影响。已有大量研究表明, 土壤表层全硒含量与土壤母质、pH 值、有机质、CEC 和粘粒含量等因素有关^[19-21]。

对江苏省典型茶园表层土壤中全硒含量与土壤性质之间的数据 (表 1) 分析表明, 土壤表层全硒与土壤 pH 值 ($r=0.217$)、有机质 ($r=0.381$)、CEC ($r=0.055$) 以及粘粒含量 ($r=0.055$) 均无相关关系, 但值得关注的是地处宜兴南部低山丘陵区的宜兴灵谷有机茶场表层土壤中全硒含量高达 $1.78 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 有报道称^[9]当地晚古生代含煤系地层中就有相对富硒的岩石, 因此当地富硒土壤中硒来源有自然地质背景的因素。其他地区的黄棕壤是由各种基岩风化物发育的, 母岩硒含量相对较低, 因此其土壤硒含量也不高。

综上所述, 对江苏省茶园土壤硒含量起决定作用的是母岩。母岩富硒的地区, 其土壤的硒含量也比较高。

2.2 茶园表层土壤硒的有效性

2.2.1 土壤有效硒含量及其变异

在土壤-植物生态系统中, 土壤全硒代表土壤中各种形态硒的总和, 并不代表土壤中硒的生物有效性, 但是研究土壤硒的有效性对调节土壤-植物生态系统中硒的平衡是至关重要的, 土壤硒的生物有效性一直是人们关注的热点。由于土壤全硒含量一般不能反映土壤对植物的供硒水平, 只能作为土壤硒的容量指标, 故常用土壤有效硒含量衡量土壤的供硒能力^[22]。土壤中有效态硒是能够被植物直接吸收利用的部分,

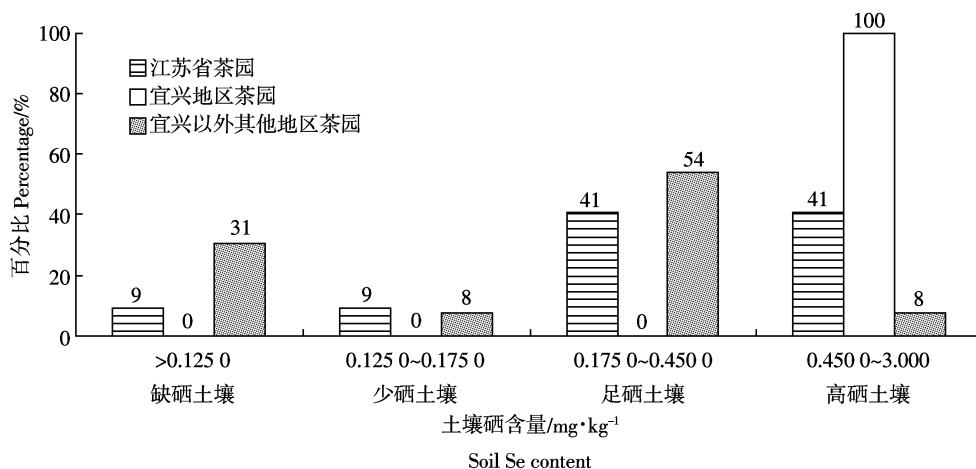


图1 江苏省典型茶园土壤硒含量频度分布图

Figure 1 Frequency of soil selenium content in Jiangsu tea garden

表 1 江苏省典型茶园土壤中的硒和土壤理化性质

Table 1 Soil selenium content and some basic properties of soils in Jiangsu tea garden

茶场	全硒/mg·kg ⁻¹	有效硒/μg·kg ⁻¹	pH	有机质/g·kg ⁻¹	CEC/cmole·kg ⁻¹	粘粒含量/%
宜兴岭下	0.62	18.56	3.64	40.66	14.43	45.73
宜兴兰山	0.73	22.74	4.64	22.11	10.20	23.49
宜兴张泽	0.61	18.50	4.35	35.94	20.61	34.38
宜兴芙蓉	0.71	34.58	3.89	49.24	17.19	47.45
宜兴林场	0.68	72.62	5.05	26.73	27.32	27.35
宜兴灵谷 1	1.58	22.94	3.95	34.34	11.26	38.34
宜兴灵谷 2	1.78	26.63	4.58	32.69	12.32	51.55
宜兴阳羨	0.46	22.93	3.96	33.70	14.69	55.95
宜兴长征	0.73	86.04	5.56	16.67	27.91	35.90
溧水严景万	0.16	44.60	4.91	23.81	18.74	38.77
南京板桥	0.28	21.00	3.85	28.05	17.25	30.91
南京中山陵	0.12	20.24	4.40	18.14	14.77	36.07
溧水傅家边	0.19	20.65	4.38	26.57	13.56	50.96
溧水白龙	0.30	22.68	4.28	25.92	8.89	37.15
南京江宁	0.16	21.95	3.86	32.97	14.01	51.50
扬州仪征	0.18	25.58	3.53	21.67	17.22	30.04
苏州西山建庭	0.43	18.90	3.98	23.73	9.85	28.03
苏州邓尉山	0.43	23.54	3.66	32.95	10.36	34.53
金坛茅麓	0.32	22.88	3.81	30.13	19.11	53.46
金坛茅山	0.19	23.63	4.00	21.53	16.01	49.28
句容高庙	0.35	28.08	4.26	19.43	12.66	47.41
南京江浦	0.10	17.43	3.89	18.50	14.57	32.61

它是决定食物链中硒水平的关键因素。

根据对江苏省典型茶园土壤样品分析,江苏省茶园表层土壤的有效硒含量为 18.50~86.04 μg·kg⁻¹,平均值为 28.94 μg·kg⁻¹,有效硒含量低于 20 μg·kg⁻¹ 的占 18%,高于 50 μg·kg⁻¹ 的占 9%。宜兴地区有效态硒含量均值为 36.17 μg·kg⁻¹,其他地区仅为 23.94 μg·kg⁻¹。可见,宜兴地区的有效硒含量显著高于其他地区,但是相对于其土壤全硒含量,土壤中硒的有效度并不高,大大低于其他地区的土壤。

2.2.2 土壤理化性质与土壤有效硒含量的关系

(1)土壤全硒

土壤全硒是有效硒的来源,对土壤有效硒具直接的制约作用。在一定条件下土壤全硒会活化成植物能利用的有效硒,而有效硒在一定条件下也能转化为固定态硒。本研究中,在所调查的区域内土壤有效硒与全硒含量并没有显示出相关性,主要是由于江苏不同地区茶园土壤成土母质不同及土壤 pH 的差异所致。研究区内宜兴地区茶园土壤类型为棕红壤,其他地区土壤类型为黄棕壤。同时,茶园土壤 pH 检测结果显示,土壤 pH 最高值和最低值相差近 2 个单位。

(2)土壤 pH

土壤酸碱度是土壤的重要指标之一,其数值大小对土壤中的有效养分和多种元素的形态、分布有重要影响。由于土壤 pH 既会影响不同价态硒的转化,还会影响土壤粘土矿物对土壤硒的吸附,最终影响土壤中硒的有效性。当土壤溶液呈酸性到中性时,土壤中硒的有效性较低,随着 pH 升高,硒的有效性也相应提高^[23]。已有文献指出,土壤有效硒的含量随土壤 pH 的提高而增加^[22,24],而目前茶园酸化现状严峻,20 世纪 90 年代,苏、浙、皖 3 省的茶园最适土壤 pH 的比例由 1990—1991 年的 59.4% 下降到 1998 年的 20.3%,酸化速度惊人^[7]。本课题组 2008—2010 年间对江苏省 21 个典型茶场调查结果显示:所有被调查的茶园土壤 pH 值均低于茶树生长最适值 5.5,其中 pH 低于 4.0 的茶园比例达 42.8%。本研究中,茶园土壤 pH(x)与土壤有效硒(y)呈极显著相关:

y=0.056x+3.554 (n=22,r=0.774**)

可见,加强对茶园土壤酸化的动态监测,及时采取有效措施控制和缓解茶园土壤酸化可以有效提高土壤中硒素的生物有效性。

(3) 土壤阳离子交换量(CEC)

它是指带负电荷的土壤胶体借静电引力吸附土壤溶液中阳离子的数量^[25-26],也是评价土壤缓冲能力的重要指标^[27]。不同土壤的阳离子交换量是不同的,土壤阳离子交换量愈大,土壤缓冲性能愈强。结果表明,茶园土壤有效硒含量与土壤阳离子交换量存在极显著相关关系:

$$y=1.092x-5.447 \quad (n=22, r=0.783^{**})$$

说明阳离子交换量大的土壤其有效硒含量也高。

(4) 土壤有机质

研究报道称土壤有效硒含量随土壤有机质的增加而提高,其原因可能是土壤有机质除了分解释放提供土壤有效硒外,其腐解过程的中间产物及某些合成产物也可能促进硒的活化^[28]。但是本研究所检测的结果表明,江苏省茶园土壤有效硒含量与土壤有机质之间并不存在明显的相关性。

(5) 土壤粘粒含量

土壤粘粒含量决定着土壤质地的类型。本次调查的茶园土壤有效硒与土壤粘粒含量也无相关性。

2.2.3 土壤硒的活化率

为了更直观地反映土壤中硒的有效性程度以及土壤供硒潜力,本文引入了活化率指标。活化率是土壤样品经 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 浸提所得的有效硒含量占土壤全硒含量的百分比,即:

$$\text{土壤硒的活化率} = \frac{\text{土壤中有有效硒含量}}{\text{土壤中全硒含量}} \times 100\%$$

经调查分析,江苏省茶园表层土壤硒活化率偏低,变幅为 1.45%~27.91%,均值为 9.04%。宜兴地区硒的活化率为 4.94%,其他地区为 11.87%。由此可见,宜兴地区虽然土壤富硒,但是硒的有效性低,说明存在很大的提升空间,这与宜兴地区茶园土壤环境有着非常密切的关系。因此,可以通过改善土壤环境状况来解决宜兴地区土壤硒有效性低这一实际问题。本课题组前期已经开展了利用不同废弃物改良酸化茶园土壤的试验研究,取得了较好的效果,显示通过提高强酸性富硒茶园土壤的 pH 能够提高土壤硒活化率及生物有效性,从而减少硒素土壤资源浪费,促进富硒茶产业的发展。

另外,研究结果表明,所调查的茶园土壤硒的活化率与土壤有机质存在负相关关系:

$$y=-0.169x+8.333 \quad (n=22, r=-0.529^{*})$$

这说明有机质含量越高,对土壤硒的固定作用越强,硒的有效性越低。

2.3 硒在土壤剖面中的分布

土壤剖面中硒的分布在一定程度上反映了土壤发育和生物学过程对土壤中硒的平衡作用^[9]。王美珠等^[29]对我国一些主要土壤含硒量的分析测定表明,由于生物积累作用和淋溶作用相对强弱的差别,硒在土壤剖面中的分布常可归结为 3 种形式:上高下低,生物积累大于淋溶作用;上低下高,生物积累小于淋溶作用;上下相近,生物积累等于淋溶作用。硒在土壤剖面中的分布受多方面因素的影响而表现出多样性。研究区不同茶园土壤剖面全硒含量随深度变化曲线见图 2。可见,在土壤形成、演变和利用过程中,除了高庙茶场,其余茶园土壤均呈现表聚性,即上层土壤硒的相对含量是趋向增加的,生物积累大于淋溶作用。另外,虽然生物积累与淋溶作用对茶园表层土硒含量影响很大,但是母质含硒量始终是最重要的一个因素,高硒土壤一般都形成在高硒母质上,在低硒土壤上,如有硒素补给,淋溶弱,生物累积多,表层土的硒含量会较高。相反,在高硒母质上发育的土壤,如果淋溶强,生物积累弱,也易导致缺硒。另外,对不同茶场比较可以看出,下层土壤的硒水平在一定程度上决定了上层土壤的含硒量,即:下层土壤富硒,上层土壤硒含量也会越高;下层土壤硒含量低,上层土壤硒水平在无外源施硒的情况下也不高。如中山陵茶场下层硒水平为 $0.09 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其上层硒水平也较低,为 $0.18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,而灵谷茶场下层土壤含量为 $0.63 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其上层土壤硒含量高达 $1.41 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

3 结论

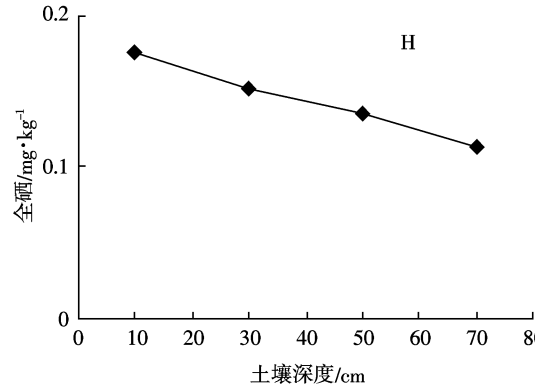
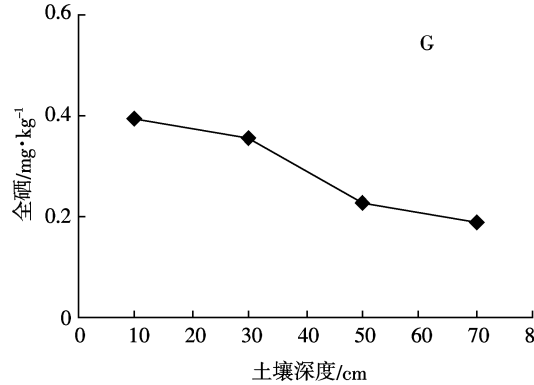
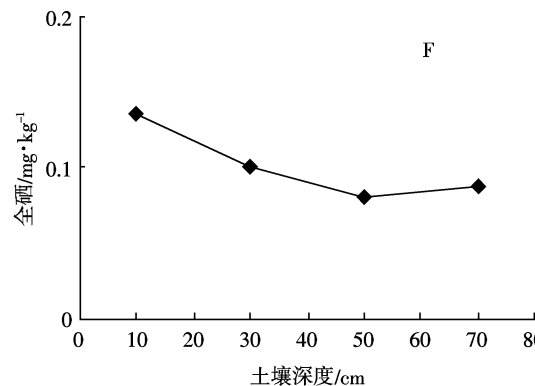
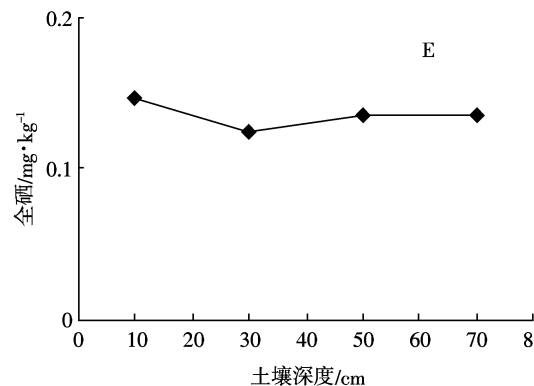
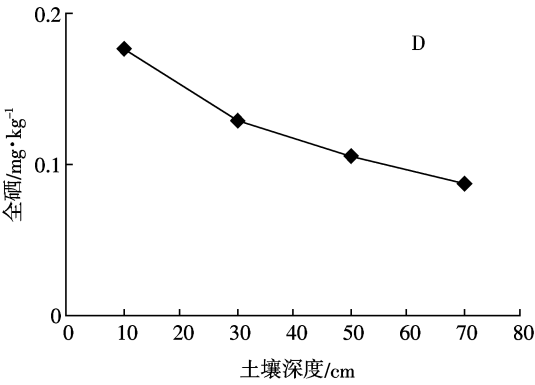
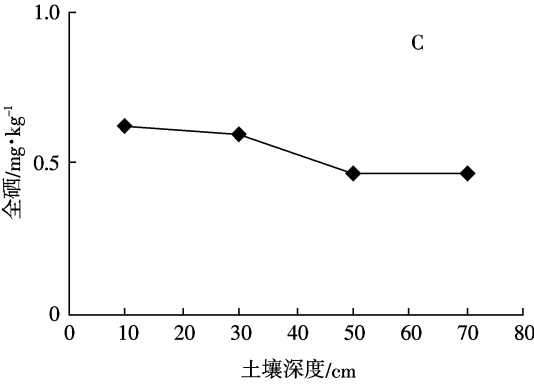
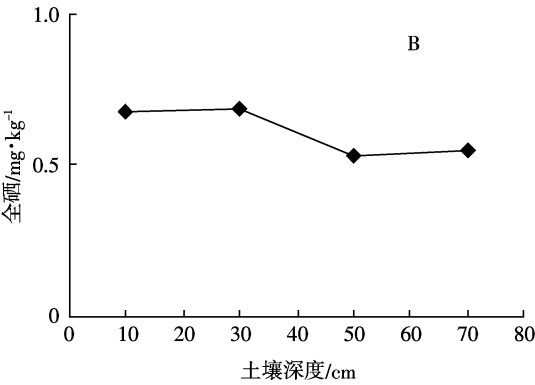
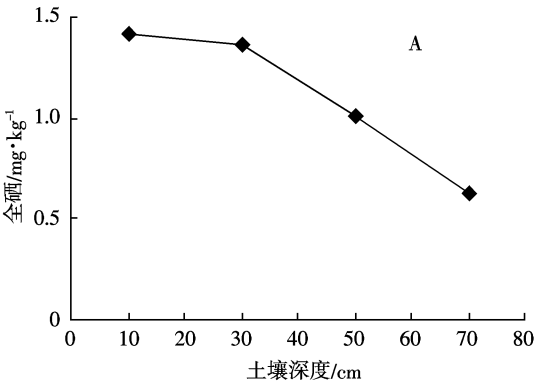
(1) 江苏省典型茶园土壤全硒含量范围 0.10~1.78 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 $0.50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,此值略高于全国平均水平;土壤有效硒含量范围 18.50~86.04 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,平均值为 28.94 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。硒活化率的平均值仅为 9.04%,有效性提高的空间很大,具有较大的潜在利用价值。

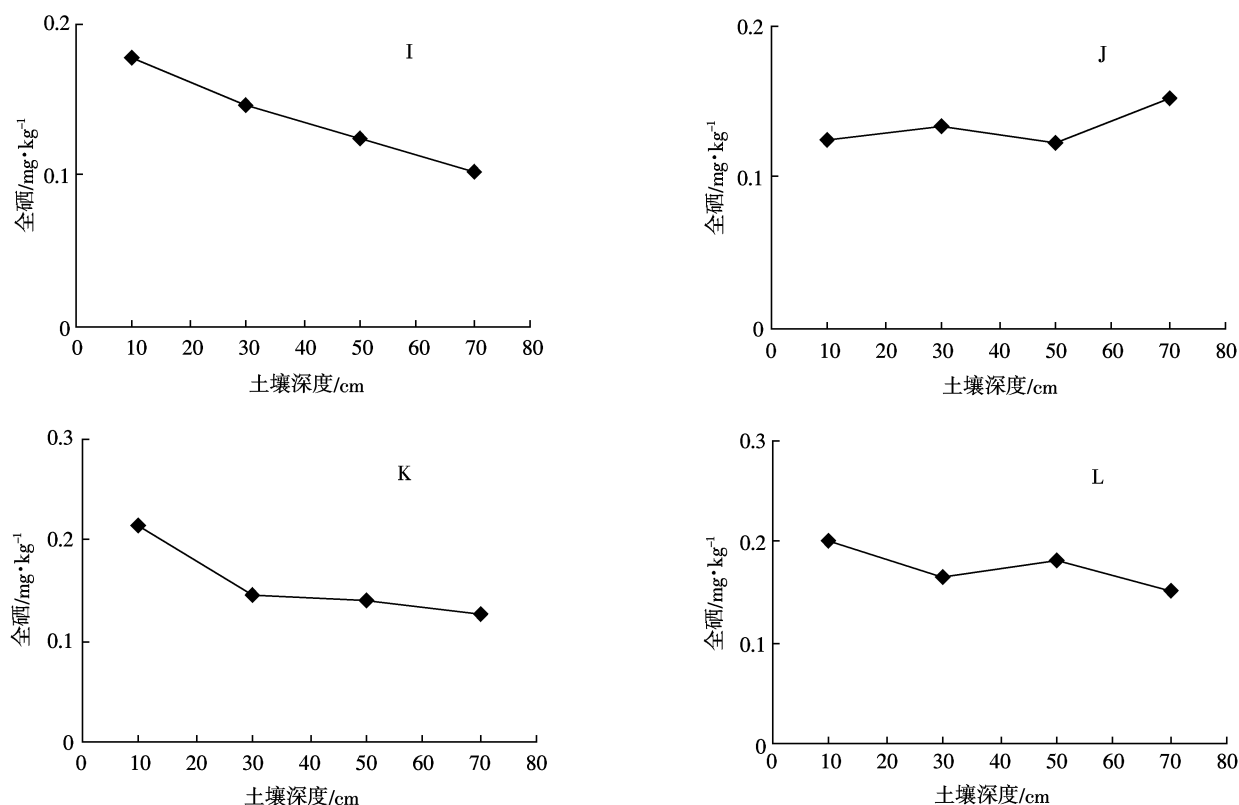
(2) 研究区内宜兴地区茶园土壤硒平均含量为 $0.88 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,显著高于其他地区的 $0.25 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,但是其硒活化率仅为 4.94%,远低于其他地区的 11.87%。由此可见,宜兴地区虽然土壤供硒潜力巨大,但要充分利用富硒土壤开发、生产富硒茶必须提高土壤中硒的活化率和可利用度。

(3) 土壤有效硒含量与土壤 pH 值、CEC 呈极显著正相关关系。因此,可在生产中通过提高土壤 pH 值等改善土壤环境条件的方法来提高土壤硒的有效

性,促进茶树对土壤硒的吸收和转化,充分利用土壤
硒素资源来生产天然、优质的富硒茶。调查区茶园表

层土壤硒的相对含量是趋向增加的,生物积累大于淋
溶作用。





A 宜兴灵谷; B 宜兴芙蓉; C 宜兴岭下; D 南京中山陵; E 南京江宁; F 南京江浦;
G 南京板桥; H 溧水傅家边; I 溧水白龙; J 句容高庙; K 金坛茅麓; L 扬州仪征

图2 江苏省典型茶园土壤剖面中硒的分布

Figure 2 Soil selenium content distribution in tea garden of Jiangsu soil profiles

参考文献:

- [1] Combs G F, et al. The role of selenium in nutrition[J]. *Academic Press Inc*, 1986:15-40.
- [2] Yang G S, et al. The relationship of the Se content food and the Se-toxic disease in China [J]. *The Amer J of Chincial Nutrition*, 1983 (3):872-888.
- [3] 谭伟中, 王志勇, 马纯英, 等. 隆回县天然富硒茶开发前景初探[J]. *茶叶通讯*, 2005, 32(3):15-16.
TAN Wei-zhong, WANG Zhi-yong, MA Chun-ying, et al. Preliminary study on the development prospect of natural selenium-rich tea in Longhui county[J]. *Tea Communication*, 2005, 32(3):15-16.
- [4] 胡秋辉, 潘根兴, 安辛欣, 等. 富硒茶对大鼠抗氧化功能的影响[J]. *茶叶科学*, 2001, 21:44-47.
HU Qiu-hui, PAN Gen-xing, AN Xin-xin, et al. Effect of Se enriched tea on antioxidative function of rat[J]. *Journal of Tea Science*, 2001, 21:44-47.
- [5] HU Qiu-hui, PAN Gen-xing, et al. Effect of fertilization on selenium content of tea and the nutritional function of Se-enriched tea in rats[J]. *Plant & Soil*, 2002, 238:91-95.
- [6] 廖启林, 华明, 冯金顺, 等. 苏南局部富硒土壤及其天然富硒茶叶初步研究[J]. *中国地质*, 2007, 34(2):347-343.
- [7] 马立锋, 石元值, 陆建云. 苏、浙、皖茶区茶园土壤 pH 状况及近十年来的变化[J]. *土壤通报*, 2000, 31(5):205-207.
- [8] 刘林敏, 宁建美, 李贵松, 等. 松阳县农田茶园土壤养分调查分析[J]. *中国茶叶*, 2009(5):30-31.
- [9] LIU Lin-min, NING Jian-mei, LI Gui-song, et al. Investigation of soil nutrients in tea garden and in Songyang[J]. *China Tea*, 2009, 05:30-31.
- [10] 曹丹, 张倩, 肖峻, 等. 江苏省茶园土壤酸化速率定位研究[J]. *茶叶科学*, 2009, 29(6):443-448.
- CAO Dan, ZHANG Qian, XIAO Jun, et al. Localized monitoring of soil acidification rate of tea garden in Jiangsu Province[J]. *Journal of Tea Science*, 2009, 29(6):443-448.
- [10] 沙济琴, 郑达贤. 茶树鲜叶含硒量影响因素分析[J]. *茶叶科学*, 1996, 16(1):25-30.
- SHA Ji-qin, ZHENG Da-xian. Analysis on the factors influencing selenium content of tea fresh leaves[J]. *Journal of Tea Science*, 1996, 16(1):25-30.

- [11] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 30-172.
BAO Shi-dan. Soil analysis in agricultural chemistry[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 30-172.
- [12] 吴少尉, 池泉, 陈文武, 等. 土壤中硒的形态连续浸提方法的研究[J]. 土壤, 2004, 36(1): 92-95.
WU Shao-wei, CHI Quan, CHEN Wen-wu, et al. Sequential extraction: A new procedure for selenium of different forms in soil[J]. *Soils*, 2004, 36(1): 92-95.
- [13] 瞿建国, 徐伯兴, 龚书椿. 氢化物发生-无色散原子荧光光度法测定土壤中有效态硒和总硒[J]. 土壤通报, 1998, 29(1): 47-封3.
QU Jian-guo, XU Bo-xing, GONG SHU-chun. Determination of available and total seleniums in soil by hydride generation-atomic fluorescence spectrometry[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 1998, 29(1): 47-cover three.
- [14] 何振立, 周启星, 谢正苗. 污染及有益元素的土壤化学平衡[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1998: 345.
HE Zhen-li, ZHOU Qi-xing, XIE Zheng-miao. Soil-chemical balances of pollution and beneficial elements[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1998: 345.
- [15] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 370.
China National Environmental Monitoring Center. Background contents on elements of soil in China [M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1990: 370.
- [16] 谭见安. 环境生命元素与克山病[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 1996.
TAN Jian-an. Chronic keshan disease and environmental elements of life[M]. Beijing: Chinese Medicine Science and Technology Press, 1996.
- [17] 江苏省土壤普查办公室. 江苏土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1995: 69-105.
Office of Soil Survey in Jiangsu Province. The soil of Jiangsu Province[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1995: 69-105.
- [18] 李艳慧, 李恋卿, 潘根兴, 等. 江苏宜兴地区农田土壤硒含量变异及其影响因素[J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(3): 61-64.
LI Yan-hui, LI Lian-qing, PAN Gen-xing, et al. Variation of soil selenium in some croplands in Yixing and its influencing factors[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2006, 22(3): 61-64.
- [19] 王雅玲, 潘根兴, 刘洪莲, 等. 皖南茶区土壤硒含量及其与茶叶中硒的关系[J]. 农村生态环境, 2005, 21(2): 54-57.
WANG Ya-ling, PAN Gen-xing, LIU Hong-lian, et al. Soil and tea selenium in tea gardens in south Anhui[J]. *Rural Eco-Environment*, 2005, 21(2): 54-57.
- [20] 何振立, 章明奎, 黄昌勇, 等. 嵊县几种主要土壤硒的状况及有效度评价[J]. 生态学报, 1994, 14(1): 51-56.
HE Zhen-li, ZHANG Ming-kui, HUANG Chang-yong, et al. Studies on the status and availability of selenium in soils in Shexian, Zhejiang Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, 14(1): 51-56.
- [21] 章海波, 骆永明, 吴龙华, 等. 香港土壤研究 II 土壤硒的含量、分布及其影响因素[J]. 土壤学报, 2005, 42(3): 404-410.
ZHANG Hai-bo, LUO Yong-ming, WU Long-hua, et al. Hongkong soil researches II: Distribution and content of selenium in soils[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2005, 42(3): 404-410.
- [22] 唐玉霞, 王慧敏, 刘巧玲, 等. 河北省麦田土壤硒的含量、形态及其有效性研究[J]. 华北农学报, 2010, 25(增刊): 194-197.
TNAG Yu-xia, WANG Hui-min, LIU Qiao-ling, et al. Study on the content, speciation distribution and availability of selenium in wheat field soils of Hebei Province[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2010, 25(Suppl): 194-197.
- [23] 赵少华, 宇万太, 张璐, 等. 环境中硒的生物地球化学循环和营养调控及分异成因[J]. 生态学报, 2005, 24(10): 1197-1203.
ZHAO Shao-hua, YU Wan-tai, ZHANG Lu, et al. Biogeochemical cycling of selenium-nutrition adjustment and differentiation cause in environment[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(10): 1197-1203.
- [24] 赵中秋, 郑海雷, 张春光, 等. 土壤硒及其与植物硒营养关系[J]. 生态学杂志, 2003, 22(1): 22-25.
ZHAO Zhong-qiu, ZHENG Hai-lei, ZHANG Chun-guang, et al. Advances in the studies on selenium in soil and selenium biological effect [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(1): 22-25.
- [25] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 165-166.
HUANG Chang-yong. Soil Science[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 165-166.
- [26] 侯涛, 徐仁扣. 胶体颗粒表面双电层之间的相互作用研究进展[J]. 土壤, 2008, 40(3): 377-381.
HOU Tao, XU Ren-kou. Progresses on interactions between electric double layers on colloid surface[J]. *Soils*, 2008, 40(3): 377-381.
- [27] 张琪, 方海兰, 黄懿珍, 等. 土壤阳离子交换量在上海城市土壤质量评价中的应用[J]. 土壤, 2005, 37(6): 679-682.
ZHANG Qi, FANG Hai-lan, HUANG Yi-zhen, et al. Application of soil CEC to evaluation of soil quality in Shanghai[J]. *Soils*, 2005, 37(6): 679-682.
- [28] 王美珠, 章明奎. 我国部分高硒低硒土壤的成因初探[J]. 浙江农业大学学报, 1996, 22(1): 89-93.
WANG Mei-zhu, ZHANG Ming-kui. A discussion on the cause of high-Se and low-Se soil formation[J]. *Journal of Zhejiang Agricultural University*, 1996, 22(1): 89-93.