

# 广东麻竹笋及产地土壤重金属污染与风险评价\*

李怡欣 谢桂军 李腊梅 曹永建 李兴伟

(广东省林业科学研究院/广东省森林培育与保护利用重点实验室, 广东 广州 510520)

**摘要** 在广东省揭阳市揭东县、清远市英德市、清远市清新区内共采集了 79 批次麻竹 *Dendrocalamus latiflorus* 笋及其产地土壤样品, 分析重金属(铬、铜、铅)含量。结果显示土壤样品中铬、铜、铅含量平均值依次为 38.6、23.1、30.3 mg/kg, 参照 GB 15618—2018 标准, 达标率分别为 100%、93.7%、96.2%; 综合污染指数表明, 土壤污染程度为安全、警戒、轻污染的批次分别占 84.8%、10.1%、5.1%, 无中污染或重污染批次。麻竹笋样品中铬、铜、铅含量平均值依次为 0.19、3.57、0.054 mg/kg, 参照 GB 2762—2017 标准, 铬、铅达标率分别为 100%、87.3%; 目标危害系数法评估显示, 麻竹笋中 3 种重金属对暴露成人人群的健康无明显风险; 麻竹笋对重金属的吸收能力: 铜 > 铬 > 铅。

**关键词** 麻竹笋; 产地土壤; 重金属; 内梅罗污染指数; 目标危害指数

中图分类号: S644.2; X820.4 文献标志码: A 文章编号: 2096-2053 (2020) 06-0103-07

## Assessment of Heavy Metal Pollution and Risks of Bamboo (*Dendrocalamus latiflorus*) Shoots and Soils in Guangdong Province

LI Yixin XIE Guijun LI Lamei CAO Yongjian LI Xingwei

(Guangdong Academy of Forestry/Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization, Guangzhou, Guangdong 510520, China)

**Abstract** We have analyzed heavy metal (chromium Cr, copper Cu and lead Pb) contents of 79 bamboo (*Dendrocalamus latiflorus*) shoot and 79 soil samples which were collected from Jiedong county, Yingde city and Qingxin district in Guangdong province. It turned out that the average values of Cr, Cu and Pb in soils were 38.6, 23.1 and 30.3 mg/kg, respectively, with qualification rates of 100%, 93.7% and 96.2% according to GB 15618—2018. Nemerow multi-factor pollution indexes indicated that soil samples with levels of clean, alert limit and mild polluted accounted for 84.8%, 10.1% and 5.1%, while no moderate or severe polluted ones were observed. Average values of Cr, Cu and Pb contents in bamboo shoots were 0.19, 3.57 and 0.054 mg/kg, respectively, resulting in qualification rates of 100% for Cr and 83.7% for Pb referring to GB 2762—2017. Target hazard quotients demonstrated that the three heavy metals posed no health risks to adults. The bamboo shoot samples exhibited stronger absorption capacity for Cu from soils than for Cr and Pb.

**Key words** bamboo shoots (*Dendrocalamus latiflorus*); soils; heavy metals; Nemerow pollution index; target hazard quotient (THQ)

\* 基金项目: 广东省林业科技计划项目 (2019-05)。

第一作者: 李怡欣 (1990—), 女, 工程师, 主要从事林产品检测, E-mail: liyx@sinogafn.cn。

通信作者: 李兴伟 (1971—), 男, (教授级) 高级工程师, 主要从事林产品检测, E-mail: lixingwei@sinogafn.cn。

麻竹 *Dendrocalamus latiflorus*，禾本科竹亚科牡竹属，是广东省的常见笋用竹种。麻竹笋具有高纤维、低脂肪、氨基酸及维生素丰富、味道鲜美等优点，深受当地消费者喜爱，制品出口多个国家和地区<sup>[1-3]</sup>。广东西牛麻竹笋以及以麻竹笋为主的埔田竹笋更被列为国家地理标志产品。随着工业化的推进，土壤重金属污染的问题受到关注。土壤中的重金属在植物体内的过量累积，不仅影响植物生长代谢，导致植物质量下降，还可能通过食物链及其他摄入途径进一步在人体内蓄积，威胁人体健康<sup>[4-5]</sup>。

为了解广东麻竹笋及其产地土壤的重金属污染和风险水平，本研究于 2019 年 7 月至 9 月间在广东省揭阳市揭东县、清远市英德市、清远市清新区共采集了 79 批次麻竹笋及其产地土壤，检测其重金属铬（Cr）、铜（Cu）、铅（Pb）含量，并利用单项污染指数法和内梅罗综合污染指数法（Nemerow pollution index method, NPI）评价土壤的重金属污染水平，利用目标危害系数法（Target hazard quotient, THQ）评价麻竹笋的健康风险水平，为保障麻竹笋产品质量安全、推动广东可食林产品产业可持续发展提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 采样方法

在 2019 年 7 月至 9 月期间，分别从揭阳市揭东县、清远市英德市、清远市清新区的 20、29、30 个麻竹笋种植地采集样品。从每个种植地随机采集长度 30~50 cm 的成熟麻竹笋，不少于 2 根，总质量不少于 2 kg，合并为一个混合样；在同一种植地采集土壤样品，参照 HJ/T 166—2004《土壤环境监测技术规范》<sup>[6]</sup>，使用对角线法设置 5 个样点，分别取其 0~20 cm 剖面土，等比例混合均匀制成混合样，不少于 1 kg，储存于自封袋中，袋内外各贴一标签，写明编号、采集地点、土壤

名称等。合计 79 批次麻竹笋、79 批次土壤。

1.2 检测方法

土壤 pH 值的测定参照 NY/T 1121.2—2006<sup>[7]</sup>，铬、铜和铅的测定参照 HJ 491—2019<sup>[8]</sup>；竹笋样品铬、铜和铅的测定分别参照 GB 5009.123—2014<sup>[9]</sup>、GB 5009.13—2017<sup>[10]</sup>、GB 5009.12—2010<sup>[11]</sup>。

1.3 土壤重金属污染评价

土壤重金属污染评价采用单项污染指数法和内梅罗综合污染指数法<sup>[12-13]</sup>。单项污染指数计算方法如下：

$$P_i = \frac{C_i}{S_i}$$

其中， $i$  为土壤中某项重金属， $C_i$  为土壤中重金属  $i$  的实测含量（mg/kg）； $S_i$  为参考标准含量（mg/kg），本研究中  $S_i$  采用 GB 15618—2018《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》<sup>[14]</sup> 中“其他”农用地的风险筛选值。

综合污染指数计算方法如下：

$$P_{\text{综合}} = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{n} \times \sum P_i\right)^2 + (P_i)_{\text{max}}^2}{2}}$$

式中， $n$  为重金属种类数量。（ $P_i$ ）<sub>max</sub> 为各项金属的  $P_i$  中的最大值。

$P$  值越大，污染程度越重。其评价标准见表 1。

1.4 麻竹笋重金属健康风险评价

采用美国环境保护署（USEPA）于 2000 年发布的目标危害系数法<sup>[15-18]</sup>评估麻竹笋重金属对暴露成人群的健康风险。单项重金属的目标危害系数 THQ 计算公式如下：

$$THQ = \frac{EF \times ED \times F_{IR} \times C}{RfD_0 \times BW \times AT_n} \times 10^{-3}$$

其中，EF 为暴露频率，取 350 天/年<sup>[16-18]</sup>；ED 为暴露持续时间，成人取 30 年<sup>[16-18]</sup>； $F_{IR}$  为蔬菜摄入量，取 185.4 克/天<sup>[19]</sup>； $C$  为蔬菜中某重金属含量，单位 mg/kg； $RfD_0$  为参考剂量，Cr、Cu、

表 1 污染指数与土壤污染程度的对应关系  
Table 1 Relations between pollution index and pollution level

| 污染指数 $P$<br>Pollution index | $P \leq 0.7$ | $0.7 < P \leq 0.07$ | $1.0 < P \leq 2.0$ | $2.0 < P \leq 3.0$ | $P > 3.0$     |
|-----------------------------|--------------|---------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| 土壤污染程度<br>Pollution level   | 安全<br>Clean  | 警戒值<br>Alert limit  | 轻度污染<br>Mild       | 中度污染<br>Moderate   | 重污染<br>Severe |

Pb 分别为 0.003、0.04、0.003 5 mg/kg/天<sup>[16-18]</sup>；BW 为人体平均体重，成人取 61.75 kg<sup>[20]</sup>；AT<sub>n</sub> 为非致癌效应平均时间，取 30 年，即 10 950 天<sup>[16-18]</sup>。

评价多种重金属或污染物对人体健康危害时，采用综合目标危害系数 TTHQ，计算公式如下：

$$TTHQ = \sum THQ$$

THQ 或 TTHQ 值越大，表明该污染物对人体健康风险越大。若小于 1，说明对暴露人群没有明显的健康风险，反之则有。

### 1.5 麻竹笋对重金属的生物富集

生物富集系数 (bioconcentration factor, BCF)<sup>[21-22]</sup> 是植物体内某种重金属含量与该种植物所生长的土壤中同种重金属含量的比值，不同的植物对土壤中的重金属表现出不同的吸收能力，其计算公式为：

$$BCF = \frac{C_{\text{植}}}{C_{\text{土}}}$$

其中， $C_{\text{植}}$  为植物中某重金属的含量 (mg/kg)， $C_{\text{土}}$  为土壤中该重金属的含量 (mg/kg)。

BCF 愈大，表明植物对土壤中重金属的吸收能力越强。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤样品的重金属含量

所采土壤样品的 pH、Cr、Cu、Pb 含量概况如表 2 所示。所采样点的土壤样品 pH 处于 3.8~7.3，平均值 4.5，与广东省环境背景土壤背景值（红壤，中值）<sup>[23]</sup>4.8 接近，79 个样品中仅有 2 个样品 pH>7，整体呈酸性，三地土壤 pH 无显著差异。

重金属含量限量值均采用 GB 15618—2018 中规定的“其他”农用地风险筛选值。土壤样品铬含量总体达标率 100%。其中最大值 103 mg/kg，最小值 1.94 mg/kg，整体平均值 38.6 mg/kg，低于全国土壤环境背景值（中值）<sup>[24]</sup>57.3 mg/kg 和广东土壤环境背景值 43.25 mg/kg。各地平均含量：清新>英德>揭东，揭东的铬含量水平与另两地有显著差异（ $P<0.05$ ）。

土壤样品铜含量总体达标率 93.7%，其中最大值 71.6 mg/kg，最小值 1.78 mg/kg，整体平均值为

表 2 各采样点土壤的检测结果  
Table 2 Test results of soil samples

| 项目 Item                                                                                     | pH             | 铬 Cr<br>/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 铜 Cu<br>/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 铅 Pb<br>/(mg·kg <sup>-1</sup> ) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 揭东 Jiedong                                                                                  | 4.3 ± 0.1      | 15.0 ± 13.1 b                   | 24.6 ± 17.4                     | 44.9 ± 25.4 a                   |
| 英德 Yingde                                                                                   | 4.7 ± 0.9      | 43.9 ± 18.8 a                   | 25.1 ± 15.5                     | 27.1 ± 11.3 b                   |
| 清新 Qingxin                                                                                  | 4.6 ± 0.7      | 49.0 ± 13.3 a                   | 20.3 ± 10.3                     | 23.5 ± 8.5 b                    |
| 平均 Average                                                                                  | 4.5 ± 0.7      | 38.6 ± 20.7                     | 23.1 ± 14.3                     | 30.3 ± 17.5                     |
| 全国土壤环境背景值（中值）<br>Soil environmental background value in<br>China (median)                   | /              | 57.3                            | 20.7                            | 23.5                            |
| 广东省土壤环境背景值（红壤，中值）<br>Soil environmental background value in<br>Guangdong (red soil, median) | 4.8            | 43.25                           | 14.38                           | 34.38                           |
| pH ≤ 5.5                                                                                    | /              | 150                             | 50                              | 70                              |
| 限量值<br>Limit value                                                                          | 5.5 < pH ≤ 6.5 | 150                             | 50                              | 90                              |
|                                                                                             | 6.5 < pH ≤ 7.5 | 200                             | 100                             | 120                             |
|                                                                                             | pH > 7.5       | 250                             | 100                             | 170                             |

注：同列数据后字母相同表示差异性不显著（ $P>0.05$ ），字母不同表示差异性显著（ $P<0.05$ ）。

Note: data with the same letters are not significantly different ( $P>0.05$ ), while data with different letters are significantly different ( $P<0.05$ ).

表 3 竹笋样品的重金属含量  
Table 3 Contents of heavy metals in bamboo shoots samples

mg · kg<sup>-1</sup>

| 采样地区 Sampling site | 铬 Cr          | 铜 Cu        | 铅 Pb             |
|--------------------|---------------|-------------|------------------|
| 揭东 Jiedong         | 0.27 ± 0.05 a | 2.78 ± 1.89 | 0.051 ± 0.035 ab |
| 英德 Yingde          | 0.16 ± 0.08 b | 4.38 ± 2.74 | 0.033 ± 0.008 b  |
| 清新 Qingxin         | 0.18 ± 0.07 b | 3.32 ± 2.54 | 0.076 ± 0.069 a  |
| 平均 Average         | 0.19 ± 0.08   | 3.57 ± 2.53 | 0.054 ± 0.049    |
| 限量值 Limit value    | 0.5           | /           | 0.1              |

注：同列数据后字母相同表示差异性不显著（ $P>0.05$ ），字母不同表示差异性显著（ $P<0.05$ ）。  
Note: data with the same letters are not significantly different ( $P>0.05$ ), while data with different letters are significantly different ( $P<0.05$ ).

23.1 mg/kg，高于全国土壤环境背景值 20.7 mg/kg 和广东土壤环境背景值 14.38 mg/kg。揭东、英德分别有 3 批次和 2 批次超过限量值，分别占所监测批次的 15.0%、6.9%。各地平均含量：英德 > 揭东 > 清新，水平比较接近，无显著差异。

土壤样品铅含量总体达标率 96.2%，其中最大值 114 mg/kg，最小值 8.80 mg/kg，整体平均值为 30.3 mg/kg，高于全国土壤环境背景值 23.5 mg/kg，低于广东土壤环境背景值 34.38 mg/kg。揭东有 3 批次超过限量值，占所监测批次的 15.0%。各地平均含量：揭东 > 英德 > 清新。揭东的铬含量水平与另两地有显著差异（ $P<0.05$ ）。

3 种重金属含量的相对标准偏差高低次序均为：揭东 > 英德 > 清新，说明揭东土壤的铬含量较为离散，英德次之，清新土壤样品差异性较小。

2.2 麻竹笋样品的重金属含量

所采麻竹笋样品的铬、铜、铅含量情况如表 3 所示，整体上含量高低顺序为：铜 > 铬 > 铅。采用 GB 2762—2017<sup>[25]</sup> “普通新鲜蔬菜”中的铬、铅限量值作参考值，达标情况见图 1。

麻竹笋样品铬含量总体达标率 100%，其中最大值 0.41 mg/kg，最小值 0.06 mg/kg，整体平均值为 0.19 mg/kg。3 个地区的平均值高低顺序为：揭东 > 清新 > 英德，揭东麻竹笋的铬水平与另外两地区有显著差异（ $P<0.05$ ）。

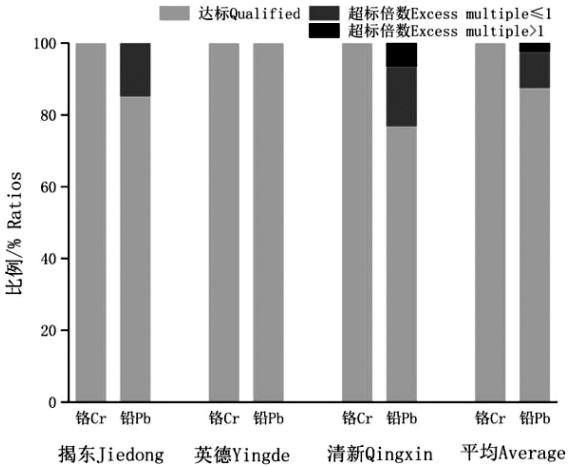


图 1 各地麻竹笋重金属含量达标情况  
Fig. 1 Qualification ratios of heavy metals in bamboo shoots

麻竹笋样品铜含量最大值 11.8 mg/kg，最小值 0.79 mg/kg，整体平均值为 3.57 mg/kg，低于 GB 15199—1994《食品中铜限量卫生标准》<sup>[26]</sup> 中的限量值 10 mg/kg，但该标准已于 2011 年废止，因此不讨论达标率。3 个地区的平均值顺序为：英德 > 清新 > 揭东，三地麻竹笋的铜水平无显著差异。

麻竹笋样品铅含量总体达标率 87.3%，其中最大值 0.29 mg/kg，最小值 0.03 mg/kg，整体平均值为 0.054 mg/kg。其中揭东有 3 批次超限量值 1 倍以内，占所检批次数量的 15.0%；清新有 5 批次超限量值 1 倍以内，2 批次超限量值 2 倍以上，分别占所检批次 16.7%、6.7%。3 个地区的平均值高低顺序为：清新 > 揭东 > 英德，英德与清新两地的麻竹笋铅水平之间有显著差异（ $P<0.05$ ）。

除揭东麻竹笋的铬和英德的铅以外，其他各

地各指标的相对标准偏差均不低于 39.0%，数据较离散。

### 2.3 土壤重金属污染水平评价

采用单项污染指数法和内梅罗污染指数法计算，各地土壤重金属污染指数如图 2 所示，污染水平分布如图 3 所示。

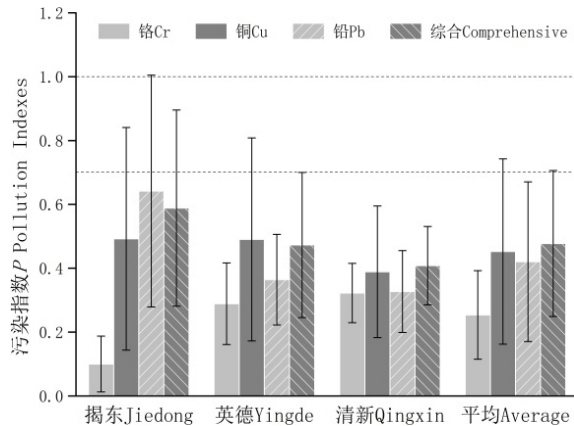


图 2 各地土壤重金属污染指数

Fig. 2 Pollution indexes of soil samples

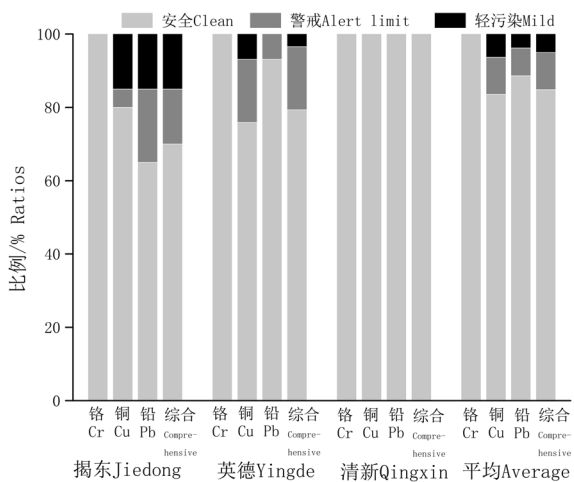


图 3 各地土壤重金属污染程度分布

Fig. 3 Distribution of different pollution levels

各地土壤样品的元素单项、综合污染指数平

均值的高低次序均为：铜 > 铅 > 铬，污染程度均为轻污染或以下，无中污染或以上水平。

所监测的所有 79 批次土壤样品，铬单项污染指数  $P_i$  均小于 0.7，污染水平属于安全，其中又以揭东土壤污染水平最低， $P_i$  平均值仅为 0.100。

关于铜元素，揭东样品 80.0% 安全、5.0% 警戒、15.0% 轻污染；英德有 75.9% 安全、17.2% 警戒、6.9% 轻污染；清新的土壤样品均为安全。

关于铅元素，揭东土壤样品有 65.0% 安全、20.0% 警戒、15.0% 轻污染；英德有 93.1% 安全、6.9% 警戒；清新的土壤样品均为安全。

从综合污染指数来看，79 批次中，共有 84.8% 安全、10.1% 警戒、5.1% 轻污染。其中，清新的样品均为安全；揭东土壤样品有 70.0% 安全、15.0% 警戒、15.0% 轻污染；英德有 79.3% 安全、17.2% 警戒、3.4% 轻污染。揭东虽然铬单项污染指数低，但由于铜、铅指数较高，因此综合指数高于其他两地，综合污染指数的平均值排序为：揭东 > 英德 > 清新。

### 2.4 麻竹笋重金属健康风险评价

各地麻竹笋重金属目标危害系数平均值如表 4 所示。THQ 整体呈现铜 > 铅 > 铬的趋势，与重金属含量“铜 > 铬 > 铅”的顺序不同，这是由于 THQ 的计算中考虑了各种金属的参考剂量。THQ 值铬介乎 0.000 12~0.000 78，整体平均值 0.000 37；铜介乎 0.057~0.85，整体平均值 0.26；铅介乎 0.026~0.23，整体平均值 0.045。

三地 TTHQ 最大值 0.881，最小值 0.083，整体平均值 0.30，平均值高低顺序为：英德 > 清新 > 揭东，但三地之间无显著差异 ( $P > 0.05$ )。各项重金属 THQ 及 TTHQ 均小于 1，说明这 3 种金属对暴露成人人群均没有明显的健康风险。但除铬、铜、铅之外，还有其他重金属和污染物可能影响人体健康，因此麻竹笋的实际 TTHQ 仍有 >1 的潜

表 4 各地麻竹笋重金属目标危害系数

Table 4 Target hazard quotients of heavy metals in bamboo shoot samples

| 采样地区 Sampling site | 铬 Cr                | 铜 Cu        | 铅 Pb          | 综合 Total    |
|--------------------|---------------------|-------------|---------------|-------------|
| 揭东 Jiedong         | 0.000 53 ± 0.000 10 | 0.20 ± 0.14 | 0.042 ± 0.029 | 0.24 ± 0.15 |
| 英德 Yingde          | 0.000 30 ± 0.000 15 | 0.32 ± 0.20 | 0.027 ± 0.006 | 0.34 ± 0.20 |
| 清新 Qingxin         | 0.000 36 ± 0.000 13 | 0.20 ± 0.14 | 0.070 ± 0.061 | 0.27 ± 0.18 |
| 平均 Average         | 0.000 37 ± 0.000 16 | 0.26 ± 0.18 | 0.045 ± 0.041 | 0.30 ± 0.19 |

表 5 竹笋对重金属的生物富集系数  
Table 5 Bioconcentration factors of bamboo shoots for heavy metals

| 采样地区 Sampling site | 铬 Cr                | 铜 Cu        | 铅 Pb                  |
|--------------------|---------------------|-------------|-----------------------|
| 揭东 Jiedong         | 0.039 ± 0.035 a     | 0.22 ± 0.26 | 0.001 5 ± 0.001 4 b   |
| 英德 Yingde          | 0.004 0 ± 0.002 5 b | 0.31 ± 0.48 | 0.001 40 ± 0.000 48 b |
| 清新 Qingxin         | 0.004 1 ± 0.002 3 b | 0.37 ± 0.70 | 0.004 1 ± 0.005 0 a   |
| 平均 Average         | 0.013 ± 0.023       | 0.31 ± 0.53 | 0.002 4 ± 0.003 4     |

注：同列数据后字母相同表示差异性不显著（ $P>0.05$ ），字母不同表示差异性显著（ $P<0.05$ ）。  
Note: data with the same letters are not significantly different ( $P>0.05$ ), while data with different letters are significantly different ( $P<0.05$ ).

在风险。

2.5 麻竹笋对重金属的生物富集

各地麻竹笋对土壤中的重金属的生物富集系数概况如表 5 所示。可见，3 个地区的麻竹笋对 3 种元素的富集系数的高低顺序一致，均为：铜 > 铬 ≥ 铅，铜的平均值为 0.31，铬、铅分别为 0.013 0、0.002 4。同一竹笋对不同元素表现出不同的吸收能力，可能与元素本身的形态和性质有关。Cr、Pb 元素在土壤中多以难溶物的形态存在，因此难以被植物吸收或迁移，属于生物有效性低的元素，而 Cu 属于生物有效性高的元素<sup>[21-22]</sup>，因此铜在土壤中含量虽较低，但富集系数却是最高的。

各地麻竹笋对铬元素的富集系数介于 0.001 0~0.130 0，平均值 0.013。揭东土壤中的铬含量为三地中最低，竹笋中铬含量最高，说明揭东竹笋对铬的吸收能力最强，富集系数最大，为 0.039，远大于英德 0.004 1 和清新 0.004 1。揭东麻竹笋对铬元素的吸收能力与其他两地有显著差异。

各地麻竹笋对铜元素的富集系数介于 0.015~2.800，平均值 0.31，地区之间无显著差异，高低顺序为：清新 > 英德 > 揭东。

各地麻竹笋对铅元素的富集系数介于 0.000 27~0.022 00，平均值 0.002 4，清新麻竹笋与其他两地有显著差异。高低顺序为：清新 > 揭东 > 英德。

3 结论与讨论

对广东 3 个麻竹笋产区揭东、英德、清新的麻竹笋及产地土壤进行铬、铜、铅 3 种重金属的含量检测，结论如下：

（1）所监测的 79 个土壤样品铬、铜、铅含量平均值依次为 38.6、23.1、30.3 mg/kg，达标率依

次为 100%、93.7%、96.2%。

（2）从单项污染指数来看，土壤污染程度：铜 > 铅 > 铬；从综合污染指数来看，安全、警戒、轻污染的批次各占 84.8%、10.1%、5.1%，无中污染或重污染情况。其中揭东、英德、清新土壤分别有 15.0%、3.4%、0% 批次属于轻污染，其余批次为安全或警戒。

（3）所监测的 79 个麻竹笋样品中铬、铜、铅含量平均值依次为 0.19、3.57、0.054 mg/kg，铬、铅达标率分别为 100%、87.3%。其中铅含量清新、揭东、英德分别有 23.4%、15.0%、0% 样品超过限量值。

（4）从目标危害系数来看，麻竹笋中的 3 种重金属对暴露成人人群均没有明显的健康风险。

（5）麻竹笋对不同重金属的吸收能力差异较大，富集系数高低顺序为：铜 > 铬 ≥ 铅。

土壤中的铜、铅，麻竹笋中的铅应作为广东麻竹笋质量安全监测中的重点监测指标，在种植经营、产地环境维护等方面引起重视。土壤处于安全或警戒水平的产地应注重防范，减少人为活动对产地的污染；已有轻度污染的麻竹笋产地，则可采取物理、化学、生物修复等多种方法进行污染治理，在保障麻竹笋产品质量安全的同时，促进产地的可持续利用。

参考文献

[1] 于增金, 殷彪, 赵婷, 等. 不同地类对麻竹竹笋品质的影响[J]. 安徽农业大学学报, 2020, 47(1): 76-81.  
[2] 李薇, 吴良如, 索化夷, 等. 基于高通量测序方法研究腌制麻竹笋发酵过程中细菌群落的动态演替[J]. 食品

- 与发酵工业: 1-9(2020-10-15) [2020-11-06]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.025531>.
- [3] 许喜昌, 叶伟才, 许小兵. 粤东地区笋用麻竹规范化栽培技术[J]. 广东林业科技, 2003, 19(1): 53-54.
- [4] 生态环境部, 《土壤环境监测分析方法》编委会. 土壤环境监测分析方法[M]. 北京: 中国环境出版集团, 2019: 25-27.
- [5] 蔡囊, 李吉跃, 李永杰. 土壤重金属污染下植物效应研究进展[J]. 广东林业科技, 2009, 25(2): 71-77.
- [6] 国家环境保护总局. HJ/T 166—2004土壤环境监测技术规范[S]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004.
- [7] 中华人民共和国农业部. 土壤检测第2部分: NY/T 1121.2—2006土壤pH的测定[S]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [8] 生态环境部.HJ 491—2019土壤和沉积物铜、锌、铅、镍、铬的测定火焰原子吸收分光光度法[S]. 北京: 中国环境出版集团, 2019.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 5009.123—2014食品安全国家标准食品中铬的测定: [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009.13—2017 食品安全国家标准食品中铜的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [11] 中华人民共和国卫生部. GB 5009.12—2010 食品安全国家标准食品中铅的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- [12] 范拴喜. 土壤重金属污染与控制[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011: 158.
- [13] 孟源思, 高琳琳, 李子杰, 等. 农田土壤重金属污染风险评价模型与方法研究[J]. 地球与环境, 2020, 48(4): 489-495.
- [14] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. GB 15618—2018土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准[S]. 北京: 中国环境出版集团, 2018.
- [15] 李勇. 重金属的生态地球化学与人群健康研究[M]. 广州: 中山大学出版社, 2014: 43.
- [16] 任传义, 程军勇, 张延平, 等. 竹笋地土壤重金属污染潜在生态风险及食用笋健康风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(5): 855-862.
- [17] 曾欢, 张华, 熊小英, 等. 鄱阳湖河湖交错区鱼类重金属含量特征及健康风险评估[J]. 环境科学学报, 2021, 41(2): 1-11.
- [18] SONG B, LEI M, CHEN T, et al. Assessing the health risk of heavy metals in vegetables to the general population in Beijing, China [J]. Journal of Environmental Sciences, 2009, 21: 1702-1709.
- [19] 中国疾病预防控制中心营养与健康所. 中国居民营养与健康指标 [DB]. [2020-11-06]. <http://www.chinanutri.cn/sjnj/>.
- [20] 国家卫生计生委疾病预防控制局. 中国居民营养与慢性病状况报告[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2015.
- [21] 胡宏祥, 邹长明. 环境土壤学[M]. 合肥: 合肥工业大学出版社, 2013: 196.
- [22] 吴启堂. 环境土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2015: 310.
- [23] 许炼烽, 刘腾辉. 广东土壤环境背景值和临界含量的地带性分异[J]. 华南农业大学学报, 1996, 17(4): 58-62.
- [24] 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.
- [25] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 2762—2017食品安全国家标准食品中污染物限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [26] 中华人民共和国卫生部. GB 15199—1994食品中铜限量卫生标准[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.