

浙江地区杨梅园土壤重金属含量 变异特征与污染风险评价

吕豪豪^{1,2}, 梁森苗⁵, 刘玉学^{1,2}, 江波^{3*}, 吕爱华³, 钟哲科^{2,4}, 杨生茂^{1,2*}

(¹浙江省农业科学院环境资源与土壤肥料研究所, 杭州 310021; ²浙江省生物炭工程技术研究中心, 杭州 310021; ³浙江省林产品质量检测站, 杭州 310023; ⁴国家林业局竹子研究开发中心, 杭州 310012; ⁵浙江省农业科学院园艺研究所, 杭州 310021)

摘要:【目的】对浙江省杨梅果园土壤6种重金属含量及动态变化特征进行研究, 评价浙江省杨梅园土壤重金属的污染风险。【方法】对2007—2013年连续采集的241个土壤样品中铜、锌、铅、镉、铬、砷和汞等重金属含量进行了分析测定, 并通过相关性分析、污染指数等方法分析杨梅园重金属之间的联系及其污染风险。【结果】各个年度杨梅园土壤重金属含量均值较高的为铬和锌, 其余依次为铅、铜、砷、汞和镉; 除少部分地块一些重金属(汞、砷、铅和锌)指标存在超限值之外, 绝大部分地块各指标均低于食用林产品产地土壤环境质量标准。采用单项污染指数和综合污染指数法, 对照食用林产品产地环境通用要求中食用林产品产地土壤环境质量标准, 对土壤重金属进行了环境质量评价, 结果表明, 单因子污染指数2008年汞最高, 为0.90, 锌大部分年度(除2009年和2012年)单项污染指数均超过0.70, 处于警戒安全限值。【结论】浙江省杨梅园土壤各项重金属元素的单因子污染指数均小于1, 且重金属综合污染指数也均小于1, 表明土壤清洁, 但锌元素污染指数处于警戒水平, 值得持续关注。

关键词: 杨梅; 果园; 土壤; 重金属; 风险评价

中图分类号: S667.6

文献标志码: A

文章编号: 1009-9980(2017)04-0473-09

Heavy metals in soils and assessment of environmental risk in *Myrica rubra* plantations in Zhejiang province

LÜ Haohao^{1,2}, LIANG Senmiao⁵, LIU Yuxue^{1,2}, JIANG Bo^{3*}, LÜ Aihua³, ZHONG Zheke^{2,4}, YANG Shengmao^{1,2*}

(¹Institute of Environment, Resource, Soil, and Fertilizer, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, Zhejiang, China; ²Biochar Engineering Research Center of Zhejiang Province, Hangzhou 310021, Zhejiang, China; ³Zhejiang Forestry Product Test Station, Hangzhou 310023, Zhejiang, China; ⁴China National Bamboo Research Center, Hangzhou 310012, Zhejiang, China; ⁵Institute of Horticulture, Zhejiang Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310021, Zhejiang, China)

Abstract: 【Objective】*Myrica rubra* is a subtropical tree grown for its sweet, crimson to dark purple-red, edible fruit, which is very populous in China. It is native to eastern Asia, mainly in south-central China, where the tree has been cultivated for at least 2 000 years. Due to the high medicinal and edible values of *M. rubra*, the planting area of the fruit has exceeded 5 million acres in China including 1.3 million acres in Zhejiang province. With people's concerns about the healthiness of the diet, increasing attention is being paid upon the production environment and fruit quality and safety of *M. rubra*. Heavy metal content in *M. rubra* soil is an important parameter for the safety of the product. In this study, the contents of six heavy metals in soils sampled from orchards in Taizhou, Wenzhou, Shaoxing and other places of Zhejiang province were investigated. The aim was to provide a reference for the evaluation and management of soils and environmental quality in the traditional *M. rubra* producing regions in China. 【Methods】Two hundred

收稿日期: 2016-06-08 接受日期: 2016-12-30

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201203089); 浙江省科技计划项目(2015C03020); 国家国际科技合作项目(2014DFE90040)

作者简介: 吕豪豪, 助理研究员, 主要从事农业环境保护相关研究工作。Tel: 0571-86419202, E-mail: lvhao_1026@126.com

*通信作者 Author for correspondence. E-mail: jiangbof@126.com; Yangshengmao@263.net

and forty-one soil samples were collected from the *M. rubra* producing areas in Zhejiang province from 2007 to 2013. Soils were sampled from a depth of 0–40 cm, and each sample volume was 1 kg evenly composed of soils sampled from five sites randomly selected from *M. rubra* orchards. The Pb, Cd, Cu, Zn and Cr contents were detected with an atomic absorption spectrophotometer and As and Hg contents were detected using an atomic fluorescence spectrometer. Correlation analysis was carried out to reveal the relationships between heavy metals. The assessment of heavy metal pollution in the orchards was conducted using single pollution index and comprehensive pollution index methods. 【Results】The average contents of heavy metals in the soil samples from the *M. rubra* plantations were in the order of Zn > Cr > Pb > Cu > As > Hg > Cd. The contents of Hg, As, Pb and Zn in some soil samples exceeded the limits. In case of Hg, there was only one sample with 0.21 mg kg⁻¹, which was slightly higher than the limit of 0.20 mg kg⁻¹. The contents of As in 6 soil samples were slightly higher than the limit. The Pb contents in 18 soil samples collected mostly in 2007 and 2008 were higher than the current limit of 45 mg kg⁻¹. In addition, 20 soil samples had a Zn content that exceeded the limit value of 100 mg kg⁻¹. The majority of heavy metals in the *M. rubra* soils showed a slow decreasing trend from 2007 to 2013. Correlation analysis of heavy metals and pH value in the soils showed that there was no significant correlation between Hg and other elements. The content of Cu showed significant positive correlations with As, Zn, Cd and Cr. There was a positive correlation between Pb and Cd as well as between Cr and As ($P < 0.001$). However, a significant negative correlation was found between pH and As and between pH and Cr. Except for Hg, As, Pb and Zn in a few of the soil samples, the heavy metal contents in most of the soil samples were lower than the limits of the soil environment quality standard. Soil samples were also assessed by means of the single factor pollution index method and the comprehensive pollution index method. The result showed that the highest single factor pollution index was found in Pb in soil samples collected in 2008, which was 0.90. For most of the years (except for 2009 and 2012), the pollution index of Zn was higher than 0.70, which was below the limit for food safety. However, the single factor pollution indexes of the heavy metals were all lower than 1.0, and so was the comprehensive pollution index. 【Conclusion】Although some soil samples contained heavy metals exceeding the limits, the pollution index showed low risk of heavy metal pollution in the soils of *M. rubra* plantations in Zhejiang province. However, the pollution index of Zn was always on the alert level, which needs to be further studied with the method of source apportionment. Policy of source control and prevention should be adopted to control heavy metal pollution in *M. rubra* plantations.

Key words: *Myrica rubra*; Orchard; Soil; Heavy metal; Risk assessment

杨梅原产浙江余姚,是我国东南沿海典型的亚热带水果,其果实色泽鲜艳,酸甜适口,且具有健胃益脾等诸多药用功效。杨梅果树属于非豆科固氮常绿果树,适宜在山地栽培。由于杨梅具有较高的药用和食用价值,近年来,我国杨梅产业发展迅速,杨梅种植面积已经突破 33.3 万 hm²,浙江省也是我国杨梅最集中的产区之一,其种植面积也达到 8.67 万 hm²^[1-2]。而随着人们对农产品品质重视程度的升高,也对杨梅果实品质提出新的要求。杨梅果实品质受杨梅果园的土壤环境影响显著,土壤养分是植物正常生长发育不可或缺的,对杨梅的产量、品质以

及植株生长发育具有重要的作用^[1-3],而土壤中的有害元素如重金属等可通过植株根系吸收进入植物体进而在果实处累积,危害食品安全和人体健康^[4-5]。有研究表明,某杨梅园土壤中镉(Cd)、铅(Pb)、砷(As)含量均明显高于当地土壤重金属的背景值,杨梅枝、根、叶、果实中均可检出铜(Cu)、Cd、Pb 和汞(Hg)等重金属元素^[6],且杨梅对重金属 Pb 具有一定的超积累效应^[7]。目前,我国把杨梅土壤重金属含量列为杨梅产地环境要求检测的重要参数指标之一。因此,探明杨梅果园土壤重金属含量及其动态演变趋势,对于建设绿色安全的杨梅生产体系、保障杨梅产

业健康持续稳定发展具有重要的现实意义。近年来,国内外学者分别对农田、城市以及矿区等地土壤重金属的分布特征与污染评价进行了大量研究^[8-11],但对杨梅园土壤重金属含量及其风险研究仍相对较少。笔者于2007—2013年对浙江省宁波、台州、温州、绍兴等地杨梅果园采集的241个土壤样品中的6种重金属含量进行分析,采用污染指数法分析、评价了重金属的污染风险,旨在为传统杨梅果实安全和土壤环境质量管理提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 样品采集

根据浙江省杨梅产业的趋于分布特征,于2007—2013年在黄岩、仙居、三门、台州、临海、温岭、兰溪、长兴、上虞、宁波、温州、永嘉、泰顺、文成、苍南、瑞安、丽水等县(市、区)的杨梅果园采集典型性土壤样品241份(表1)。土壤采集深度为0~40 cm,每个样品由随机选取的5个样地混合均匀制得,每份样品取1 kg土壤,经过风干、研磨、过2 mm筛后用于相关测试研究。

表1 2007—2013年杨梅园产地土壤采样分布

Table 1 Sample distribution in the *Myrica rubra* producing areas in 2007—2013

产地 Place	2007年 In 2007	2008年 In 2008	2009年 In 2009	2010年 In 2010	2011年 In 2011	2012年 In 2012	2013年 In 2013
丽水 Lishui	3	8	9	4			
湖州 Huzhou	3	2	3	3	2		1
温州 Wenzhou	16	13	11	8	13	1	2
台州 Taizhou	27	16	3	8	20	4	5
舟山 Zhoushan	4			3	3		
宁波 Ningbo	3				2		
衢州 Quzhou	1	3	2	2	1		
绍兴 Shaoxing	2	1	4	2	3	1	3
金华 Jinhua	2	2	6	2	2		
合计 Total	61	45	38	32	46	6	11

1.2 检测方法

所有样品预处理和含量测定采用尚素微等^[5]的方法。采用原子吸收分光光度计分析测定总铜

(Cu)、总锌(Zn)、总铅(Pb)、总镉(Cd)和总铬(Cr)含量,采用原子荧光光度计分析总汞(Hg)和总砷(As)含量。

1.3 土壤重金属评价

根据《LY/T 1678—2014 食用林产品产地环境通用要求》中食用林产品产地土壤环境质量指标(表2),对各地区杨梅食品基地土壤重金属含量进行评估。

表2 食用林产品产地土壤环境质量指标

Table 2 Soil heavy metal limits qualifying production of edible forest products

重金属 Heavy metals	浓度限值 Limit values/(mg·kg ⁻¹)
镉 Cd	0.25
汞 Hg	0.20
砷 As	20.00
铅 Pb	45.00
铬 Cr	100.00
铜 Cu	80.00
锌 Zn	100.00

进一步分别采用单项污染指数和综合污染指数对各年度杨梅园土壤重金属含量水平进行分析。单项污染指数的计算模型为: $P_i = C_i \cdot S_i^{-1}$ 。式中, P_i 为杨梅园土壤重金属*i*的单项污染指数, C_i 为杨梅土壤实际测定的重金属*i*质量分数/(mg·kg⁻¹), S_i 为杨梅土壤重金属*i*评价标准中的限值/(mg·kg⁻¹)。 $P_i > 1$,表示超标; $P_i \leq 1$,表示合格。

综合污染指数评价:

$P = \sqrt{[(C_i/S_i)_{\max}^2 + (C_i/S_i)_{\text{avr}}^2]/2}$ 。式中, P 为土壤综合污染指数, $(C_i/S_i)_{\max}$ 为单项污染指数最大值, $(C_i/S_i)_{\text{avr}}$ 为单项污染指数平均值。

2 结果与分析

2.1 2007—2013年浙江省杨梅产地土壤重金属含量时空变化特征(重点看变异系数)

2007—2013年浙江省杨梅产地241个土壤样品重金属含量总体分布如表3所示。2007—2013年度浙江省杨梅产地土壤重金属含量变化幅度较大,土壤中汞、砷、铅、镉、铬、铜和锌的质量分数分别为0.002~0.21 mg·kg⁻¹、0.18~47 mg·kg⁻¹、3.6~70 mg·kg⁻¹、0.68~250 μg·kg⁻¹、0.46~99 mg·kg⁻¹、0.68~72 mg·kg⁻¹和2.3~283 mg·kg⁻¹,变异系数为0.46~0.82,其中汞、铬、锌的变异系数小于砷、铅、镉和铜。各地区个别地块的部分土壤重金属(汞、砷、铅和锌)指标的最大值存在超标的现象,其中土壤汞含量仅有1个样品

为 $0.21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 略高于限值。土壤砷含量有 6 个样品略高于限值。土壤铅含量有 18 个样品含量高于目前的限值 ($45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 主要集中在 2007—2008 年, 但样品的铅含量仍低于当时的限值 ($70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。此外有 20 个土壤样品锌含量高于限值 ($100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

从土壤中重金属浓度的均值来看, 锌和铬质量分数较高, 分别为 78.80 、 $32.03 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 其余依次为铅、铜、砷、汞和镉, 但各指标均低于森林食品产地土壤质量指标要求。

2007—2013 年浙江省杨梅产地土壤重金属含

表 3 2007—2013 年浙江省杨梅产地土壤重金属含量总体分析

Table 3 Heavy metal contents in soils in the *Myrica rubra* producing areas of Zhejiang province from 2007 to 2013

项目 Item	$\omega(\text{Hg})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{As})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{Pb})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{Cd})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{Cr})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{Cu})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{Zn})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
平均值 Average value	0.09(0.46)	6.04(0.80)	26.77(0.72)	0.07(0.79)	32.03(0.55)	13.24(0.82)	78.80(0.51)
最大值 Maximum value	0.21	47.00	70.00	0.25	99.00	72.00	283.00
最小值 Minimum value	0.002	0.18	3.6	0.01	0.46	0.68	2.30
森林食品产地土壤环境质量指标 Soil environmental quality index of forest food	<0.2	<20	<45	<0.25	<100	<80	<100

注: 括号中数字为样本的变异系数。下同。

Note: The numbers in brackets are the coefficient of variation of the sample. The same below.

量变化趋势如表 4 所示, 杨梅园土壤汞的含量一直处于降低的趋势, 除 2007 年达到 $0.11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 外, 之后其含量持续降低, 维持在 $0.10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 以下, 低于森林食品产地土壤环境质量指标 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的限值。杨梅园土壤砷含量存在先升高后降低的趋势, 2007 年至 2009 年其含量从 $6.70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 升至 $9.79 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 之后其含量显著下降至 $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右。杨梅园土壤铅的含量也呈先升高后降低的趋势, 2007 年至 2008 年从 $27.80 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 升至 $40.49 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 之后显著下降, 至 2013 年降至最低值 $10.69 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 显著低于限值。杨梅园土壤镉含量波动较小, 除 2008 年最高 ($0.11 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 之外, 其余年份杨梅园土壤镉含量均低于 $0.10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。杨梅园土壤铬含量各年度均

低于限值 ($100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 其中 2007—2009 年从 $30.85 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 升高至 $45.41 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 之后下降至 $30 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右。各年度杨梅园土壤铜含量显著低于限值, 且随着时间的推移, 铜含量呈缓慢降低的趋势。各年度杨梅园土壤锌含量均低于限值 ($100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), 除 2012 年含量最低 ($43.00 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) 之外, 其余各年间含量均为 $70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右。杨梅产地重金属含量与产地环境变化、施用的肥料和农药施用量, 以及产地附近的人类活动相关。随着社会的发展进步和人们环保意识的增强, 浙江省杨梅产地土壤的重金属含量总体呈降低的趋势。

浙江省杨梅产地土壤重金属相关性分析如表 5 所示, Hg 与其他元素均无显著性相关, Cu 与大部分

表 4 2007—2013 年浙江省杨梅产地土壤重金属含量年度变化趋势

Table 4 Heavy metal contents in the soils in the *Myrica rubra* producing areas of Zhejiang province during 2007—2013

采样年份 Sampling year	$\omega(\text{Hg})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{As})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{Pb})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{Cd})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{Cr})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{Cu})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\omega(\text{Zn})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
2007	0.11(0.26)	6.70(0.62)	27.80(0.98)	0.09(0.64)	30.85(0.54)	16.27(0.86)	70.12(0.48)
2008	0.08(0.44)	6.86(0.80)	40.49(0.40)	0.11(0.65)	37.67(0.43)	12.13(0.60)	71.99(0.44)
2009	0.06(0.47)	9.79(0.64)	23.84(0.52)	0.08(0.86)	45.41(0.49)	15.97(0.71)	66.52(0.56)
2010	0.07(0.63)	7.42(0.71)	16.56(0.56)	0.08(0.86)	38.56(0.59)	13.87(0.98)	82.31(0.32)
2011	0.09(0.41)	6.10(1.11)	23.69(0.43)	0.06(0.99)	28.55(0.62)	12.67(0.87)	70.64(0.56)
2012	0.05(0.09)	4.48(0.08)	16.27(0.06)	0.09(0.07)	33.17(0.16)	5.02(0.25)	43.00(0.04)
2013	0.08(0.81)	5.37(0.94)	10.69(0.57)	0.07(0.67)	29.50(0.44)	8.70(0.76)	75.95(0.96)
森林食品产地土壤环境质量指标 Soil environmental quality index of forest food	<0.2	<20	<45	<0.25	<100	<80	<100

表5 浙江省杨梅产地土壤重金属含量及 pH 的相关性分析
Table 5 Correlation coefficients of heavy metal contents and pH in soils in the *Myrica rubra* producing areas of Zhejiang province

	Hg	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn	pH
Hg	1.00							
As	0.09	1.00						
Pb	0.14	0.06	1.00					
Cd	0.13	0.08	0.28**	1.00				
Cr	-0.09	0.25**	0.01	0.03	1.00			
Cu	0.00	0.25**	0.16	0.23**	0.41**	1.00		
Zn	0.11	0.03	0.45**	0.26**	0.001	0.29**	1.00	
pH	0.00	-0.21*	0.001	0.14	-0.25**	0.10	0.06	1.00

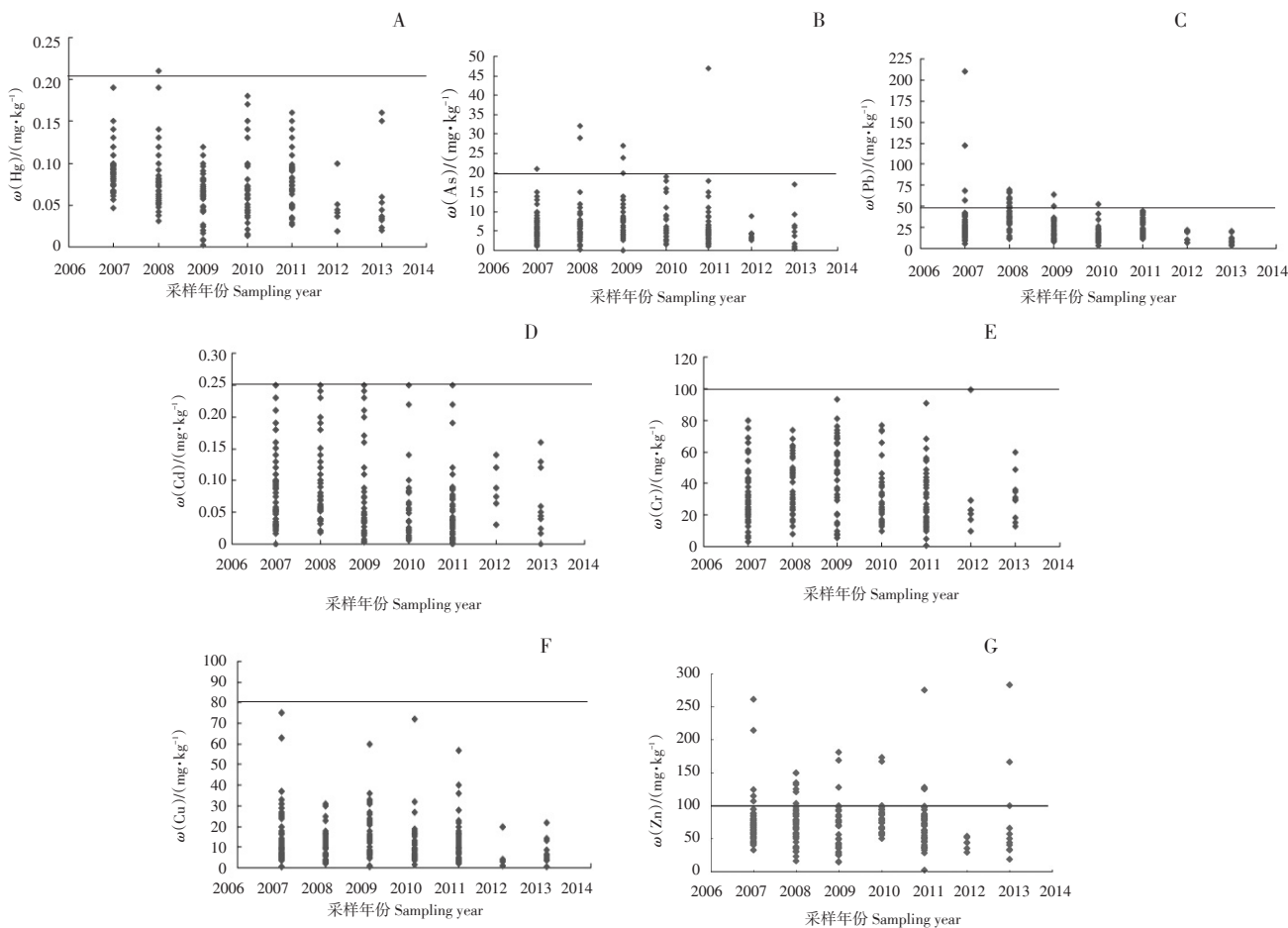
注:表中*表示在 0.01 水平上显著相关,**表示在 0.001 水平上显著相关。

Note: * indicates significant correlation at the 0.01 level. ** indicates significant correlation at the 0.001 level.

重金属元素(As、Zn、Cd和Cr)呈显著正相关,Zn与Cu、Pb、Cd呈显著正相关。此外,Pb与Cd以及Cr与

As也呈正相关($P < 0.001$)。杨梅产地土壤pH与As、Cr呈显著负相关。

2007—2013年浙江省杨梅产地土壤重金属含量分布如图1所示。杨梅园土壤汞的含量分布如图1-A所示,除2008年台州地区有一地块汞含量为 $0.21 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,略高于限值($0.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,超标率为0.4%)之外,其余样品均低于限值,其中除少部分样品汞质量分数为 $0.15 \sim 0.20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,其余杨梅园地块土壤汞质量分数均低于 $0.15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,表明浙江省杨梅园土壤汞含量较安全,且处于逐渐降低的趋势(图1-A,表4)。杨梅园土壤砷的含量分布如图1-B所示,2007、2008、2009和2011年在温州、长兴、衢州和台州地区有部分土壤地块砷质量分数超过限值($20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,超标率为2.4%),绝大部分的杨梅园地块重金属质量分数低于 $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,较为安全,且2012年之后杨梅园土壤砷的含量呈下降的趋势,2012和



横线为各个重金属含量的限值。

The horizontal line is the limit value of each heavy metal content.

图1 2007—2013年浙江省杨梅产地土壤重金属含量分布

Fig. 1 Distribution of heavy metals in the *Myrica rubra* producing areas of Zhejiang province during 2007—2013

2013年杨梅园土壤砷的浓度均符合森林食品产地土壤环境质量指标要求。杨梅园土壤铅的含量分布如图1-C所示,2007—2010年均有地块样品高于限值($45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,超标率为7.4%),其中2007年和2008年较多,分别为3、12个样品,主要出现在温州、台州地区的部分地块,但2008年12个样品均低于当时的限值($70 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)和《土壤环境质量标准》GB15618—1995中的二级标准限值。2009年之后各地区杨梅园土壤杨梅铅含量有所回落,除少量地块(2009年2个样品,2010年1个样品)存在超限值的情况,其余样品均低于安全限值。杨梅园土壤镉、铬和铜的含量较为相似,除个别样品地块土壤含量接近限值,绝大部分的样品的含量均在限值下呈正态分布特征。杨梅园土壤锌的含量超标地块最多,241个样品中20个土壤样品锌含量超过限值,且各个地区均有超标地块(超标率为8.2%),其中2007年5个、2008年6个、2009年2个、2010年2个、2011年3个、2013年2个。

2.2 2007—2013年浙江省杨梅产地土壤重金属污染风险评价

2007—2013年浙江省杨梅产地的土壤重金属含量水平的污染指数见表6。从表6中可以看出,在监测的241份土壤中,各元素平均污染指数的高低排列顺序为 $\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Hg} > \text{Cr} > \text{Cd} = \text{As} > \text{Cu}$ 。2008年铅的污染指数最大,为0.90,处于污染的警戒线($P > 0.70$),但综合污染指数小于1。浙江省杨梅产地的土壤锌含量水平大部分接近0.70的警戒线,需要今后进行重点关注。总体而言,2007—2013年浙江省杨梅产地的土壤重金属含量水平的污染指数均小于

表 6 2007—2013年浙江省杨梅产地土壤重金属环境质量评价

Table 6 Environmental quality assessment index of heavy metals in *Myrica rubra* producing areas of Zhejiang province

采样年份 Sampling year	P_{Hg}	P_{As}	P_{Pb}	P_{Cd}	P_{Cr}	P_{Cu}	P_{Zn}	$P_{\text{综合Total}}$
2007	0.55	0.33	0.62	0.36	0.31	0.20	0.70	0.58
2008	0.40	0.34	0.90	0.44	0.38	0.15	0.72	0.72
2009	0.30	0.49	0.53	0.32	0.45	0.20	0.67	0.55
2010	0.35	0.37	0.37	0.32	0.38	0.17	0.82	0.64
2011	0.45	0.31	0.53	0.24	0.28	0.16	0.71	0.56
2012	0.25	0.22	0.36	0.36	0.33	0.06	0.43	0.33
2013	0.40	0.27	0.24	0.28	0.29	0.11	0.76	0.58
平均值 Average	0.38	0.33	0.51	0.33	0.35	0.15	0.68	

1,属于清洁。

3 讨 论

土壤之中含有丰富的元素,其中镉、汞、铜、铅、铬、锌、镍和砷等是土壤中的重金属元素^[12-13]。虽然这些重金属元素为自然的成土母质,在土壤中有一定的背景含量^[12-13],但如果这些重金属含量超过一定的限值就会对土壤造成污染,进而影响植物生长和果实品质。随着人类农业化工水平的不断提高,农药、肥料的施用越来越频繁,使得重金属元素易在土壤中积累,当土壤重金属含量超过一定风险阈值,土壤将逐渐失去自净能力,进一步形成土壤重金属污染。杨梅产地土壤重金属含量监测是森林食品土壤环境要求的一项重要指标,关系到杨梅的种植健康以及果品安全^[14-15]。

杨梅果园土壤中汞的污染主要来源于氯碱、汞化合物生产的工业废水以及含汞农药的使用^[16-17]。此外,大气的干湿沉降也是导致土壤汞来源及逐渐积累、造成污染的成因之一^[18]。汞的毒性由其化学形态、环境条件和侵入人体的途径、方式决定。汞由于其沸点低可通过蒸汽的形式快速地扩散进入人体,此外也可以通过食物摄入的方式进入人体,金属汞具有较大的脂溶性,进入人体后可经血液运至全身。目前随着国家对含汞农药以及含汞危险废物的监管力度的加强,果园的土壤汞含量均处于较低的水平^[17]。本研究也表明,浙江杨梅主产区土壤汞浓度均低于森林食品产地土壤环境质量指标,且汞与其他重金属均无显著相关性,表明浙江杨梅园土壤汞元素可能来源于痕量的大气干湿沉降,汞单因素环境土壤污染指数也均低于0.5。

类金属砷的冶炼、开采,玻璃、颜料、纸张、原药等需要砷或砷化合物作原料的产业生产,以及煤炭的燃烧等都会不同程度地产生含砷废弃物,具有潜在的环境污染风险。砷是土壤的敏感类污染物,土壤中砷的浓度不仅可直接影响作物生长过程和果实品质,而且可通过食物链影响人类的健康安全^[19]。从农业土壤中砷的来源看,土壤砷的自然来源为成土母质,而人为因素如采矿业和制造业是导致果园土壤砷污染的重要原因。此外含砷农药(如退菌特、田安、甲基砷酸锌、福美砷等)也是果园土壤砷含量积累的原因之一^[17]。磷肥、复合肥等肥料也能导致果园土壤砷含量累积。本研究发现2007、2008、

2009和2011年在温州、长兴、衢州和台州地区有部分土壤地块砷含量超过限值($20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),需要进一步跟踪调查该土壤地块的周边环境因素和施肥管理水平,确定超标地块的污染来源,进行针对性的改良。而在2012与2013年无检出超限值地块,表明随着时间的推移,浙江杨梅园土壤砷含量潜在的环境风险慢慢变小。此外土壤砷元素与土壤pH呈显著负相关,而土壤中pH值一般受成土母质的影响,因此推测浙江省杨梅园砷元素主要来源于成土母质。

铅不是人体的必需元素,自然状态下,土壤中的铅主要来源于成土母质,浓度也较低,其对人体及生态系统的环境风险也较低。而人类活动的作用,是形成土壤铅污染的主要原因,含铅金属矿床开发、城市化建设、蓄电池产业等,都可能使铅在土壤中积累^[20]。随着社会经济的发展,汽车尾气也成为目前生态环境中铅污染的主要来源之一^[21]。农业生产中,施用化肥、农药、污泥和污水灌溉过程中也有可能为土壤引入铅污染。铅在植物体中的危害主要通过破坏生物膜的结构,造成线粒体、叶绿体等细胞器功能的损伤,进一步影响光合、呼吸以及碳水化合物代谢等过程,最后导致植物生长受限甚至死亡^[22]。本研究的结果表明,2007—2008年杨梅园土壤铅含量有较大的升高,在温州、台州的地区部分地块已超过限值($45 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$),这可能和当时的环境管理以及社会的发展有关,虽然这些地块的铅含量低于《土壤环境质量标准》GB15618—1995中的二级标准,但仍需引起足够的重视。而目前随着国家对农业环境铅污染的持续关注,含铅农药已基本淘汰,且汽油油品也在持续升级,随着清洁汽油的日益普及,果园土壤铅含量也呈下降的趋势。

镉也不是人体必需元素,在自然界中常以化合物状态存在,一般含量很低。但人为活动中,镉广泛应用于电镀工业、化工业、电子业等领域。果园土壤中镉可能来源于磷肥或其他化肥的重金属杂质、果园中塑料制品的使用(镉常用于塑料的稳定剂)以及采矿业和制造业的危险废物。而环境中大量的镉污染主要出现在水体污染方面,其引起的稻田镉污染已经成为社会关注的热点话题,而杨梅园一般地处丘陵地带,因此水体污染对其影响较小。本研究也证实随着时间的推移,浙江省杨梅园土壤镉含量正处于逐步减少的状况。

铬广泛存在于自然界,其自然来源主要是岩石

风化,大多呈三价,自然环境下铬含量不会对植物造成危害。三价铬和六价铬对人体健康都有害,被怀疑有致癌作用。一般认为六价铬的毒性强,比三价铬要高100倍,更易为人体吸收,而且可在体内蓄积。除受工业污染外,果园一般较少出现铬污染的情况,本研究也表明2007—2013年浙江省杨梅园土壤铬含量均低于森林食品产地土壤环境质量指标,且与As呈显著正相关,与pH呈显著负相关,推测其主要来源于成土母质^[23]。

铜和锌均为植物生长所必需的微量元素,对植物的生理代谢起重要作用。土壤中铜和锌的缺乏或过剩都会导致植物生长发育受阻甚至遗传特性发生突变,进而影响农产品产量和品质。果园土壤中铜和锌来源于冶炼、铜制品生产、纺织等行业的废弃物,而这些领域一般在杨梅园土壤不容易出现,含铜、锌农药则是果园土壤中铜和锌的主要输入源,尤其是硫酸铜、氧氯化铜、氢氧化铜、炭疽福美、甲霜、灵锰锌、碱式硫酸铜、络氨铜、春雷氧氯化铜、代森锌、代森锰锌、杀毒矾等含铜、锌农药的施用仍然十分普遍^[24-25]。浙江省杨梅园土壤铜含量就目前而言仍处于较为安全的范围,且在2012—2013年略有降低。杨梅园土壤铜和锌元素与铅、镉等元素呈显著正相关,推测部分来源于农药的输入。浙江省杨梅园土壤锌含量在2007—2013年均有超标地块检出,其中2007和2008年的超标地块较多,温州、台州、湖州等地区均有出现。进一步对污染指数分析,锌污染指数始终接近0.70的警戒线,需要长期监测观察杨梅园锌含量的变化趋势,结合杨梅园施肥、管理、周边环境以及社会活动等因素综合分析,做好杨梅园土壤锌的溯源工作,同时做好锌含量超标地块杨梅生产以及杨梅果实的品质监测,确保杨梅品质不受影响。

4 结 论

环境污染指数评价表明,浙江杨梅产地土壤总体未受重金属污染,但2007—2010年的部分地块仍存在(汞、砷、铅和锌)超标的现象,应引起重视。其中锌污染指数始终处于警戒水平,应长期重点关注,并通过源解析等方法进一步研究。管理上,浙江杨梅园土壤重金属污染防治应该采取预防为主,对已污染过的果园进行污染源解析,进一步切断污染源。新的杨梅园选址应远离公路、工业区等高污染

风险地区。在杨梅园管理上,业主应严格施肥和生产管理,定期检测以确保杨梅质量,实现杨梅产业的可持续发展。

参考文献 References :

- [1] 戚行江. 杨梅病虫害及安全生产技术[M]. 中国农业科学技术出版社,2014.
QI Xingjiang. Disease and pest control and safe production technology of red bayberry[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press,2014.
- [2] 何新华,潘鸿,余金彩,郭永泽. 杨梅研究进展[J]. 福建果树, 2006,27(4): 16-23.
HE Xinhua, PAN Hong, SHE Jincai, GUO Yongze. Advances in bayberry[J]. Fujian Fruits,2006, 27(4): 16-23.
- [3] 梁森苗,王耀锋,刘玉学,吕豪豪,杨生茂. 我国杨梅主产地土壤养分状况的分析[J]. 果树学报,2015,32(4): 658-665.
LIANG Senmiao, WANG Yaofeng, LIU Yuxue, LÜ Haohao, YANG Shengmao. Present situation of soil nutrients in bayberry orchard of China[J]. Journal of Fruit Science, 2015, 32(4): 658-665.
- [4] 王白坡,程晓建,符庆功,喻卫武,王慧. 浙江省杨梅产地环境条件评价及无公害生产关键措施[J]. 浙江农林大学学报, 2007,24(5): 550-554.
WANG Baipo, CHENG Xiaojian, FU Qinggong, YU Weiwu, WANG Hui. Evaluation of pollution-free *Myrica rubra* production in Zhejiang province[J]. Journal of Zhejiang A & F University, 2007,24(5): 550-554.
- [5] 尚素微,柴振林,朱杰丽,蒋步云. 浙江省杨梅产地土壤重金属含量水平及其评价[J]. 江西农业学报,2010,22(4): 66-68.
SHANG Suwei, CHAI Zhenlin, ZHU Jieli, JIANG Buyun. Evaluation on soil heavy metal content in *Myrica rubra* producing area of Zhejiang province[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2010, 22(4): 66-68.
- [6] 刘政,程晓建,罗国安. 杨梅树体中重金属元素的分布特征[J]. 湖北农业科学,2015,54(5): 1122-1124.
LIU Zheng, CHENG Xiaojian, LUO Guoan. Distribution characteristics of heavy metals in *Myrica rubra*[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015, 54(5): 1122-1124.
- [7] 何新华,陈力耕,何冰,胡西琴. 铅对杨梅幼苗生长的影响[J]. 果树学报,2004,21(1): 29-32.
HE Xinhua, CHEN Ligeng, HE Bing, HU Xiqin. Effect of lead nitrate on the grown of *Myrica rubra*[J]. Journal of Fruit Science, 2004, 21(1): 29-32.
- [8] 杨元根, PATERSON E, CAMPBELL C. 城市土壤中重金属元素的积累及其微生物效应[J]. 环境科学, 2001, 22(3): 44-48.
YANG Yuangen, PATERSON E, CAMPBELL C. Accumulation of heavy metals in urban soils and impacts on microorganisms[J]. Environmental Science, 2001, 22(3): 44-48.
- [9] 孟飞,刘敏,史同广. 上海农田土壤重金属的环境质量评价[J]. 环境科学,2008,29(2): 428-433.
MENG Fei, LIU Min, SHI Tongguang. Evaluation on environmental quality of heavy metals in agricultural soils of Shanghai[J]. Environmental Science, 2008, 29(2): 428-433.
- [10] 胡克林,张凤荣,吕贻忠,王茹,徐艳. 北京市大兴区土壤重金属含量的空间分布特征[J]. 环境科学学报,2004,24(3): 463-468.
HU Kelin, ZHANG Fengrong, LÜ Yizhong, WANG Ru, XU Yan. Spatial distribution of concentrations of soil heavy metals in Daxing county, Beijing[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2004, 24(3): 463-468.
- [11] 王美青,章明奎. 杭州市城郊土壤重金属含量和形态的研究[J]. 环境科学学报,2002,22(5): 603-608.
WANG Meiqing, ZHANG Mingkui. Concentrations and chemical associations of heavy metals in urban and suburban soils of the Hangzhou city, Zhejiang province[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2002, 22(5): 603-608.
- [12] 梅旭荣. 中国农业环境[M]. 北京: 科学出版社,2011.
MEI Xurong. Agriculture environment of China[M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [13] 高兴斋. 中华环保实用手册[M]. 北京: 国防科学技术大学出版社,1994.
GAO Xingzhai. China environmental protection practical manual [M]. Beijing: National Defense Science and Technology University Press, 1994.
- [14] KAISER J. Toxicologists shed new light on old poisons[J]. Science, 1998, 279(5358): 1850-1851.
- [15] MARKUS J, MCBRATNEY A B, MARKUS J. A review of the contamination of soil with lead[J]. Environment International, 2001, 27(5): 399-411.
- [16] 孙阳昭,陈扬,蓝虹,刘俐媛,方莉. 中国汞污染的来源、成因及控制技术路径分析[J]. 环境化学,2013(6): 937-942.
SUN Yangzhao, CHEN Yang, LAN Hong, LIU Liyuan, FANG Li. Study on pollution sources, cause of mercury pollution and its control technical roadmap in China[J]. Environmental Chemistry, 2013(6): 937-942.
- [17] 聂继云,董雅凤. 果园重金属污染的危害与防治[J]. 中国果树, 2002,25(1): 44-47.
NIE Jiyun, DONG Yafeng. Risk and prevention of heavy metal pollution in orchard soil [J]. China Fruits, 2002, 25(1): 44-47.
- [18] 胡克宽,王英俊,张玉岱,李会科,梅立新,梁俊. 渭北黄土高原苹果园土壤重金属空间分布及其累积性评价[J]. 农业环境科学学报,2012,31(5): 934-941.
HU Kekuan, WANG Yingjun, ZHANG Yudai, LI Huike, MEI Lixin, LIANG Jun. Spatial distribution and cumulation evaluation of soil heavy metals in apple orchards of Weibei Area, the Loess Plateau [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(5): 934-941.
- [19] 张倩,杜海云,孙家正,辛力. 我国果园土壤和果品中砷污染现状与控制措施建议[J]. 山东农业科学,2015(7): 131-135.

- Zhang Qian, Du Haiyun, Sun Jiazheng, XIN Li. Pollution status and control measures of arsenic in fruits and orchard soil in China [J]. Shandong Agricultural Sciences, 2015(7): 131-135.
- [20] 湛方栋,陈建军,秦丽,吉秀,李元. 镉铅污染的玉米秸秆还田对蚕豆生长、养分和镉铅含量的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(4): 661-668.
- ZHAN Fangdong, CHEN Jianjun, QIN Li, Ji Xiu, LI Yuan. Effects of applying Cd/Pb contaminated maize stalks on growth and nutrient and Cd and Pb content of faba bean[J]. 2016, 35 (4): 661-668.
- [21] 赵政阳,张翠花,刘子龙,梁俊,李嘉瑞. 公路旁苹果园铅污染的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2006, 34(11): 153-156.
- ZHAO Zhengyang, ZHANG Cuihua, LIU Zilong, LIANG Jun, LI Jiarui. Studies on lead pollution in the apple orchards on the side of expressway[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2006, 34(11): 153-156.
- [22] 何冰,何计兴,何新华,李峰,韦泓明,蔡春波. 铅胁迫对杨梅生理特性的影响[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(6): 1263-1268.
- HE Bing, HE Jixing, HE Xinhua, Li Feng, WEI Hongming, CAI Chunbo. Effects of lead on physiological characteristics of bayberry (*Myrica rubra*) seedlings [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2009, 28(6): 1263-1268.
- [23] 陈学民,朱阳春,伏小勇. 天水苹果园土壤重金属富集状况评价及来源分析[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(5): 893-898.
- CHEN Xuemin, ZHU Yangchun, FU Xiaoyong. Source and enrichment situation of heavy metals in apple orchard soils of Tianshui Area, China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2011, 30 (5): 893-898.
- [24] 农业部农药检定所. 新编农药手册[M]. 2版. 北京: 中国农业出版社, 2013.
- Institute for the Control of Agrochemicals, Ministry of Agriculture. New Pesticide Manual[M]. 2nd edition. Beijing: China Agriculture Press, 2013.
- [25] 农业部农药检定所. 新编农药手册(续集)[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998.
- Institute for the Control of Agrochemicals, Ministry of Agriculture. New pesticide manual (Sequel) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1998.

·会 讯·

第八次中国草莓大会暨第13届中国草莓文化节在安徽长丰隆重召开

2017年2月16—19日,由中国园艺学会草莓分会与长丰县人民政府主办的第八次中国草莓大会暨第十三届中国草莓文化节在安徽省长丰县召开。农业部种植业司副司长杨礼胜,中国园艺学会草莓分会名誉理事长、北京市农林科学院院长李成贵研究员在开幕式上致辞并为长丰县“中国草莓之都”揭牌。来自20个省市自治区1100余人参加了本次大会。

这次全国精品草莓评比活动,收到来自17个省市的1000余份草莓样品来打擂,其中国产品种400余份,规模创历届大会之最。经过25位国内外专家评选,长丰草莓“三新技术”产业园选送的北京市农林科学院培育的‘白雪公主’摘得最高荣誉奖“长城杯”。北京市农林科学院培育的草莓品种‘京泉香’‘粉红公主’‘京桃香’‘京藏香’‘红袖添香’,沈阳农业大学培育的草莓品种‘艳丽’,浙江省农业科学院培育的草莓品种‘越心’等荣获国产组金奖。

本次会议邀请了来自德国联邦作物研究中心的Ulrich Detelef教授(报告题目:草莓香气研究与德国草莓产业介

绍)、日本农林水产省野菜茶叶试验场望月龍也教授(报告题目:日本草莓品种选育与栽培现状)、英国东茂林实验站徐向明博士(报告题目:英国草莓科研与生产)、美国佛罗里达大学赵鑫博士(报告题目:草莓有机栽培与佛罗里达草莓介绍)、美国加州大学毕建龙博士(报告题目:美国加州草莓产业现状)等就草莓相关专题作了主旨报告,同时来自国内的26名专家和种植能手在大会上作了报告。

大会安排了艳九天草莓园、草莓文化大道、草莓“三新技术”(新装备、新技术、新品种)产业园、长丰草莓博物馆等集中观摩活动。另外,此次会议还进行了中国园艺学会草莓分会换届选举。

中国园艺学会草莓分会

秘书处

2017年3月20日