

何玉生. 2024. 槟榔黄化病防控的生态地球化学研究. 热带地理, 44 (1): 188-194.

He Yusheng. 2024. Analysis of Eco-Geochemistry Prevention and Cure for Yellow Leaf Disease of the Areca Palm in Wanning of Hainan Province. *Tropical Geography*, 44 (1): 188-194.

槟榔黄化病防控的生态地球化学研究

何玉生

(海南省海洋地质资源与环境重点实验室, 海南省地质调查院, 海口 570206)

摘 要: 槟榔黄化病是海南省槟榔树极易感染、蔓延迅速、极具毁灭性的头号病害, 综合性的物理、化学和生态防控措施仍然难以控制其蔓延。生态地球化学研究以土壤-植株系统元素地球化学行为和生态效应为研究内容, 可能赋予槟榔树自身内在的黄化病抑制能力, 从而达到防控黄化病的目的。文章对万宁市槟榔园开展生态地球化学研究, 分别配套采集了感染黄化病和未感染黄化病的槟榔树根系土、根系和叶片地球化学样品各30套, 分析测试了Se、Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As、Cr、Ni、Fe、Mn、B、Mo、Cl、F、I、N、P、K、Ca、Mg、S、Co、Na、Si、Al等元素质量分数。以槟榔树是否感染黄化病为因变量进行二项逻辑回归统计, 结果表明: 不同介质样品的分类概率模型中, 根系土的As元素, 根系的As、N、Na元素, 叶片的Zn、Hg、S元素回归系数为负数, 表明槟榔树相应部位这些元素的质量分数越高, 其感染黄化病的概率越低, 联系到含砷农药和药物用于植物病虫害防控和人体疾病治疗的事实, 意味着提高根系土As等元素质量分数可能提升槟榔树对黄化病的预防和抑制能力, 从而为槟榔黄化病防控提供了可能而又简单易行的生态地球化学新途径。但As作为毒害元素, 是土壤环境质量和农产品食用安全的重要控制指标, 因此, 利用As元素防控槟榔黄化病, 应开展针对槟榔树根系土和果实的系统性田间试验研究和评估, 严防二次污染。

关键词: 槟榔树; 黄化病; 生态地球化学; 防控; 海南省万宁市

中图分类号: S763.7

文献标志码: A

文章编号: 1001-5221(2024)01-0188-07

DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003799

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



槟榔树(Areca palm)为棕榈科植物, 是海南省热带农业重要的“三棵树”(橡胶、槟榔、椰子)之一。2018年底海南省槟榔种植面积超过10.99万 hm^2 , 产值达404.9亿元; 2020年产值达543.0亿元, 已成为海南省230多万农民的主要经济来源之一(唐庆华等, 2022)。然而, 槟榔树极易罹患黄化病。该病是一种极易感染、蔓延迅速、极具毁灭性的头号病害, 初期表现为中下层2~3叶黄化, 并与其他绿色部分分界明显, 到中期黄化向上蔓延, 并扩大至整株叶片黄化, 心叶变小, 叶片变粗变短、畸形, 花序轴顶变黑枯萎, 果实提前脱落, 胚乳失绿变黑、变软, 晚期叶片脱落, 留下光杆死亡(刘宝生等, 2008; 杨春雨等, 2018; 柯佑鹏, 2019)。大量研究发现, 槟榔黄化植原体(areca

palm yellow leaf phyto-plasma, AYLP)和槟榔隐症病毒1(Areca palm velarivirus 1, APV1)是槟榔黄化病的致病病原(车海彦等, 2017; 牛晓庆等, 2021; 孟秀利等, 2021; 唐庆华等, 2021), 其中的植原体是一种类似细菌、但没有细胞壁、被单位膜包裹的原核生物, 分布于植物韧皮部筛管细胞、伴胞、韧皮纤维以及刺吸式介体昆虫的肠道、淋巴、唾液腺等组织内。田间主要通过黑刺粉虱、长尾粉蚧等刺吸式口器昆虫近距离传播, 也包括通过采果使用的工具、调运带病的种果种苗等人为方式进行传播(宋薇薇等, 2020)。

1981年, 海南省屯昌县首次发现槟榔黄化病时, 其为害面积6.67 hm^2 左右, 曾给感病植株追施钾肥及微量元素, 但效果不显著(万三连等,

收稿日期: 2022-11-07; **修回日期:** 2023-01-18

基金项目: 海南省海洋地质资源与环境重点实验室开放课题(HNHYDZZYHJKF013); 海南省万宁市人民政府“万宁市槟榔园(1:10000)农业地质调查及兴隆咖啡生态地球化学评价”项目

作者简介: 何玉生(1968—), 男, 湖北省武穴市人, 高级工程师, 硕士, 主要从事勘查地球化学和生态地球化学调查和研究工作, (E-mail) 373965041@qq.com。

2015); 后续试验发现施用四环素、土霉素治疗有一定的病害抑制效果(杨枝林等, 2013), 但存在复发问题。40 多年以来, 对槟榔黄化病的防控已形成一套综合性防控措施。2020 年, 中国热带农业科学院椰子研究所承担的海南省科学技术厅“2018 年海南省槟榔病虫害重大科技计划项目”, 发布《槟榔黄化病防控明白纸》, 针对不同危害程度的槟榔园, 提出不同的物理、化学和生态等的防控技术组合, 其中的防控药剂均为杀灭传播昆虫的有机化学农药(Huang et al., 2016; 宋薇薇等, 2020), 但 2022 年笔者在万宁市开展农业地质调查时, 发现槟榔树因黄化病致使槟榔产量急剧降低, 单价飙升至以往常年的 10 倍以上。槟榔黄化病防控仍然任重道远。

传播媒介携带病原致使宿主感病, 是动植物罹患传染病的方式之一。刺吸式介体昆虫传播植原体致使槟榔树感染黄化病, 一方面要找到能有效杀灭刺吸式介体昆虫的化学药剂, 另一方面要找到能赋予槟榔树自身内在的抑制黄化病病原的“预防药物”(宋薇薇等, 2018), 如同牛痘之于人体避免感染天花一般——毫无疑问, 这些“预防药物”不排除某些地球化学元素(黎妍妍等, 2018; 郭兴科等, 2019; 周阳等, 2021; Prajna et al., 2022; Veldhuis et al., 2022; 张恒等, 2022)。2013—2014 年, 基于槟榔黄化病防控的重要性、复杂性、迫切性, 防控技术现状以及地球化学元素的生态效应, 海南省万宁市人民政府委托海南省地质调查院承担“万宁市槟榔园(1:10 000)农业地质调查及兴隆咖啡生态地球化学评价”项目, 其中就包括槟榔黄化病的生态地球化学研究课题。该课题通过配套采集正常未感黄化病的槟榔树和感病槟榔树的根系土-根系-叶片样品, 在对比分析的基础上, 揭示土壤微量元素与槟榔树罹患黄化病之间的关系, 旨在为槟榔黄化病防控提供新的思路和方法。本文为该课题的部分研究成果。

1 材料与方法

工作区为万宁市槟榔主产地三更罗镇、北大镇、后安镇、大茂镇和长丰镇的槟榔园, 在万宁市槟榔产业局的技术人员的协助下, 随机采集正常未感黄化病的槟榔树和感病槟榔树的根系土、根系和叶片样品各 30 套。根系土和根系样品采集于植株滴水线东、南、西、北 4 点, 深约 0~40 cm, 同一植株 4 点等量采集须根及其根系土, 各组成 1 件样品;

叶片样品也于同一植株东、南、西、北 4 点等量采集, 组成 1 件样品。采样过程中, 对槟榔园的生态地球化学环境也开展调查。

根系土样品测试 Se、Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As、Cr、Ni、Fe、Mn、B、Mo、Cl、F、I、N、P、K、Ca、Mg、S、Co、Na、Si、Al、pH 值、有机质质量分数等 28 项元素指标, 植物样品测试 Se、Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As、Cr、Ni、Fe、Mn、B、Mo、F、I、N、P、K、Ca、Mg、S、Co、Na 等 23 项元素。样品测试按中国地质调查局地质调查技术标准(中国地质调查局, 2005)执行, 样品分析质量监控等满足要求。

对测试结果以样品为行、元素指标为列进行数据整理, 同时增加“黄化病”指标, 槟榔树感染黄化病时赋值为 1, 未感染黄化病时赋值为 0。60 件样品, 每件样品 75 项元素指标, 共获得 4 500 条数据。

数据处理采用逻辑回归分析(卢纹岱, 2000; Bhat et al., 2012), 因变量为“是否感染黄化病”, 自变量分别为根系土、根系、叶片等不同介质的元素指标, 计算槟榔树的黄化病感病概率, 自变量进入回归模型的方式为向前逐步剔除法, 以选择起主要作用的元素指标。同时绘制不同元素指标的样品散点图。

2 结果与分析

2.1 万宁市主要生态地球化学环境

万宁市地处热带和亚热带交界处, 属热带海洋季风性气候, 年均温 24.8℃, 年均降雨量约 2 166 mm, 年日照时间为 290 d; 地势背山面海, 呈阶梯式自西向东倾斜, 地貌类型依次为西部的构造剥蚀丘陵区、中部的山前剥蚀堆积波状平原区和东部的滨海堆积区; 土地利用方式主要为农用地, 主要包括林地、耕地和园地 3 种, 占比共计 88%, 林地独占 42%; 土壤类型主要为砖红壤, 面积占比达 80%, 分布于西部山地丘陵区, 其次为水稻土, 分布于东部平原区, 丘陵区也有分布; 主要出露二叠纪至白垩纪的中酸性侵入岩, 分布于西部山地和丘陵区, 分布面积约占 3/5, 北部山区有少量古生代沉积-变质岩, 主要为碎屑岩类变质岩, 少量结晶灰岩和变质基性火山岩, 分布面积约占 1/5, 东部直至沿海为第四系, 主要为砂砾、砂、黏土、含玻璃陨石砂砾和海滩岩等。气候、地貌、土地利用、成土母岩母质等造就不同的土壤类型及其地球化学元素分布特征。

2.2 槟榔黄化病与根系土元素质量分数的关系

以槟榔树是否感染黄化病为因变量、根系土的元素指标为自变量进行逻辑回归分析,结果表明,根系土中 As、Co 和 B 元素分 3 步依次进入统计模型(表 1),模型分类正确率最终达 81.7%,有效性的卡方检验值 31.086, P 值 <0.05 。最终依据根系土元素的分类概率模型见表 2 和式 (1)。

表 1 根系土元素质量分数回归分析分步执行结果

Table 1 Results of regression analysis of element content in the rhizosphere soil

步数	模型			分类正确率/%	进入变量
	卡方检验	自由度	P 值		
1	15.384	1	0.000	68.3	土 As
2	25.309	2	0.000	78.3	土 Co
3	31.086	3	0.000	81.7	土 B

表 2 最终模型中所包含的根系土元素变量

Table 2 Element variables of rhizosphere soil in the final model

	步数	回归系数	标准误	wald 值	自由度	<i>P</i> 值	优势比
1	土 As	-0.495	0.178	7.766	1	0.005	0.610
	常数	1.489	0.543	7.526	1	0.006	4.434
2	土 As	-0.786	0.262	8.999	1	0.003	0.455
	土 Co	0.274	0.107	6.563	1	0.010	1.315
	常数	0.403	0.659	0.374	1	0.541	1.496
	土 As	-0.946	0.313	9.160	1	0.002	0.388
3	土 B	0.016	0.007	4.553	1	0.033	1.016
	土 Co	0.439	0.149	8.720	1	0.003	1.551
	常数	-1.100	0.953	1.333	1	0.248	0.333

$$P_{\text{根系土}} = \frac{e^{-1.1 - 0.946\text{土As} + 0.016\text{土B} + 0.439\text{土Co}}}{1 + e^{-1.1 - 0.946\text{土As} + 0.016\text{土B} + 0.439\text{土Co}}} \quad (1)$$

式中: $P_{\text{根系土}} > 0.5$ 为槟榔树感染黄化病, < 0.5 为槟榔树未感染黄化病。

该模型意味着根系土 As、B、Co 元素是槟榔树是否感染黄化病的主要表征元素, As 元素的系数为负数, B、Co 元素的系数为正数, 表明 As 质量分数越高, B、Co 质量分数越低, 槟榔树感染黄化病的概率越低。

2.3 槟榔黄化病与根系元素质量分数的关系

以根系的元素指标为自变量的统计分析表明, 根系中 N、Na、Co 和 As 元素分 4 步依次进入统计模型(表 3), 模型分类正确率最终达 88.3%, 有效性的卡方检验值 48.596, P 值 < 0.05 。最终依据根元素的分类概率模型见表 2 和式 (2)。

$$P_{\text{根系}} = \frac{e^{5.734 - 6.11\text{根As} - 10.326\text{根N} + 0.003\text{根Co} - 0.001\text{根Na}}}{1 + e^{5.734 - 6.11\text{根As} - 10.326\text{根N} + 0.003\text{根Co} - 0.001\text{根Na}}} \quad (2)$$

该模型意味着根系中 As、N、Co、Na 元素是

表 3 根系元素回归分析分步执行结果

Table 3 Results of regression analysis of elements in the root

步数	模型			分类正确率/%	进入变量
	卡方检验	自由度	P 值		
1	21.270	1	0.000	75.0	根 N
2	31.828	2	0.000	78.3	根 Na
3	42.397	3	0.000	86.7	根 Co
4	48.596	4	0.000	88.3	根 As

表 4 最终模型中所包含的根系元素变量

Table 4 Elements variables of root in the final model

	步数	回归系数	标准误	wald 值	自由度	P 值	优势比
1	根 N	-12.139	3.265	13.822	1	0.000	0.000
	常数	5.640	1.531	13.561	1	0.000	281.3
2	根 N	-15.469	4.110	14.167	1	0.000	0.000
	根 Na	-0.001	0.000	7.681	1	0.006	0.999
	常数	8.837	2.257	15.329	1	0.000	6886
3	根 N	-12.611	3.965	10.115	1	0.001	0.000
	根 Co	0.002	0.001	7.108	1	0.008	1.002
	根 Na	-0.001	0.000	9.636	1	0.002	0.999
	常数	6.165	2.286	7.275	1	0.007	475.9
4	根 As	-6.110	3.704	2.721	1	0.099	0.002
	根 N	-10.326	3.963	6.789	1	0.009	0.000
	根 Co	0.003	0.001	6.659	1	0.010	1.003
	根 Na	-0.001	0.001	6.597	1	0.010	0.999
	常数	5.734	2.385	5.778	1	0.016	309.0

槟榔树是否感染黄化病的主要表征元素, As、N、Na 元素的系数为负数, Co 元素的系数为正数, 表明 As、N、Na 质量分数越高, Co 质量分数越低, 槟榔树感染黄化病的概率越低。

2.4 槟榔黄化病与叶片元素质量分数的关系

以叶片的元素指标为自变量的统计分析表明, 叶片中 Hg、Zn、Mg 和 S 元素分 4 步依次进入统计模型(表 5), 模型分类正确率最终达 96.7%, 有效性的卡方检验值 67.548, P 值 < 0.05 。最终依据叶片元素的分类概率模型见表 6 和式 (3)。

表 5 叶片元素回归分析分步执行结果

Table 5 Results of regression analysis of elements in the leaf

步数	模型			分类正确率/%	进入变量
	卡方检验	自由度	P 值		
1	47.360	1	0.000	90.0	叶 Hg
2	56.335	2	0.000	93.3	叶 Zn
3	62.751	3	0.000	95.0	叶 Mg
4	67.548	4	0.000	96.7	叶 S

$$P_{\text{叶片}} = \frac{e^{15.662 - 0.283\text{叶Zn} - 0.332\text{叶Hg} + 32.194\text{叶Mg} - 7.59\text{叶S}}}{1 + e^{15.662 - 0.283\text{叶Zn} - 0.332\text{叶Hg} + 32.194\text{叶Mg} - 7.59\text{叶S}}} \quad (3)$$

该模型意味着叶片中 Zn、Hg、Mg、S 元素是槟榔树是否感染黄化病的主要表征因素, Zn、Hg、

表6 最终模型中所包含的叶片元素变量

Table 6 Elements variables of leaf in the final model

	步数	回归系数	标准误	wald值	自由度	P值	优势比
1	叶 Hg	-0.225	0.055	16.636	1	0.000	0.798
	常数	7.803	1.856	17.679	1	0.000	2447
2	叶 Zn	-0.161	0.061	6.991	1	0.008	0.851
	叶 Hg	-0.206	0.060	11.638	1	0.001	0.814
	常数	11.777	2.920	16.269	1	0.000	1.3E5
	叶 Zn	-0.200	0.073	7.642	1	0.006	0.818
3	叶 Hg	-0.270	0.096	7.973	1	0.005	0.763
	叶 Mg	23.644	11.545	4.195	1	0.041	1.8E10
	常数	9.839	3.399	8.381	1	0.004	1.8E4
	叶 Zn	-0.283	0.119	5.675	1	0.017	0.753
4	叶 Hg	-0.332	0.142	5.457	1	0.019	0.718
	叶 Mg	32.194	16.820	3.664	1	0.056	9.6E13
	叶 S	-7.590	4.049	3.513	1	0.061	0.001
	常数	15.662	6.159	6.467	1	0.011	6.3E6

S元素的系数为负数，Mg元素的系数为正数，表明Zn、Hg、S质量分数越高，Mg质量分数越低，槟榔树感染黄化病的概率越低。

3 讨论

根系土、根系和叶片的元素对槟榔树是否感染黄化病的回归分析表明：

1) 基于不同介质样品元素质量分数的分类正确率和卡方检验均表现为叶片>根系>根系土，表明叶片中元素质量分数差异相对最能准确反映槟榔树是否感染黄化病，这与槟榔黄化病的病症描述一致，即槟榔树植株叶片黄化，同时也反映进入回归模型的元素地球化学特征特别是叶片的元素地球化学特征与黄化病可能存在一定因果联系。

2) 植物叶片、根系等中的微量元素最主要的来源是土壤，植物对土壤背景中微量元素的吸收有一定选择性（陈恩等，2012；Prajna et al., 2022；Veldhuis et al., 2022）。从生态地球化学角度看，对

根系土的元素地球化学组成进行改造可能是防控槟榔黄化病的手段之一。适量增加土壤中的As元素，避开B、Co元素质量分数相对较高的土壤有助于防控槟榔黄化病；根系中As、Co元素统计特征与根系土基本一致。

3) As元素没有进入叶片的统计模型（但有重金属元素Hg进入），参考As元素在槟榔果实-根系土的富集系数0.31%（张娜，2016），说明As元素不易到达槟榔树的叶片和果实。但事实上，As在3种介质中都呈现共同的变化趋势，即未感病槟榔树的根系土、根系和叶片As元素质量分数大多高于感病的槟榔树（图1，根系土As质量分数<4.2 mg/kg，根系<0.28 mg/kg，叶片<0.12 mg/kg），这种As元素在正常或感染黄化病槟榔树的不同介质器官中迁移富集的特点，可能体现As元素对黄化病的防控功效，如赋予槟榔树抑制或杀灭黄化病病原。现实中，人们曾经开发和利用含砷农药或药物用于植物的病虫害防控甚至动物和人的疾病治疗（Liu et al., 2019; Bi et al., 2022）。

4) As作为毒害元素，是土壤环境质量和农产品食用安全评价的重要控制指标。因此，利用As元素防控槟榔黄化病既要达到防控效果，同时不能造成土壤环境污染和果实的食用安全，更确切地说，不能逾越土壤环境质量可允许的容量和农产品污染物限量标准2条“红线”。据万宁市槟榔园农业地质调查成果（海南省地质调查院，2014），万宁市槟榔园土壤的As元素平均质量分数为1.92 mg/kg（质量分数区间0.1~281.4 mg/kg，古生代沉积-变质岩区土壤质量分数最高，平均9.74 mg/kg），大多低于40 mg/kg的农用地土壤污染风险筛选值（生态环境部等，2018）；槟榔果实中As元素平均质量分数为0.006 mg/kg（质量分数区间0.000 2~0.077 mg/kg），

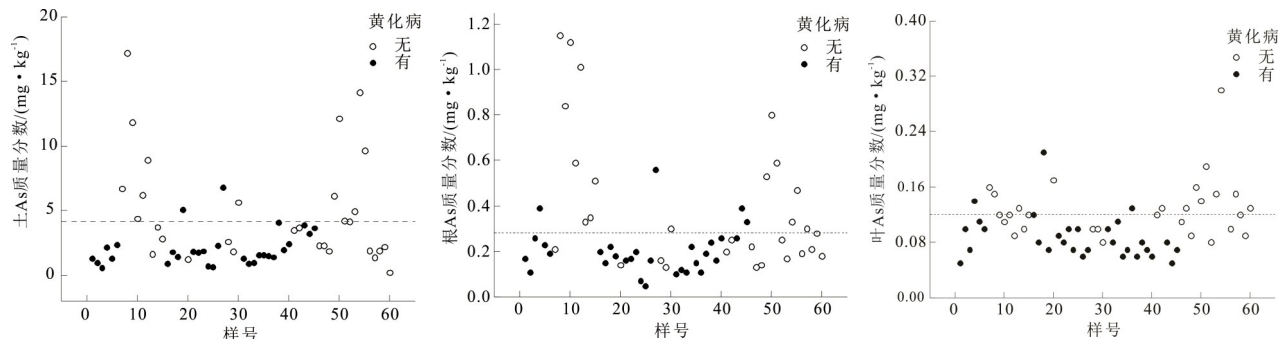


图1 As元素在根系土（土As）、根系（根As）和叶片（叶As）中的质量分数分布

Fig.1 Content of As in the rhizosphere soil, root and leaf

远低于 0.5 mg/kg 的限量值 (中华人民共和国卫生部, 2012), 因此, 利用 As 元素防控槟榔黄化病, 在保证土壤环境质量和槟榔果实食用安全的“红线”之上有一定容量空间。当然, 针对槟榔树根系土和槟榔果实的系统性田间试验研究和评估仍是不可或缺的, 严防二次污染, 特别是不可“大水漫灌”, 应只针对槟榔树的根系土精准施加。

4 结 论

基于生态地球化学思维和方法, 同时对海南万宁槟榔感染和未感染黄化病的植株进行根系土-根系-叶片配套采样和分析测试, 对比研究表明, 根系土中 As 质量分数越高, B、Co 质量分数越低, 根系中 As、N、Na 质量分数越高, Co 质量分数越低, 叶片中 Zn、Hg、S 质量分数越高, Mg 质量分数越低, 槟榔树感染黄化病的概率越低。因土壤中的微量元素是植株中微量元素的最主要来源, 提高土壤中的 As 等元素质量分数, 有助于槟榔树避免感染黄化病。结合含 As 农药或矿物用于杀灭农作物病虫害的事实, 认为含 As 农药或矿物可能也具有防控槟榔黄化病的功效。但鉴于 As 的土壤环境质量和农产品食用安全性的限制, 应用含 As 矿物或其他化合物防控槟榔树感染黄化病, 同时必须开展针对槟榔树根系土的系统性田间试验研究和评估, 严防二次污染。

参考文献 (References):

- 车海彦, 曹学仁, 罗大全. 2017. 槟榔黄化病病原及检测方法研究进展. 热带农业科学, 37 (2): 67-72. [Che Haiyan, Cao Xueren, and Luo Daquan. 2017. Research Advances in Pathogenic Detection Technique for Arecanut Yellow Leaf Disease. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 37(2): 67-72.]
- 陈恩, 贾磊, 朱鑫. 2012. 影响从化荔枝生长及果实品质的地球化学特征. 华南地质与矿产, 28 (3): 259-264. [Cheng En, Jia Lei, and Zhu Xin. 2012. Geochemical Characteristics for Growth and Fruit Quality of Conghua Litchi, Guangdong Province. *Geology and Mineral Resources of South China*, 28(3): 259-264.]
- Bhat R, Sujatha S, and Jose C T. 2012. Assessing Soil Fertility of a Laterite Soil in Relation to Yield of Arecanut (*Areca catechu* L.) in Humid Tropics of India. *Geoderma*, 189/190:91-97.
- Bi J, Song A, Li S, Chen M, Wang Y, Wang S, Si Z, Wang E, Zhang J, Badu A. B, Njyenawe M. C, Zhang Q, Xue P, and Fan F. 2022. Plant Physiology, Microbial Community, and Risks of Multiple Fungal Diseases Along a Soil Nitrogen Gradient. *Applied Soil Ecology*, 175:104445.1-104445.11.
- 郭兴科, 贾爱军, 廖方舟. 2019. 黄花山核桃主要病虫害及防治. 河北果树, 2 (2): 33-34 [Guo Xingke, Jia Aijun, and Liao Fangzhou. 2019. Main Pests and Control of Huanghua Walnut. *Hebei Fruit Trees*, 2(2): 33-34.]
- 海南省地质调查院. 2014. 万宁市槟榔园 (1:10000) 农业地质调查及兴隆咖啡生态地球化学评价成果报告. 海口: 海南省地质调查院, 33-75. [Hainan Geological Survey Institute. 2014. *Reports on Eco-Geochemistry Evaluation to Xinlong Coffee and Agro-Geology Survey to Areca Plantation of Wanning*. Haikou: Hainan Geological Survey Institute, 33-75.]
- Huang H, Huang H, and Liu H. 2016. Current Situation and Development Recommendations for Betel Nut Processing in Hainan Province. *Asian Agricultural Research*, (10): 4
- 柯佑鹏. 2019. 乡村振兴背景下海南槟榔产业兴旺思考. 今日海南, (4): 56-57. [Ke Youpeng. 2019. Think on Prosperous Areca Industry of Hainan in the Background of Rural Revitalization. *Today Hainan*, (4): 56-57.]
- 黎妍妍, 覃光炯, 王林, 余君, 许汝冰, 彭五星, 饶雄飞. 2018. 清江流域烟区烟草青枯病发生的土壤营养因素分析. 南方农业学报, 49 (4): 656-661. [Li Yanyan, Qin Guangjiong, Wang Lin, Yu Jun, Xu Rubin, Peng Wuxing, and Rao Xiongfei. 2018. Soil Nutrient Elements Affecting the Occurrence of Tobacco Bacterial Wilt in Qingjiang River Basin. *Journal of Southern Agriculture*, 49(4):656-661.]
- 刘宝生, 王勇, 刘春艳, 孙淑琴. 2008. 果林树木黄化病的研究进展. 天津农业科学, 14 (6): 61-65. [Liu Baosheng, Wang Yong, Liu Chunyan, and Sun Shuqin. 2008. Research Advances on Yellow Leaf Disease of Fruit-Forest Trees. *Tianjin Agriculture Sciences*, 14(6): 61-65.]
- Liu K, Cai M, Hu C, Sun X, Chen Q, Jia W, Yang T, Nie M, and Zhao X. 2019. Selenium (Se) Reduces Sclerotinia Stem Rot Disease Incidence of Oilseed Rape by Increasing Plant Se Concentration and Shifting Soil Microbial Community and Functional Profiles. *Environmental Pollution*, 254(2):113051.1-113051.10.
- 卢纹岱. 2000. SPSS for Windows 统计分析. 北京: 电子工业出版社, 308-315. [Lu Wendai. 2000. *Statistical Analysis Using SPSS for Windows*. Beijing: Electronic Industry Press, 308-315.]
- 孟秀丽, 宋薇薇, 唐庆华, 牛晓庆, 李朝绪, 钟宝珠, 吕朝军, 黄山春, 覃伟权. 2021. 槟榔主要病虫害研究进展. 热带作物学报, 42 (11): 3055-3065. [Meng Xiuli, Song Weiwei, Tang Qinghua, Niu Xiaoqing, Li Chaoxu, Zhong Baozhu, Lyu Chaojun, Huang Shanchun, and Qin Weiquan. 2021. Advances in Main Diseases and Insect Pests of Areca Palm. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 42(11): 3055-3065.]
- 牛晓庆, 林兆威, 杨德洁, 孟秀丽, 唐庆华, 宋薇薇. 2021. 海南万宁黄叶槟榔病毒病发生情况和症状分析. 热带作物学报, 42 (11): 3073-3078. [Niu Xiaoqing, Lin Zhaowei, Yang Dejie, Meng Xiuli, Tang Qinghua, and Song Weiwei. 2021. Investigation and Symptom Analysis of Areca Palm Leaf Yellowing Virus Disease in Wanning, Hainan, China. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 42(11): 3073-3078.]
- Priyadarshini Das, Singh R B, Gunjan N, Aadil M, Ravindra P S, Irfan A G, Anirudh K, and Jay S. 2022. Plant-Soil-Microbes: A

- Tripartite Interaction for Nutrient Acquisition and Better Plant Growth for Sustainable Agricultural Practices. *Environmental Research*, 214(113821): 1-21.
- 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 2018. 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准 (试行) (GB 15618-2018) [Ministry of Ecology and Environment of the PRC and State Administration for Market Regulation. 2018. Soil Environmental Quality Risk Control Standard for Soil Contamination of Agricultural Land (GB 15618-2018).]
- 宋薇薇, 朱辉, 余凤玉, 牛晓庆, 唐庆华, 覃伟权. 2018. 植物内生菌及其对植物病害的防治作用综述. *江苏农业科学*, 46 (6): 12-16. [Song Weiwei, Zhu Hui, Yu Fengyu, Niu Xiaoqing, Tang Qinghua, and Qin Weiquan. 2018. Overview of Plant Endophytes and Their Effects Against Plant Diseases. *Jiangsu Agricultural Science*, 46(6): 12-16.]
- 宋薇薇, 唐庆华, 朱辉, 黄惜, 黄凯. 2020. 槟榔黄化病防控明白纸. 万宁: 海南省槟榔病虫害重大科技计划项目组, 1-10. [Song Weiwei, Tang Qinghua, Zhu Hui, Huang Xi, and Huang Kai. 2020. Prevention and Management Manual of Areca Palm Yellow Leaf Disease. Wanning: The Major Science and Technology Plan Project Team for Diseases and Insect Pests of Areca Palm of Hainan Province, 1-10.]
- 唐庆华, 宋薇薇, 于少帅, 牛晓庆, 覃伟权. 2021. 槟榔黄化病原研究及防控中存在的问题及展望. *植物保护*, 47 (4): 6-11. [Tang Qinghua, Song Weiwei, Yu Shaoshuai, Niu Xiaoqing, and Qin Weiquan. 2021. Questions and Prospects in the Research on the Causal Agent of Arecanut Yellow Leaf and Its Management. *Plant Protection*, 47 (4): 6-11.]
- 唐庆华, 孟秀利, 于少帅, 林兆威, 牛晓庆, 宋薇薇, 覃伟权. 2022. 中国“槟榔黄化病”研究40年——病原、防控措施新进展. *热带作物学报*, 43 (5): 1010-1022. [Tang Qinghua Meng Xiuli, Yu Shaoshuai, Lin Zhaowei, Niu Xiaoqing, Song Wei Wei, and Qin Weiquan. 2022. Forty Years of Research on "Yellow Leaf Disease of Areca Palm" in China: New Progress of the Casual Agent and the Management. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 43 (5): 1010-1022.]
- Veldhuis E R, Skinkis J, Verheyen K, Smolders A J P, and Smit C. 2022. Mycorrhizal Fungi Improve Growth of Juniperus Communis But Only at Sufficiently High Soil Element Concentrations, *Basic and Applied Ecology*, 65(12): 78-85.
- 万三连, 肖春雷, 刘勇, 岑美婷, 柯用春, 吴乾兴, 孔祥义. 2015. 三亚市槟榔黄化病为害情况初步调查. *中国南方果树*, 44 (1): 49-51. [Wan Shanlian, Xiao Chunlei, Liu Yong, Chen Meiting, Ke Yongchun, Wu Qianxing, and Kong Xiangyi. 2015. Preliminary Survey on Yellow Leaf Disease of Areca Palm in Sanya. *South China Fruits*, 44(1): 49-51.]
- 杨春雨, 战晴晴, 周亚奎, 张玉秀. 2018. 万宁市南部地区槟榔黄化病情调查. *中国药业*, 27 (1): 70-71. [Yang Chunyu, ZhanQingqing, Zhou Yakui, and Zhang Yuxiu. 2018. Investigation on the Condition of Areca Yellow Leaf Disease in the South of Wanning, *China Pharmaceuticals*, 27(1): 70-71.]
- 杨枝林, 周亚东, 沙林华, 张先敏, 罗湘粤. 2013. 海南省槟榔主产区槟榔黄化病发生现状. *热带林业*, 41 (1): 49-51. [Yang Zhilin, Zhou Yadong, Sha Linhua, Zhang Xianmin, and Luo Xiangyue. 2013. Yellow Leaf Disease Occurrence Status of the Major Areca Nut Plantation in Hainan Province. *Tropical Forestry*, 41(1): 49-51.]
- 张恒, 陈锐帆, 林嘉蓓, 邓小梅, 奚如春. 2022. 微量元素在林木中的应用研究进展. *南京林业大学学报 (自然科学版)*, 46 (5): 229-239. [Zhang Heng, Chen Ruifan, Lin Jiabei, Deng Xiaomei, and Qi Ruchun. 2022. A Review on the Application of Microelements in Forests. *Journal of Nanjing Forest University (Natural Sciences Edition)*, 46(5): 229-239.]
- 张娜. 2016. 海南万宁槟榔园土壤与槟榔有益有害元素相关性研究及砷污染治理初探. 成都: 成都理工大学. [Zhang Na. 2016. *The Correlation of Beneficial and Harmful Element Between Beteinut Park Soil and Fruit and Control the Arsenic Contamination in Wanning Hainan*. Chengdu: Chengdu University of Technology.]
- 中国地质调查局. 2005. 生态地球化学评价样品分析技术要求 (试行) (DD2005-03). 北京: 中国地质调查局. [China Geological Survey. 2005. *Analysis Technical Requirement for Samples of Eco-Geochemistry Assess (DD 2005-03)*. Beijing: China Geological Survey. 2005.]
- 中华人民共和国卫生部. 2012. 食品安全国家标准食品中污染物限量 (GB 2762-2012). 北京: 中华人民共和国卫生部. [National Health Commission of the P. R. C. 2012. *National Standard of Foods Safety Maximum Levels of Contaminants in Foods (GB 2762-2012)*. Beijing: National Health Commission of the P. R. C.]
- 周阳, 张盼, 郝丽萍, 李鑫杰, 李春广. 2021. 基于回归型支持向量机的土壤地力与农作物病害之间的关系初探. *中国植保导刊*, 41 (5): 17-22. [Zhou Yang, Zhang Pan, Hao Liping, Li Xinjie, and Li Chunguang. 2021. Relationship between Soil Fertility and Crop Diseases Basedon Regression Support Vector Machine. *China Plant Protection Guide*, 41 (5): 17-22.]

Analysis of Eco-Geochemistry Prevention and Cure for Yellow Leaf Disease of the Areca Palm in Wanning of Hainan Province

He Yusheng

(Hainan Key Laboratory of Marine Geological Resources and Environment, Hainan Geological Survey Institute, Haikou 570206, China)

Abstract: The areca palm is one of the three important "trees" (hevea brasiliensis, areca palm, and coconut) of tropical agriculture in Hainan province, China. However, the areca palm is highly susceptible to yellow leaf disease—the most common disease affecting the palm—which is highly destructive, spreads rapidly, and is difficult to control with comprehensive physical, chemical, and ecological measures. Eco-geochemical studies have focused on the elemental geochemical behavior and ecological effects of the soil-plant system, which may prevent yellow leaf disease in the areca palm. With the support of the People's Government of Wanning City, Hainan Province, an eco-geochemical study was conducted on the areca palm area of Wanning City. Thirty sets of geochemical samples were collected from the root soil, root system, and leaves of areca palms infected with yellow leaf disease, along with samples taken from healthy trees. Root soil samples were tested for 28 indicators—including Se, Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, As, Cr, Ni, Fe, Mn, B, Mo, Cl, F, I, N, P, K, Ca, Mg, S, Co, Na, Si, Al, pH, and organic matter. Additionally, the plant samples were tested for 23 elements—including Se, Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, As, Cr, Ni, Fe, Mn, B, Mo, F, I, N, P, K, Ca, Mg, S, Co, and Na. Binomial logistic regression analysis of whether areca palms were infected with yellow leaf disease as the dependent variable showed that As, B, and Co in the root soil were the main characteristic elements for determining whether the areca palm was infected. The coefficients of As were negative, while the coefficients of B and Co were positive, indicating a lower probability of areca palm infection when the As content is higher and the contents of B and Co are lower. N, Co, and Na in the root system were the main characteristic elements for determining whether the areca palm was infected. The coefficients of As, N, and Na were negative, while the coefficients of Co were positive, indicating a lower probability of areca palms being infected when the contents of As, N, and Na are higher, and the content of Co is lower. The elements Zn, Hg, Mg, and S in the leaves were the main factors determining whether the areca palms were infected. The coefficients of Zn, Hg, and S were negative, and the coefficients of Mg were positive, indicating a lower probability of areca palm infection when the contents of Zn, Hg, and S are higher, and content of Mg content is lower. Statistical analysis also showed that the correct classification rate and chi-square test expressed leaf > root system > root soil, indicating that the differences in elemental contents in the leaves were the most accurate reflection of whether the areca palm was infected. Soil is the most important source of trace elements in leaves and roots. From an eco-geochemical perspective, changing the elemental composition of root soil can be prevented, and yellow leaf disease among areca palms can be controlled. The As indicator did not enter the statistical model of leaves (but Hg did), indicating that As does not easily reach the leaves or even the fruit of the palm. As is well known, arsenic-containing pesticides and drugs are used for plant pest control and human disease treatment, which indicates that increasing arsenic elements in the root system may enhance the prevention of areca palm from developing yellow leaf disease. Thus, this study provides a new eco-geochemical approach for the prevention and control of yellow leaf disease in areca palms. However, arsenic, as a toxic element, is an important control indicator for soil environmental quality and agricultural food safety. Therefore, systematic field trial studies and evaluations of areca palm root soil and fruits should be conducted to avoid secondary contamination using As; this can prevent and control yellow leaf disease in areca palms.

Keywords: areca palm; yellow leaf disease; eco-geochemistry; prevention and cure; Wanning of Hainan Province