

基于土壤地球化学解析揭阳市荔枝种植适宜性^①

杨江涛, 赵红静, 杨孝勇, 谢竹茜, 罗杰

长江大学 资源与环境学院, 武汉 430000

摘要: 享有“中国荔枝之乡”之称的广东省揭阳市惠来县近年来积极发挥了示范带动作用。本研究是对揭阳市的荔枝种植进行适宜性评价, 采集了主要种植区的土壤样品及相关的荔枝样品。通过地球化学的实验方法, 首先讨论了揭阳市土壤重金属元素对荔枝的影响以及在地质图上的分布状况, 整体重金属超标区域较小, 因地质背景、工农业、地质矿产等因素导致自北向南共有 3 块小面积超标区; 其次分析土壤主要元素与荔枝品质的相关性和吸收系数, 确定荔枝的特征元素为 Ca, Fe, Se, P, Mo, 并讨论它们的分布, 结合地质背景图可知第四系的土壤更适合荔枝的种植; 最后分析整个土壤的地质背景。根据上述 3 种因素, 对荔枝种植进行综合适宜性评价, 并采用权重计算法, 得到最适合荔枝种植的区域位于揭阳市的东部。

关键词: 荔枝; 品质; 地球化学分析; 特征元素; 重金属元素; 适宜性评价

中图分类号: P596

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2019)07-0127-10

荔枝是生长于亚热带地区的一种常青果树。其主产国家包括中国、东南亚国家、印度、南非、澳大利亚、以色列等。中国有着世界上产量最大、面积最广的荔枝种植园。我国在商业栽培方面历史久远, 其产地在桂、粤、闽、琼、滇、川等 6 个省(区)相对集中。仅从栽培面积来看, 荔枝位居我国水果排名前五。我国荔枝品种类型丰富, 达到大规模商品化的约有几十种, 拥有数千年的栽培历史^[1]。

通常可从出汁率、可食率、总酸度、总糖度、糖酸比 5 个方面来评价荔枝的品质。多种因素的复合作用影响着荔枝品质的好坏。目前我国学者大多对储藏方式、时间、包装对荔枝果皮和果实品质的影响做了深入的研究和分析, 鲜有关于荔枝生长过程中元素对感官品质影响的调研, 周晓超等^[2]认为妃子笑荔枝果肉钾、钙含量与可溶性糖含量呈正相关, 周开兵等^[3]提出叶面喷施磷钾钙肥可以提高三月红荔枝果肉的品质; 同时还有杨苞梅等^[4]通过调配不同比例的钾氮肥料, 分析其对荔枝果实矿物质含量的影响。而关于地质背景对荔枝品质的影响也仅有赵艺等^[5]在珠三角经济区的初步研究。就目前来说, 我国关于地质背景在荔枝生长过程中所造成影响的相关调查少之又少。

影响荔枝品质的因素有多种, 在生长、运输、储存过程中任何不当行为都会影响荔枝果肉的口感。而生长过程中, 地质背景、施肥、气候、人为因素等也均会直接或间接地影响果实的品质。本研究采用地球化学方法, 对揭阳市主要种植区的土壤和荔枝进行采样, 通过分析土壤中营养元素以及 Se 元素对荔枝综合品质的影响程度, 与当地重金属元素的分布特征以及是否超标相结合, 来划分整个揭阳市的荔枝种植适宜区, 同时结合当地土壤情况, 讨论地质背景对荔枝综合品质评价的影响, 作为当地果农选择适宜种植区的

① 收稿日期: 2018-10-03

基金项目: 国家自然科学基金项目 (21876014); 国家科技重大专项项目 (2016ZX05024-003-004)。

作者简介: 杨江涛(1997-), 男, 本科生, 主要从事环境地球化学研究。

通信作者: 赵红静, 教授, 博士。

有效参考.

1 揭阳市荔枝种植区概况

1.1 自然地理

揭阳市地处我国广东省东南向的潮汕平原,境内包括龙江流域、练江中上游、榕江流域,地理位置优越,与汕头、潮州、汕尾相邻,是粤东地区重要的交通枢纽.地质构造复杂,地势北高南低,由北至南山地、丘陵、平原等基本地貌类型依次分布.山地多集中在市域的西部北部以及中南部榕江平原.中部河曲发育,地势平整开阔.位于山地与平原间的过渡地带分布有丘陵、台地和岗地.

本次研究的工作区岩性主要呈灰白、灰、灰黑色薄层-中厚层状泥岩和薄层状泥质粉砂岩与泥岩组成的韵律层,中部夹少量的砂岩或砂砾岩.其中评价区绝大部分土壤为花岗岩赤红壤,分布广泛,其余为第四纪土壤和砂壤土.花岗岩与对应赤红壤质量分数对比结果表明,除常量元素 Na,Ca 与微量元素 Hg,S,Se,I 外,土壤中其他大部分元素与其成土母岩有较好的共消长关系,反映了土壤中元素分布特征主要受控于母岩,继承了岩石化学组成特征.大多数元素在土壤中的质量分数高于岩石,说明它们在成土过程中得到了次生富集;常量元素 Na,Mg,K,Ca 及微量元素 Cl,Cr,Cu,F,Mn,Mo 在岩石中的质量分数高于土壤,说明这些元素在岩石风化过程中易于流失.整个区域内水文条件较好,交通便利,荔枝大多沿公路种植,沿途分布多个种植园.

1.2 种植现状

揭阳市惠来县拥有超过两千年的荔枝种植史,全县荔枝园面积已增至 1.4 万公顷,超过经济林全部面积的一半,至今还保留着千年树龄的荔枝.品种包括妃子笑、三月红、糯米糍、水东、淮枝、桂味等,优良种植率接近 90%.惠来荔枝种植业具有优秀的示范带动作用,在全县农业经济的产业中独占鳌头,并创造了可观的外汇.

2 研究方法

2.1 样品采集

根据实验的目的任务和样品类型灵活布点,同时为了提高接下来根据土壤样点数据插值成图的精度,我们采用网格法在室内样点中进行初步布设.根据种植区的实际情况,在空间分布均匀的条件下,对分布于代表性地块内的土壤进行取样.测量网 $250\text{ m}\times 250\text{ m}$,采样密度平均为 $9\text{ 件}/\text{km}^2$,其变化范围为 $6\sim 16\text{ 件}/\text{km}^2$.在有着地貌繁杂的地形、具有多样利用方式的土地、严重的人为污染以及元素空间变异性大等特点的地区,适当加密布设样点.并在将评价区划分成 $250\text{ m}\times 250\text{ m}$ 网格的基础上叠加 1:1 万地形图、卫星遥感影像图、1:1 万土地利用现状图,使有限的样品数量尽可能地反映评价区土壤属性状况.对各子样点采集到的土壤进行破碎,筛滤去除根系、石块、垃圾、秸秆、生物体等杂质,然后再充分混合.采取四分法保留土壤 $1.0\sim 1.5\text{ kg}$,放入由结实干净的棉布制成的样品袋中进行检测分析.

在布设样点划分采样单元格时,为了能够更好地反映真实地质特征,将在现行的地球化学调查规范的基础上进行改进,考虑区域内土壤属性、地质环境、空间位置、时间变化等要素,获得样品属性合规、变化均匀的具有代表性和针对性的土壤.同时也要兼顾实验室的内部质量控制和外部质量控制,在评估时对样品进行随机化处理^[6-7].

布设采样点的过程也要考虑到种植区内荔枝的分布情况,人工采集荔枝样品时应做到“适时、适熟、无伤”三大要点.对采集到的土壤样品及配套的荔枝样品进行编号,以供接下来对元素数据的处理和分析.

2.2 样品处理与测试

2.2.1 分析方法

农业地质调查样品具有数量大、测试元素多、分析质量要求严、工作效率要求高的特点,联系分析测试单位实际,制定了以 X 射线荧光光谱法为主,电感耦合等离子体质谱法为辅,并结合其他各种类型分析方法组成先进的、准确度和精密度良好的分析体系和配套方案(表 1)。

表 1 多目标地球化学样品分析测试配套方案

分析方法	指标数	测定元素
X 射线荧光光谱法(XRF)	29	Al ₂ O ₃ ,CaO,Fe ₂ O ₃ ,K ₂ O,MgO,Na ₂ O,SiO ₂ ,Ba,Br,Ce,Cl,Co,Cr,Ga,Mn,P,Nb,Rb,Sr,Ti,V,Y,Zn,Zr,Ni,Cu,Pb,La,Sc,(Th),(S)
等离子体质谱法(ICP-MS)	12	Be,Cd,Li,Tl,U,Mo,Bi,Sb,W,Cs,Th,Au
发射光谱法(ES)	3	Ag,Sn,B
氢化物-原子荧光光谱法(HG-AFS)	3	As,Se,Ge
冷蒸气-原子荧光光谱法(CV-AFS)	1	Hg
离子选择性电极法(ISE)	2	F,pH
容量法(VOL)	4	TC,N,S,Corg.
分光光度法(COL)	1	I
9 种方法		55 元素(项)

2.2.2 评价方法

单因子污染指数法: 计算公式为: $C_f^i = \frac{C_i}{S_n}$. 式中: C_f 为单因子污染指数; C_i 为某一评价指标的实测质量分数值; S_n 为某一污染物的评价标准值(根据土壤环境质量标准 GB 15618-1995,应采用土壤环境质量分类的二级标准为: $As \leq 30$, $Cd \leq 0.3$, $Cr \leq 200$, $Cu \leq 100$, $Hg \leq 0.5$, $Ni \leq 50$, $Pb \leq 300$, $Zn \leq 250$). 其评价标准为 $C_f^i < 1$ 时表示轻度污染; $1 \leq C_f^i < 3$ 时表示中度污染; $3 \leq C_f^i < 6$ 时表示重度污染; $C_f^i \geq 6$ 时表示严重污染^[8]. 但仅能反映单个重金属元素的污染程度,不能得出土壤整体的污染程度。

内梅罗指数法: 当采样数目多,数据量较大时,引入内梅罗指数法对污染元素进行综合评价,内梅罗指数综合考虑了单因子污染指数的平均值和最大值,还突出了重度污染元素的污染作用,在污染评价体系中具有极其重要的作用. 计算公式为: $P_m = \sqrt{\frac{(C_f^i)_{avg}^2}{2} + \frac{(C_f^i)_{max}^2}{2}}$ ^[8] 评价等级为 $P_m \leq 1.0$ 表示清洁; $1.0 < P_m \leq 2.0$ 表示轻度污染; $2.0 < P_m \leq 3.0$ 表示中度污染; $P_m > 3.0$ 表示重度污染。

2.2.3 数据处理

利用 Microsoft Excel 和 SPSS 完成描述性统计、Pearson 相关分析和回归分析;运用 GS+,ArcGIS 软件完成半方差分析、绘图。

3 结果与分析

3.1 研究区的毒重元素

经实地调查得知,由于存在着人为和地质背景的影响,导致种植区土壤中的污染元素富集. 研究表明,Cd 质量分数达到一定时会危害作物,使其出现叶片变黄、植株变矮、产量降低等症状;Hg 超标使作物品质下降,种子萌发率降低,生长发育被抑制;Pb 超标使作物生长缓慢,光合作用减弱;Cr 虽然是作物必需的微量元素,但超标仍会抑制作物生长发育结果,形成减产;Cu 也是必需的微量营养元素,但 Cu 质量分数过高使作物的代谢被影响,植株矮小、落叶脱叶;Zn,Ni,As 等元素超标时对作物的产量品质等也会有抑制作用^[9]. 因此往往评价荔枝的种植适宜区需优先考虑土壤的污染状况,分析重金属元素有无超标及超标情况,若区域内存在重金属元素超标,无论高低大小,均应明令禁止种植农作物。

在对揭阳市的荔枝及其对应土壤的采样分析中,共采集了 1 330 个点,测量 As,Cd,Cr,Cu,Hg,Ni,Pb,Zn 共 8 个重金属元素的质量分数,进行数据处理和计算内梅罗综合污染指数得出表 2:全区采样点土壤样品的 As 质量分数为 0.600~400.000 mg/kg; Cd 质量分数为 0~1.904 mg/kg; Cr 质量分数为 1.400~301.900 mg/kg; Cu 质量分数为 0~319.200 mg/kg; Hg 质量分数为 0.008~1.053 mg/kg; Pb 质量分数为 6.500~267.000 mg/kg; Zn 质量分数为 11.200~400.000 mg/kg.

分析表 2 中重金属元素的单因子指数及内梅罗指数,在 1 330 个采样点中,有 65 个土壤样点的 As 超标,超标率达 4.9%,单因子指数为 0.020~13.333;有 96 个土壤样点的 Cd 超标,超标率达 7.2%,单因子指数为 0~6.347;有 5 个土壤样点的 Cu 超标,超标率达 0.4%,单因子指数为 0~3.192;有 16 个土壤样点的 Hg 超标,超标率达 1.2%,单因子指数为 0.016~2.105;有 7 个土壤样点的 Zn 超标,超标率达 0.53%,单因子指数为 0.048~1.600.而其他元素如 Ni,Cr,Pb 质量分数控制得当,未出现超标情况.整体而言,揭阳市土壤重金属污染因子顺序为 Cd>AS>Hg>Zn>Cu>Ni=Cr=Pb;其中 As,Cd 的质量分数展现了不同程度的超标情况,少数土壤样品中的 As,Cd 污染严重.但从全部数据来看,超标的数据点并不多,表明了揭阳市的整体污染情况属于良好.计算得出内梅罗指数,并综合讨论研究区土壤重金属的污染状况,显示内梅罗指数的平均值为 0.448 表明整个揭阳市普遍属于清洁区域;内梅罗指数最小值为 0.075,最大值为 9.523,说明存在个别地区有一定程度的污染.同时筛选每个采样点的内梅罗指数,共得到有 90 个土壤采样点的内梅罗指数>1,表示这些土壤存在轻微污染,污染率达到了 6.8%,这与上述单因子指数的分析情况有细微差异,但无论哪种评价方法,都能够展现整个揭阳市的污染情况良好,污染土壤较少.

表 2 重金属元素质量分数和内梅罗指数 (n=1 330)

项目	单因子污染指数								内梅罗指数
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
最小值	0.020	0	0.007	0	0.016	0.018	0.022	0.045	0.075
最大值	13.333	6.347	1.510	3.192	2.105	1.778	0.890	1.600	9.524
平均值	0.318	0.427	0.136	0.123	0.211	0.206	0.145	0.255	0.448

项目	重金属元素的质量分数/(mg·kg ⁻¹)							
	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
最小值	0.600	0	1.400	0	0.008	0.920	6.500	11.200
最大值	400.000	1.904	301.900	319.200	1.053	88.900	267.000	400.000
平均值	9.555	0.128	27.277	12.332	0.106	10.291	43.530	63.782

将所有采样点数据在地质图上进行插值投图(图 1).结合当地的地质背景以及人为因素,探讨重金属超标的区域及超标原因,可以得出,整个揭阳市的重金属超标区域较小,自北向南大致有 3 块污染区.位于揭阳市东北端的污染区域主要是由于地质背景造成的,其土壤岩性为砂岩和花岗岩,在该区存在农场,施肥、种植的不当也导致该区域存在一定的农业污染;向南的榕城区是揭阳主要的工业产区,因此认为第二块污染区是由于工业污水排放和工业垃圾处理不当造成的污染,相对比较严重;位于最南端的第三块污染区面积较小,从当地的实际情况可知其主要污染源来自于附近的矿场.

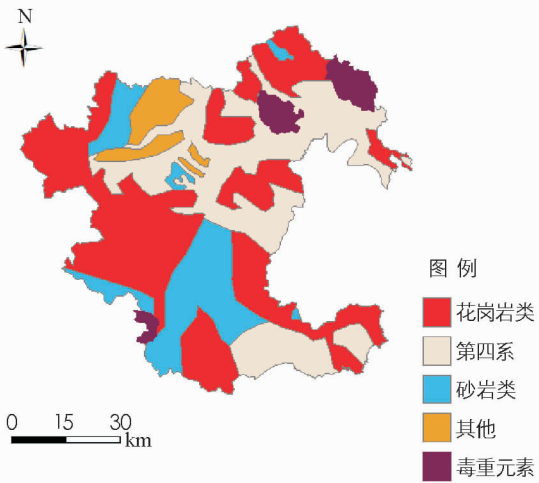


图 1 揭阳市地质背景图

3.2 荔枝的种植适宜区

植物体内的元素含量, 不仅是植物主动选择吸收进来用以维持自身有机物合成和生长代谢, 也会由于土壤中元素富集而迫使植物吸收积累, 这类元素同样也存在对作物的品质产生一定的影响的可能性^[10]. 无论是哪种情况, 特征元素与作物的营养品质有着密切联系^[11].

植物对土壤中元素的吸收能力不同, 受土壤中该元素质量分数的影响, 一般来说, 吸收能力的强弱表明植物对该元素的需求程度, 但具有一般吸收能力的元素对植物的感官品质仍有影响. 因此, 可通过土壤元素与荔枝品质的相关性分析来筛选出特征元素^[10]. 表 3 是荔枝品质参数与其相对应的土壤中元素质量分数的相关系数, 可见, 出汁率、可食率、总酸、总糖及糖酸比与土壤中的多种组分都有密切的联系.

出汁率与元素 Ca, Fe, Se, Mo 的相关性有统计学意义, 其中与 Fe, Se, Mo 呈正相关, 表明这类元素质量分数越高, 荔枝果实越多汁; 而与 Ca 呈负相关, 说明土壤中 Ca 元素质量分数越高, 越不利于荔枝果实的出汁; 可食率与土壤中的主要元素的相关性较不显著, 而总糖与 Ca 元素的质量分数正相关性有统计学意义, 这说明 Ca 质量分数的增加虽然不利于汁液的产生, 但却能增加荔枝果实的甜度, 因此要对 Ca 的质量分数进行严格控制. 同时, 由表 3 可知, 土壤元素与荔枝的糖酸比和总酸度的相关性刚好相反, 即元素与总酸呈正相关时, 与糖酸比呈负相关, 其中, 元素 Fe, Se, Mo 与总酸度正相关性有统计学意义, 与糖酸比呈负相关, 这类元素越多, 会增加荔枝果实的酸度, 导致糖酸比下降; 而元素 P 则与总酸度负相关性有统计学意义, 说明当元素 P 较多时, 能够降低果实的酸度, 增加糖酸比. 从上述相关性来看, 元素 Ca, Fe, Se, P, Mo 对荔枝果实品质的相关性较好, 故将这 5 种元素作为土壤中影响荔枝品质的主要元素, 即特征元素.

表 3 荔枝品质与主要元素相关性

	出汁率	可食率	总酸度	总糖	糖酸比
K	−0.12	0.20	0.02	0.05	−0.02
B	0.14	0.08	0.17	−0.04	−0.10
Ca	−0.39	−0.10	−0.16	0.48	0.17
Mg	0.28	0.21	0.13	−0.06	−0.12
Fe	0.36	0.17	0.40	−0.21	−0.38
Mn	−0.29	−0.05	0.26	−0.07	−0.28
Se	0.33	0.11	0.35	−0.26	−0.36
Zn	0.08	0.18	0.20	−0.11	−0.24
Cu	0.28	0.19	0.28	−0.14	−0.24
N	−0.02	0.07	−0.01	−0.12	0.02
S	0.12	−0.06	0.05	−0.19	−0.13
P	−0.16	−0.06	−0.38	0.20	0.37
Mo	0.37	0.21	0.31	−0.20	−0.32

一般用吸收系数来表示荔枝对土壤元素的吸收和利用的程度, 也就是说, 用果实中某元素的质量分数与对应土壤中元素全量的比值表示吸收能力^[10]. 但吸收能力过强或者过弱都会对荔枝的生长发育和果实感官品质产生不良影响, 因此, 荔枝对土壤提供的元素的吸收能力存在一个适宜范围, 当处在这个范围之内, 土壤提供的元素利于合成荔枝生长发育和提高品质所需的营养物质.

以荔枝特征元素的吸收系数 X 为因变量, 以土壤中特征元素的质量分数为自变量通过非线性拟合作出荔枝特征元素的吸收系数曲线(图 2), 可以看出荔枝对土壤特征元素的吸收系数随质量分数的升高而降低, 开始时是显著降低, 当达到第一个临界值后降低趋势变平缓, 当达到第二个临界值后吸收系数趋于稳定值, 将两个临界值包含的区间作为荔枝生长过程中对元素吸收的适宜浓度范围^[12], 此规律不仅适用于土壤中全量元素, 也对土壤中元素的有效态适用. 由特征元素的拟合曲线可以大致得出荔枝种植的适宜质量分数. Ca 为 0.2~0.6 mg/kg; Fe 为 3.2~8.0 mg/kg; Se 为 0.25~1.0 mg/kg; P 为 500~1 200 mg/kg; Mo 为

1.0~5.0 mg/kg. 认为土壤中特征元素质量分数处在上述范围内时, 不仅对荔枝的品质有影响, 同时也使荔枝对土壤元素主动选择吸收, 是适合荔枝种植的元素质量分数范围.

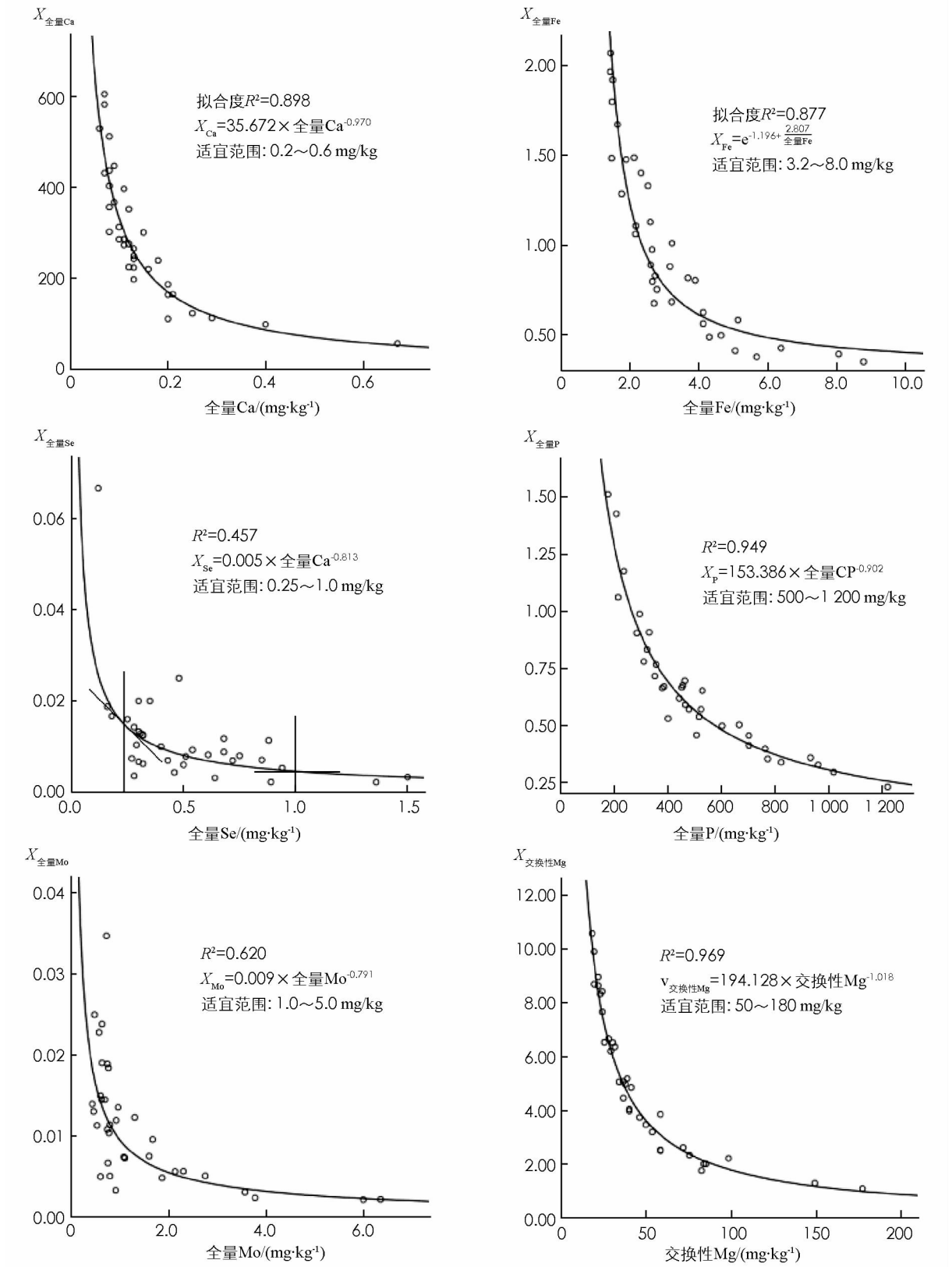


图 2 荔枝特征元素吸收曲线图

土壤中元素 Ca, Fe, Se, P, Mo 的质量分数处于上述范围内的种类越多, 表明该土壤对荔枝的品质影响越大, 越利于荔枝的种植. 因此, 我们通过营养元素对荔枝的影响划分适宜种植的一、二、三级区. 认为当有 4 种及以上元素的适宜范围相交时, 为一级区域, 也是从营养元素方面, 最适合种植荔枝的区域; 有 3 种元素的适宜范围相交时为二级区; 2 种元素的适宜范围相交为三级区(图 3). 从图中可以看出, 整个揭阳市一、二级区所占面积比例非常大, 主要集中在东部. 结合图 1 可以看出, 其一级区与第四系的土壤岩性契合度高, 二级区的绝大部分的岩性也均为第四系及附近的砂岩, 因此证明了揭阳市作为中国荔枝的主要产区, 其第四系的土壤更适合荔枝的种植, 而花岗岩区域对荔枝感官品质的影响较小.

3.3 地质背景综合评价

荔枝的种植不仅与种植方式、气候温度、人为因素有关, 同时与种植土壤所在的地质背景密切相关. 揭阳市地质构造复杂, 地貌类型丰富, 对于全区来说, 其种植区集中于以侏罗纪上水龙组粉砂岩、侏罗纪二长花岗岩、第四纪岩石为主的复杂土壤. 上文我们基于与荔枝品质相关性显著的营养元素划分了种植适宜区, 并在图 1 中标注了重金属元素的超标区域. 接下来将结合不同地质背景下荔枝品质的综合讨论, 对荔枝种植区进行适宜性评价.

本研究将荔枝果实出汁率、可食率、总酸度(以柠檬酸计)、总糖、糖酸比作为评价荔枝品质的基本参数. 但事实上, 对于荔枝的销售和口感来说, 甜度过高或酸度过高都会影响其综合品质的好坏, 同时出汁率和总酸度对荔枝综合品质的影响程度也不同, 因此将通过权重系数表示某一参数项在综合品质项中的影响程度. 本次综合评价的过程^[13]是: 首先, 对不同地质背景下采取的荔枝样品的各项品质参数进行分开讨论, 确定综合评价指标体系, 以及单项品质在综合品质中的作用大小, 综合评价为各单项品质评价之和. 其次, 由于不同品质参数的数据计量单位有所不同, 因此进行无量纲化处理; 鉴于目前为止, 无量纲化处理方法的多种多样, 而均值化处理方法与合理排序的相关性较好, 处理结果最可靠, 因此采用无量纲化均值法对原始数据进行处理^[14]. 经过无量纲化均值处理后的原始数据, 可以反映出不同的原始数据中的每个指标的变异程度, 同时, 它还包含了指标间相互影响程度的差异, 可以更准确地获得荔枝质量的综合评价^[15]. 然后确定指标体系中各项评价指标的权重系数. 采用序关系分析法, 可以方便、快速地得到各指标较准确的权重系数^[16], 最终的顺序关系和处理后的权重系数如表 4 所示. 同时通过结合专家老师的意见, 将可食率作为荔枝生长发育过程中最重要的品质, 其所占权重系数为 0.259 2; 糖酸比和出汁率在综合品质评价中的影响相同, 权重系数定为 0.216 1; 总糖的影响指数大于总酸度, 其权重系数分别为 0.180 0 和 0.128 6. 确定单项品质参数的权重之后, 计算并汇总各荔枝样品的综合评价指数.

表 4 荔枝品质权重表

	可食率	糖酸比	出汁率	总糖	总酸度
权重系数	0.259 2	0.216 1	0.216 1	0.180 0	0.128 6
序关系式	可食率>糖酸比=出汁率>总糖>总酸				

将处理好的数据作为综合评价的单项品质基础数据, 同时根据上述权重系数进行相乘计算得到每个采样点的权重得分指数, 并与采样点所处的地质背景结合(表 5). 由表中数据可知, 粉砂岩区的变异系数最

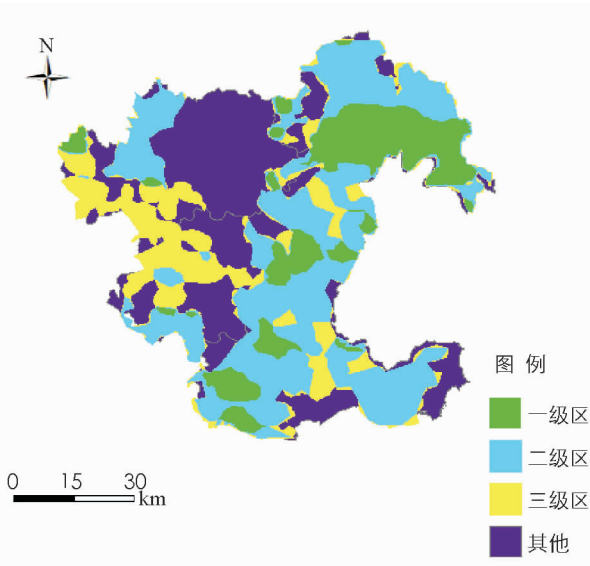


图 3 荔枝种植元素质量分数适宜区

小, 仅为 2.68, 但其品质得分均值最低; 而第四纪岩石的得分均值最高, 达到了 1.036, 且变异系数处于合理范围之内. 因此, 第四纪土壤中所种植的荔枝品质的综合评价最好, 这与上文从营养元素角度得到的结论相一致.

表 5 揭阳市地质背景荔枝品质的权重

地质背景 权重得分	上水龙组粉砂岩	二长花岗岩	第四纪
均 值	0.970 506 048	0.997 082 556	1.036 248 07
最小值	0.927 927 706	0.880 750 732	0.939 889 217
最大值	0.991 085 817	1.105 250 927	1.286 555 524
变异系数	2.680 154 641	6.358 420 719	3.940 022 017

3.4 综合分析

荔枝的综合评价要考虑多个因素, 不仅是营养元素含量与吸收能力的关系、毒重元素是否超标, 同时也要与实际地质背景相结合综合讨论. 本研究之前对这 3 种影响因素都做了探讨, 认为从地质背景角度来分析荔枝的适宜区适宜程度由大到小依次为第四纪、花岗岩、砂岩、其他, 从营养元素角度也划分为一、二、三级区和不适宜区(含污染区域). 现在将 3 个因素综合讨论, 并根据表 6 的组合方法判断和划分种植的最优、优、良、差区, 剔除重金属超标区域, 同时在地质图上进行作图得出揭阳市荔枝的综合种植适宜区划分图 4.

表 6 荔枝种植适宜区划分方案

	第四纪	花岗岩	粉砂岩	其他岩性
I	最优	优	优	差
II	优	优	良	差
III	优	良	良	差
不适宜区(含污染区)	差	差	差	差

从图 4 中可以看出, 荔枝的最优种植区主要位于揭阳市的东北方向, 优种植区分布范围广泛, 但整体呈现自东北向西南带状分布. 综上所述, 当从多个角度综合讨论荔枝的种植适宜情况时, 结果有差异但整体情况变化不大, 并可将图中优、最优区域判定为最适合荔枝种植的地区.

4 讨 论

与作物生长发育相关的土壤包括根系土壤和周边空白土壤(包括表层土), 且根系土具有重要的研究意义, 植物从根系土和空白土吸收的元素差异有统计学意义. 但本次实验所采集的全部土壤并没有严格的区分是来自根系土壤或空白土壤. 空白土壤在分析影响荔枝种植品质的因素上也很重要, 土壤与植物元素有明显的关系, 也显著性影响荔枝的品质. 鉴于本次研究区为揭阳市, 要着眼于地质背景和区域调查, 不可能仅局限于根际土的影响, 因此在最终根据地球化学调查结果划分荔枝种植适宜区时, 没有细分根际土和表层土, 但足以说明土壤与荔枝种植及品质之间的关系^[17-18].

虽然本次研究获得了一定的成果, 但仍要承认将统计学方法应用于本次工作存在缺陷, 由于地球化学

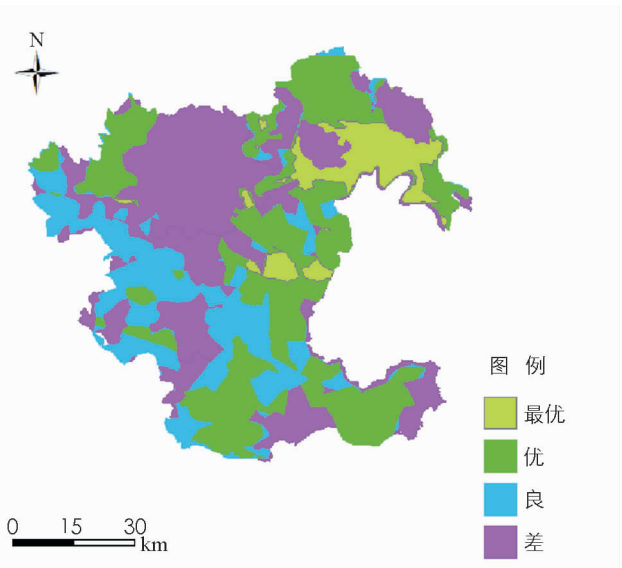


图 4 揭阳市荔枝综合种植适宜区

场是非均质性的, 元素有着各自的富集规律^[19], 最好的分析方法应做到点对点、一对一的评价。但多元统计法得出的信息具有不错的准确性、科学性和客观性, 有利于对元素在时空上分布及运动规律进行加工, 同时利于后期的分析推测、制图等^[20]。本研究的目的是为了在整个揭阳市规划最优种植区, 在工作布置的时候, 就考虑了样品的代表性和元素的均质性, 依据经济可行性, 综合地质背景、土地利用和国家标准, 确定了最优的采样单元格, 故虽然统计分析不是最好的方法, 但是对于区域研究和种植区的划分, 还是有一定实际意义的。通过研究发现:

(1) 揭阳市是我国重要的荔枝产区, 其整体区域的污染情况良好, 污染土壤的面积较小。部分污染源主要来自与地质背景、工农业发展以及地质矿产等因素。因此在选择种植区的时候需考虑远离污染源的土壤。

(2) 影响荔枝品质的因素有多种, 其中元素 Ca, Fe, Se, P, Mo 对荔枝品质的影响最大, 对荔枝的糖酸比、出汁率、总糖、总酸度的相关性有统计学意义。通过吸收曲线确定元素的适宜范围, 划分适宜种植的一、二、三级区, 揭阳市的东部土壤中元素对荔枝品质的影响最大, 较适宜种植。

(3) 不同地质背景下的土壤对荔枝生长发育的影响也不同, 揭阳市土壤地质背景比较复杂, 但从土壤的大致划分来看, 位于东部的第四系土壤种植的荔枝权重分数最好, 其次是花岗岩, 最后是粉砂岩, 相较于花岗岩和粉砂岩土壤, 荔枝更宜种植在第四系的土壤。

(4) 虽然从营养元素和地质背景的角度得到适宜区存在一定的差异, 但大体范围一致, 位于东部的第四系土壤和营养元素一级区为荔枝种植的最优区, 是果农进行种植的首要选择。

参考文献:

[1] 陈厚彬. 中国荔枝现状和发展分析 [J]. 世界热带农业信息, 2008(6): 3-6.

[2] 周晓超, 苏 阳, 高 丹, 等. 叶面钙和镁营养对妃子笑荔枝果实主要内外品质发育的影响 [J]. 中国南方果树, 2015, 44(3): 64-69.

[3] 周开兵, 苏 举, 徐远锋. 磷、钾和钙元素对三月红荔枝果皮着色的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2007(6): 54-57.

[4] 杨苞梅, 李国良, 杨少海, 等. 不同钾氮配比对荔枝果实矿质元素含量及其耐贮性的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2015, 21(5): 1294-1303.

[5] 赵 艺, 朱 鑫, 刘子宁, 等. 珠三角经济区荔枝品质与地质地球化学因素的关系初步研究 [J]. 地球科学进展, 2012, 27(S1): 528-532.

[6] 严己宽, 玉强忠. 地球化学勘查固体样品采集的野外质量评价指标 [J]. 物探与化探, 2018, 42(6): 1112-1115.

[7] EGGEN O A, REIMANN C, FLEM B. Reliability of Geochemical Analyses: Deja Vu All Over Again [J]. Science of the Total Environment, 2019, 670: 138-148.

[8] 向仲香, 邝海健, 吴艳宏, 等. 成都市近郊蔬菜地土壤 Cd, Cu, Ni, Pb, Zn 的污染评价 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2017, 42(9): 151-158.

[9] 王志刚, 林 海, 庞乾林. 农田重金属污染对作物的影响及其调控 [J]. 中国稻米, 2018, 24(3): 39-43.

[10] 陈 恩, 贾 磊, 朱 鑫. 影响从化荔枝生长及果实品质的地球化学特征 [J]. 华南地质与矿产, 2012, 28(3): 259-264.

[11] 曾群望, 杨双兰, 高宏光. 云南生物地质环境研究 [J]. 云南地质, 2002, 21(3): 332.

[12] 罗 杰, 温汉辉, 王佳媛, 等. 水稻对土壤营养元素吸收系数及吸收限的研究 [J]. 地球与环境, 2011, 39(3): 324-330.

[13] 张绿水, 陈 荻. 基于模糊综合评价法的城市绿地生态技术应用价值评价研究 [J]. 中国园林, 2015, 31(10): 100-103.

[14] 樊红艳, 刘学录. 基于综合评价法的各种无量纲化方法的比较和优选——以兰州市永登县的土地开发为例 [J]. 湖南农业科学, 2010(17): 163-166.

[15] 江文奇. 无量纲化方法对属性权重影响的敏感性和方案保序性 [J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(12): 2520-2523.

[16] 王学军, 郭亚军, 兰 天. 构造一致性判断矩阵的序关系分析法 [J]. 东北大学学报(自然科学版), 2006, 27(1): 115-118.

[17] MOREIRA H, PEREIRA S I A, MARQUES A P G C, et al. Effects of Soil Sterilization and Metal Spiking in Plant Growth Promoting Rhizobacteria Selection for Phytotechnology Purposes [J]. Geoderma, 2019, 334: 72-81.

[18] 张红霞, 魏方方, 王家顺, 等. 安顺山药根茎与土壤中矿质元素相关性分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(5): 31-36.

[19] 任天祥, 汪明启. 中国浅表地球化学场基本特征 [J]. 矿床地质, 2004, 23(S1): 41-53.

[20] ADHIKARI K, MAL U. Application of Multivariate Statistics in the Analysis of Groundwater Geochemistry in and around the Open Cast Coal Mines of Barjora Block, Bankura District, West Bengal, India [J]. Environmental Earth Sciences, 2019, 78(3): 72.

Analysis of Planting Suitability of Litchi in Jieyang, Guangdong Province, Based on Soil Geochemical Characteristics

YANG Jiang-tao, ZHAO Hong-jing,
YANG Xiao-yong, XIE Zhu-xi, LUO Jie

College of Resources and Environment, Yangtze University, Wuhan 430000, China

Abstract: Huilai County, Jieyang City, Guangdong Province, known as the “hometown of litchi in China”, has played an active role in driving the demonstration in recent years. This paper is to evaluate the suitability of litchi cultivation in Jieyang City, and soil samples and related litchi samples were collected from the main planting areas. In the experimental methods of geochemistry, this paper firstly discusses the effects of soil heavy metal on the litchi in Jieyang City and the distribution of these heavy metals on the geological map, the whole region where the heavy metals in excess of the standard is small, there are three small areas from north to south exceeding the standard, due to the factors of the geological background, industry and agriculture, geology and minerals, etc. Secondly, analyzing the correlation between the main elements of the soil and the quality of litchi and the absorption coefficient, the characteristic elements of litchi were determined as Ca, Fe, Se, P, Mo and their distribution was discussed. According to the geological background map, the soil of quaternary system is more suitable for the cultivation of litchi. Finally, analyzing the whole soil geological setting. According to the above three factors, constructing the comprehensive adaptability model of litchi cultivation, and the weight calculation method was used to obtain that the most suitable area for litchi cultivation is in the eastern part of Jieyang City.

Key words: litchi; quality; geochemical analysis; characteristics of the elements; heavy metal elements; suitability evaluation

责任编辑 包 颖