

doi: 10.11720/wtyht.2021.1475

赵辰,孙彬彬,周国华,等.福建龙海杨梅生态地质适生模型研究与应用[J].物探与化探,2021,45(5):1121-1129. http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1475

Zhao C, Sun B B, Zhou G H, et al. The study and application of eco-geological adaptability model for Myricarubra in Longhai, Fujian Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(5): 1121-1129. http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1475

福建龙海杨梅生态地质适生模型研究与应用

赵辰^{1,2,3,4}, 孙彬彬^{1,2,3}, 周国华^{1,2,3}, 贺灵^{1,2,3}, 曾道明^{1,2,3}

(1. 自然资源部地球化学勘查技术重点实验室, 河北廊坊 065000; 2. 联合国教科文组织全球尺度地球化学国际研究中心, 河北廊坊 065000; 3. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北廊坊 065000; 4. 桂林理工大学地球科学学院, 广西桂林 541004)

摘要: 名特优农产品的高品高产往往与产地特定的生态地质环境、地球化学条件有关。以龙海市浮宫杨梅优质产区为主要研究对象, 通过实地调查与调研, 建立了龙海市优质杨梅产区的生态地质、地球化学适生模型。研究表明: 龙海市优质杨梅产区成土母岩为花岗岩类岩石, 风化形成的土壤中 Mn、P、S、Zn、Al₂O₃、Na₂O、K₂O 等指标含量及 Mn、P、S 等有效量较高, As、Cd、Cr、Hg 等重金属元素含量低; 地形地貌为低海拔、低坡度的丘陵山区; 土壤类型为红壤、黄壤。根据建立的模型, 以龙海市 1:5 万土地质量地球化学调查成果、1:5 万地质图、地形地貌图及土壤类型图等资料为基础, 对龙海市杨梅适宜种植区进行了划定, 圈出龙海市杨梅最适种植区 330.51 km² 和适宜种植区 70.62 km², 是现有杨梅种植面积的 5 倍左右, 为龙海市杨梅种植规划提供了地质地球化学依据。

关键词: 福建龙海; 杨梅; 生态地质; 适生模型; 成土母质; 重金属; 种植规划

中图分类号: S667.6

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2021)05-1121-09

0 引言

杨梅果树适应性强, 耐寒耐旱, 树性强健, 有很强的固氮能力和生态功能, 是一种非常适合山地退耕还林、保持生态的理想树种^[1]。龙海市是福建省著名的杨梅之乡, 龙海浮宫杨梅酸甜适度, 果实肉柱钝圆, 柔软多汁, 风味极佳^[2]。龙海市现有杨梅种植面积接近 10 万亩, 产值超 10 亿元, 面积、产量及产值均居福建省首位。已有研究表明, 名特优农产品的高品高产除了与品种、气候、管理技术等因素有关外, 往往还与产地特定的生态地质环境、成土母岩的岩性以及土壤地球化学特征等具有相关性^[3-5]。已有研究者开展了成土母岩、土壤类型、土壤地球化学特征对水稻、板栗和红枣品质的影响研究^[6-8]。也有调查表明, 土壤类型、土壤肥力、气候条件和地形地貌等因素对杨梅的生长和果实的品质起着至关

重要的作用^[9-12]。但目前针对龙海市的杨梅种植适生研究主要围绕气候条件等方面^[2], 生态地质、成土母岩、土壤地球化学特征等方面的研究相对较少。笔者通过系统采集福建龙海浮宫杨梅主要产区及对照区的岩石、土壤和杨梅果实样品, 测定营养及重金属等元素含量, 结合文献及实地调研资料建立了浮宫杨梅产区的生态地质适生模型, 并在此基础上应用龙海市相关地质、地球化学等调查成果, 对全市杨梅适宜种植区进行了划定。

1 研究区概况

龙海市地处福建省东南部, 漳州市东部, 位于九龙江出海口, 地理位置北纬 24°11'~24°36', 东经 117°29'~118°14', 属南亚热带季风气候, 降水充沛, 夏少酷暑, 冬少严寒, 自然景观四季常绿。龙海市地处闽东火山断拗带南段, 以中、酸性火山岩和晚中生

收稿日期: 2020-09-30; 修回日期: 2020-11-16

基金项目: 自然资源部公益性行业科研专项(201411091-2)

第一作者: 赵辰(1995-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 勘查地球化学。Email: 619138825@qq.com

通讯作者: 孙彬彬(1982-), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向: 应用地球化学。Email: sunbinbin@igge.cn

代陆相中酸性火山岩及燕山期花岗岩类大面积分布为特色,地层主要为上侏罗统南园组、新近系佛昙组等火山岩地层和更新统龙海组、全新统长乐组等沉积地层。侵入岩分布广泛,尤其在东、西部地区,主要岩性为酸性、偏酸性、中酸性,含少量基性岩,时代主要为晚侏罗世和早白垩世。区内地质构造以断裂为主,断裂构造控制了侵入岩、火山岩的分布,也控制了现代地貌的分布。受区域性构造带控制,发育一系列 NE 向、NW 向脆性断层及韧性剪切带,致使部分晚侏罗世侵入岩发育片麻状构造。土壤类型复杂多样,以水稻土和红壤为主。土地利用类型齐全,其中,农耕地包括水田、旱地、水浇地,园地主要为果园,林地主要为有林地和灌木林地。作为福建省重要的农业种植区,该区以种植水稻为主,荔枝、龙眼、柑桔、杨梅等水果名扬省内外。

2 样品采集与分析

浮宫镇及周围村镇是龙海市的优质杨梅产地,产出的果实口感好、风味佳;相比浮宫镇,东泗乡等地杨梅种植规模较小,杨梅长势及品质略差。因此本次研究将浮宫镇作为杨梅优质产区,东泗乡作为对照区,分别采集了杨梅果实及对应的根系土壤样品和土壤采样点及其附近出露的成土母岩样品。采集样品时详细记录地质背景、土壤成因、海拔、坡度、坡向、土壤类型、土壤质地等与杨梅生长可能相关的各类生态地质信息。共采集杨梅果实一根系土样品

35 套,以及新鲜的成土母岩样品 35 件,采样点位分布见图 1。

岩石样品尽量采集新鲜岩石面,破碎成 0.5 cm 的岩块,混匀后送至实验室测定各种化学元素含量;土壤样品自然风干,用橡胶锤充分破碎假粒级,过 10 目筛 (<2 mm) 混匀后送实验室;杨梅样品使用去离子水冲洗后沥干水分,去核后用均浆机打碎,装入水样瓶,冷冻保存送实验室测定元素含量。

土壤及岩石样品分析测试由河南省岩石矿物测试中心完成,杨梅样品测试工作由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所中心实验室完成。岩石样品、土壤样品及杨梅样品分别分析 As、B、Cd、Cr、Cu 等 23 种无机元素含量,土壤样品除无机元素含量外还测定土壤 pH 以及 B、Cu、P、Mn、Mo、S、Zn 等元素有效态含量。样品分析时插入国家一级标准物质监控分析准确度和精密度,以重复样和重复分析检验评价分析误差。经检验,分析质量满足《地质矿产实验室测试质量管理规范》与中国地质调查局颁布的《生态地球化学评价样品分析技术要求》(DD2005-03) 中的分析质量要求。

3 龙海杨梅生态地质适宜性分析

与名特优农产品品质相关的生态地质、地球化学要素主要包括地质背景、土壤地球化学特征、地形地貌、土壤类型、气候等,本文主要从上述 5 个方面对龙海市杨梅生态地质适宜性进行分析。

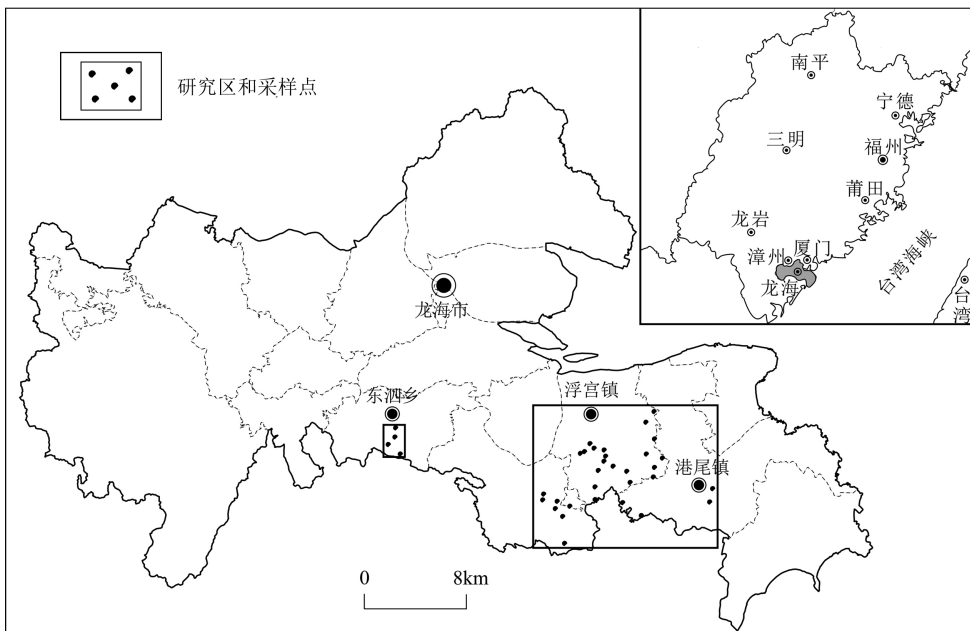


图 1 龙海杨梅产地地理位置及采样点分布

Fig. 1 Geographical location and distribution of sampling points in Myricarubra production area, Longhai

3.1 地质背景

已有研究表明,成土母岩是影响名特优农产品生长和品质的关键因素,成土母岩在很大程度上决定土壤的类型和土壤理化性质,进而影响农产品对矿质元素的吸收^[13]。如汪庆华等在研究浙江省特色农产品立地地质背景时发现,浙江省沿海杨梅种植园地的成土母岩岩性主要是酸性火成岩,岩石的矿物成分以石英和钾长石为主,风化后常带砂性^[14]。

实地调研发现,杨梅的优质产区主要出露岩性为早白垩世中酸性侵入岩,岩性主要为二长花岗岩、花岗闪长岩、钾长花岗岩和碱长花岗岩。这类岩石易风化,成壤条件较好,多风化形成酸性—微酸性砂壤土,土壤疏松、多石砾、通透性好,有利于杨梅树生长。对照区主要为上侏罗统南园组地层,为一套巨厚的中、酸性火山岩系地层,主要由流纹质(含角砾)晶(岩)屑凝灰岩、(含角砾)晶屑熔结凝灰岩及凝灰质(砂)泥岩等组成,该类岩石相较花岗岩类岩石更不易风化,成壤后多形成黏土。实际调研发现,对照区杨梅的果树长势、口感、产量以及种植规模等均差于优质产区。经统计对比发现,受成土母岩类型影响,优质产区岩石中 Cu、Mn、REE、Zn、CaO、Na₂O 等指标含量明显高于对照区,而重金属元素 As、Cr、Hg、Ni、Pb 含量低于对照区(表 1)。

3.2 土壤地球化学特征

土壤中矿质元素控制养分的释放和供应以及通过影响土壤物理性质来影响土壤肥力和作物生

长^[15]。矿质元素是所有农作物产量和品质的基础,适宜的元素浓度和各养分间的平衡对果实品质的形成有着重要的影响^[16]。一些研究表明,杨梅根系具有固氮根瘤,自身能固氮,因此对 N 的需求不大,P、K、B、Mn、S、Zn 等含量及它们之间的相互作用决定了果实的综合品质^[17-22]。其中,P 充足时能加速细胞的分裂与繁殖,促进作物的生长发育;K 能改善杨梅的果实品质,增强果实的抗病能力,提高耐贮性,增加其商品价值;B 能促进杨梅植株固氮,提高土壤含氮量,增加植株生长量、株高、根瘤结瘤量和固氮酶活性;Mn 能在一定程度上提高杨梅枝梢、叶片的生长;S 能增加杨梅植枝的生物量、株高、根瘤量和固氮酶活性;Zn 能促进杨梅叶绿素合成,缺锌会导致杨梅树叶片黄化或花斑。

将龙海市优质杨梅产区与对照区土壤 pH 值及元素含量均值进行了对比(表 2)。由表可见,两地土壤 pH 值相近,均属酸性土壤(4.5 < pH < 5.5)。但不同的成土母岩导致土壤元素组成特征有较大差异,优质杨梅产区有益、营养元素 Mn、P、S、Zn、Al₂O₃、Na₂O、K₂O 等含量高于对照区,B、Mo、Se、SiO₂、TFe₂O₃ 等含量低于对照区;对照区重金属元素 As、Cd、Cr、Hg 等含量明显高于优质杨梅产区。

表层土壤中元素以各种形态存在,一般能够直接被植物吸收利用的部分称为元素有效量,通常情况,有效量与作物生长的关系更为直接。优质杨梅产区土壤中除 B、Se 有效量略低于对照区外,其他

表 1 龙海杨梅产地成土母岩元素含量均值

Table 1 Statistics of mean value of rock element contents in Myricarubra producing area, Longhai

指标	优质产区(N=31)				对照区(N=4)	
	二长花岗岩 (N=13)	花岗闪长岩 (N=13)	钾长花岗岩 (N=2)	碱长花岗岩 (N=3)	凝灰岩 (N=2)	砂岩 (N=2)
As	0.99	1.05	0.85	0.73	138.00	35.5
B	3.86	3.85	3.70	5.63	8.33	7.56
Cd	0.03	0.04	0.01	0.03	0.02	0.02
Cr	2.53	3.06	4.15	4.17	2.70	3.65
Cu	6.75	6.06	2.53	5.40	4.01	5.52
Hg	15.0	13.3	14.3	15.0	16.3	19.3
Mn	330	400	366	343	184	252
Mo	0.81	0.55	3.30	0.62	1.76	0.63
Ni	4.93	5.37	4.64	4.76	6.09	6.12
P	78.2	107	87.5	133	93.0	167
Pb	25.7	27.4	23.1	16.8	48.0	35.3
REE	246	199	200	146	153	324
S	90.2	91.9	53.0	72.0	76.5	137
Se	0.07	0.06	0.03	0.06	0.22	0.15
Zn	30.5	37.4	24.2	42.6	23.5	44.1
CaO	0.99	1.10	0.92	1.03	0.29	0.40
Na ₂ O	2.71	2.53	3.01	1.82	0.22	0.68

注:CaO、Na₂O 含量单位为 10⁻²,Cd、Hg 为 10⁻⁹,其他元素为 10⁻⁶;N 为样品数。

表 2 龙海杨梅产地土壤元素全量、有效量及有效度

Table 2 Total contents, available contents and available degree of soil element in Myricarubray producing area, Longhai

指标	优质杨梅产区(浮宫镇)(N=31)			对照区(东泗乡)(N=4)		
	全量	有效量	有效度	全量	有效量	有效度
As	1.89			34.0		
B	8.48	0.57	6.97	12.8	0.64	5.93
Cd	21.6			38.5		
Cr	10.6			18.8		
Cu	6.99	0.92	17.9	4.90	0.72	14.51
Hg	37.5			51.7		
Mn	338	40.8	11.9	212	9.79	4.38
Mo	1.40	0.11	8.32	2.49	0.08	3.92
Ni	7.43			7.85		
P	366	29.1	9.38	274	6.45	6.34
Pb	37.4			27.9		
REE	185			128		
S	195	45.3	22.1	183	30.7	17.9
Se	0.37	0.01	3.91	0.62	0.02	3.45
Zn	41.8			37.4		
SiO ₂	59.3			70.4		
Al ₂ O ₃	21.0			15.8		
TFe ₂ O ₃	2.81			3.42		
CaO	0.22			0.17		
MgO	0.22			0.19		
Na ₂ O	0.57			0.36		
K ₂ O	4.06	0.14	3.33	1.93	0.13	6.84
pH	4.59			4.55		

注:SiO₂、Al₂O₃、TFe₂O₃、CaO、MgO、Na₂O、K₂O 含量单位为 10⁻², Cd、Hg 为 10⁻⁹, pH 无量纲, 其他元素及有效量含量单位为 10⁻⁶; 有效度为%。

元素含量均高于对照区, 其中 Mn、P、S 的有效量显著高于对照区。用土壤元素有效量与全量的比值计算营养元素有效度可以反映土壤元素活性及其可被植物吸收利用的程度^[23]。由表可见, 除 K 等个别元素外, 优质杨梅产区土壤中营养元素有效度均明显高于对照区土壤。

使用《绿色食品产地土壤环境质量标准》(NY/T 391—2000)对两地土壤环境质量进行评价, 结果表明, 两地均符合绿色食品产地要求。使用《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2012)对采集的杨梅果实中重金属含量进行评价, 结果表明, 两地杨梅中重金属元素含量均远低于标准限值, 食用安全。但从整体上看, 对照区土壤及杨梅中重金属元素含量明显高于优质杨梅产区。

Se 作为人体中必需的微量元素, 主要从食物中获取^[24-26], 作物对土壤中 Se 的吸收主要受土壤中 Se 全量、有效量及土壤理化性质等因素影响。使用《富硒食品硒含量分类标准》(DB 36-T566—2017)及《富有机硒食品硒含量要求》(DBS 42/002—2014)对所采集杨梅样品富硒情况进行评价, 结果表明, 杨梅样品中 Se 含量范围为(0.003~0.055)×10⁻⁶, 平均值 0.019×10⁻⁶, 超过了富硒水果标准 0.01

×10⁻⁶。在 35 件杨梅样品中共有 26 件达到富 Se 标准, 富 Se 率高达 74.3%, 其中, 优质产区杨梅富硒率 77.42%, 对照区 50%。可见, 虽然优质杨梅产区土壤中 Se 全量与有效量略低于对照区, 但优质杨梅产区采集的杨梅样品可能受土壤理化性质影响, 导致富硒率高于对照区。

综上所述, 土壤地球化学特征是影响龙海市优质杨梅产出的重要因素。优质杨梅产区土壤呈酸性, 富含 Mn、P、S、Zn、K₂O、Se 等营养及重要生命元素, Mn、P、S 等有效量较高, As、Cd、Cr、Hg 等重金属元素含量较低。

3.3 地形地貌

已有研究表明坡向、海拔和坡度对杨梅的长势和品质有明显的影 响。牛海林等对余姚杨梅进行精细化农业气候区划时发现, 北坡杨梅果实柔软多汁、风味佳, 而南坡日照强烈, 导致肉柱尖而硬、汁少而味较差^[27]。姜向勇等总结杨梅种植技术时提出杨梅种植的适宜海拔应在 500 m 以下, 坡度最好在 30°以下^[11]。海拔较低的低山、丘陵区热量充足, 雨量充沛, 低坡度山坡便于管理, 防止水土流失, 可以很好地避免较强的太阳辐射, 符合杨梅喜阴耐湿, 怕高温的特性。

龙海市土壤的形成在一定程度上受到成土母岩的影响。从第二次土壤普查资料了解到,福建龙海市地处九龙江下游冲积平原,中部为平原,东南部临海,北西南三面环山,地势中间低缓,南北较高。地貌类型主要为侵蚀剥蚀地貌,有中低山、高低丘陵等,其次为平原,有海、冲积平原等。龙海市东西部山地和丘陵地区是龙海市重要的经济作物产区,海拔 500 m 以上的高山山峰有 40 余座,其中区内最高峰是海拔 953.6 m 的大尖山,位于程溪镇。龙海市的山地和丘陵区整体的海拔和坡度适宜杨梅的种植。

将 35 个采样点的坡向、高程和坡度进行了统计,结果见表 3。由表可见,龙海杨梅在不同坡向均有种植,海拔小于 250 m,坡度小于 35°。通过实地调研、走访以及对杨梅果树和果实长势以及外观的观察,暂未发现杨梅品质较明显受控于坡向情况,并且不同坡向条件下所种植的杨梅果实中各元素含量未见明显差异(表 4)。由此可见,就龙海地区而言,优质杨梅主要分布在海拔 0~250 m,坡度<35°的丘陵山区,且未呈现出明显的受坡向影响的特征。

3.4 土壤类型

根系是果树的重要器官之一,植物生长发育所需大部分营养物质主要依靠根系吸收。杨梅的根系

特征是主根不明显,侧根与须根发达,细根多分布在 50 cm 土层范围内,30 cm 内根系占总根量的 60%,根系水平分布大于树冠^[28]。由于其根系与好气性根菌(如放线菌)共生,适合种植在疏松、排水性良好、富含石砾的砂性黄壤和红壤区^[29]。在土壤质地为砂土和砂黏土的土壤中种植的杨梅果实含糖量增加,含酸量降低,品质提高^[30]。

龙海市红壤和黄壤的分布区主要是成土母岩为花岗岩类岩石的丘陵山区。实地调研发现,龙海市优质杨梅产区与对照区的土壤类型均为赤红、红、黄壤土,是杨梅种植的最适土壤类型。

3.5 气候条件

前人研究表明,杨梅果树喜温暖气候,好湿耐荫。温度和降水是决定杨梅地理分布的主要因子,也是影响杨梅产量和质量的主要气象因子^[31]。龙海市属南亚热带季风气候,温暖湿润为气候的显著特色,日照时间、年均温度和降雨量均满足杨梅树生长的需求。但龙海市地理跨度相对较小,东西跨度约 75 km,南北跨度仅 46 km,海拔差异也不大,区内各地气候环境没有较大差异。因此,就龙海市范围内而言,气候条件对杨梅种植未显示出明显的差异性影响。

表 3 不同坡向、高程和坡度条件下杨梅分布比例(N=35)

Table 3 Myricarubra distribution ratio under different aspect, elevation and slope conditions (N=35)

不同坡向		不同海拔		不同坡度	
坡向	比例/%	海拔/m	比例/%	坡度/(°)	比例/%
北	26	0~50	17	<5	26
东	15	51~100	17	10	23
南	35	101~150	26	15	09
西	24	151~200	23	20	17
		201~250	17	25	17
				30	6
				35	3

注:坡向信息中东、南、西、北分别代表 45°~135°、135°~225°、225°~315°、315°~45°。

表 4 不同坡向条件下杨梅果实中元素含量均值统计

Table 4 Statistics of the mean value of element contents in Myricarubra fruits under different slope conditions

元素	北	南	东	西	元素	北	南	东	西
As	0.003	0.003	0.003	0.003	Mn	5.54	4.74	6.77	6.13
B	0.88	0.98	0.93	0.98	Mo	0.02	0.02	0.02	0.02
Ca	0.004	0.004	0.004	0.004	Ni	0.11	0.09	0.09	0.12
Cd	1.87	1.55	1.56	1.47	P	0.007	0.006	0.006	0.006
Cr	0.06	0.06	0.06	0.06	Pb	0.02	0.01	0.01	0.02
Cu	0.28	0.22	0.26	0.35	REE	5.30	7.70	6.50	5.85
Fe	3.66	3.82	3.71	3.43	S	0.01	0.01	0.01	0.01
Hg	0.46	0.48	0.45	0.45	Se	0.02	0.01	0.02	0.03
K	0.14	0.13	0.12	0.12	Si	0.002	0.002	0.002	0.002
Mg	0.005	0.005	0.005	0.005	Zn	0.80	1.07	0.85	0.76

注:Cd、Hg 含量单位为 10⁻⁹,其他元素为 10⁻⁶。

4 龙海杨梅生态地质适生模型建立

通过对龙海杨梅生态地质适宜性分析,总结建立了生态地质适生模型(表 5),将各要素按重要程度划分为“很重要”、“重要”及“不重要”3 类。其中“地质背景”和“地球化学元素”要素为很重要,“地形地貌”和“土壤类型”为重要,“气候条件”为不重要。

5 龙海市杨梅种植区划

龙海市全域已完成 1:5 万土地质量地球化学调查工作,共采集 0~20 cm 表层土壤样品 4 394 件,平均调查密度约为 4 点/km²,耕地区调查密度约为 9 点/km²,分析了 N、P、K、B、Mn、S、Zn 等营养元素及 Cd、Hg、Pb、As 等 8 个重金属元素全量,并依据《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)对全域土地质量地球化学等级进行了评价。

种植规划以上文建立的龙海市杨梅生态地质适生模型为基础,地质背景、地球化学元素、地形地貌和土壤类型等因素必须考虑。地质背景因素使用龙

海市 1:5 万地质图,划出花岗岩、花岗闪长岩及正长岩等区域;地球化学元素因素使用龙海市 1:5 万土地质量地球化学调查评价结果,按照模型中“最适宜”和“适宜”条件分别划区,其中龙海市 1:5 万土地质量地球化学调查工作未分析土壤中营养元素有效量,划定时主要使用了全量数据评价成果,综合考虑花岗岩区土壤 B 元素全量达“缺乏”级但有效量等级划分为“中等”的事实,划定过程中 B 元素全量缺乏未作为划分“不适宜”区的依据;地形地貌及土壤类型使用相关图件资料,划分出低缓坡山地丘陵区以及红、黄壤区,发现两者区域基本一致。气候条件与坡向因素没有考虑在内。在 GIS 软件中使用空间分析功能将空间内属性数据进行叠加,从而得到该地区的多重属性及空间关系,最终对龙海市杨梅适宜种植区进行划分(图 2)。

划定的杨梅适宜种植区面积 330.51 km²(49.57 万亩),含“最适种植区”259.89 km²(38.98 万亩)及“适宜种植区”70.62 km²(10.59 万亩)。主要分布在龙海市东南部的浮宫镇、港尾镇和白水镇以及西部的程溪镇,在龙海市中部的东泗乡以及北部的角美镇也有零星分布。本次划定面积约为龙海市现有杨梅种植面积的 5 倍。

表 5 龙海市杨梅生态地质适生模型

Table 5 Eco-geological suitable model for Longhai Myricarubra

内容	模型要素概述	重要程度
地质背景	花岗岩、花岗闪长岩及正长岩等	很重要
地球化学元素	① 土壤环境质量良好,无重金属污染($w(\text{As}) \leq 40 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Cd}) \leq 0.3 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Cr}) \leq 150 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Cu}) \leq 50 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Hg}) \leq 1.3 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Ni}) \leq 60 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Pb}) \leq 70 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Zn}) \leq 200 \times 10^{-6}$); ② 土壤中 K、P 含量丰富($w(\text{K}) > 20 \times 10^{-3}$ 、 $w(\text{P}) > 0.8 \times 10^{-3}$),且 Se 含量适量或丰富($w(\text{Se}) > 0.175 \times 10^{-6}$); ③ B、Mn、S、Zn 等含量或有效量不缺乏($w(\text{Mn}) \leq 375 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{S}) \leq 172 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Zn}) \leq 50 \times 10^{-6}$ 、有效 Mn 含量 $\leq 1 \times 10^{-6}$ 、有效 S 含量 $\leq 16 \times 10^{-6}$ 、有效 Zn 含量 $\leq 0.3 \times 10^{-6}$)。同时拥有全量及有效量数据时,以有效量评价结果为主	很重要
	① 土壤环境质量良好,无重金属污染($w(\text{As}) \leq 40 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Cd}) \leq 0.3 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Cr}) \leq 150 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Cu}) \leq 50 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Hg}) \leq 1.3 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Ni}) \leq 60 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Pb}) \leq 70 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Zn}) \leq 200 \times 10^{-6}$); ② 土壤中 K、P 含量不缺乏($10 \times 10^{-3} < w(\text{K}) \leq 20 \times 10^{-3}$ 、 $0.4 \times 10^{-3} < w(\text{P}) \leq 0.8 \times 10^{-3}$); ③ B、Mn、S、Zn 等含量或有效量不缺乏($w(\text{Mn}) \leq 375 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{S}) \leq 172 \times 10^{-6}$ 、 $w(\text{Zn}) \leq 50 \times 10^{-6}$ 、有效 Mn 含量 $\leq 1 \times 10^{-6}$ 、有效 S 含量 $\leq 16 \times 10^{-6}$ 、有效 Zn 含量 $\leq 0.3 \times 10^{-6}$)。同时拥有全量及有效量数据时,以有效量评价结果为主	很重要
地形地貌	海拔 < 500 m,坡度 < 35° 的山坡地	重要
土壤类型	红壤、黄壤	重要
气候条件	地理空间范围小,差异小,未考虑	不重要

注:“地球化学元素”要素的适宜性划分以《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》(GB 15618—2018)及《土地质量地球化学评价规范》(DZ/T 0295—2016)中的等级分类标准为划定原则。

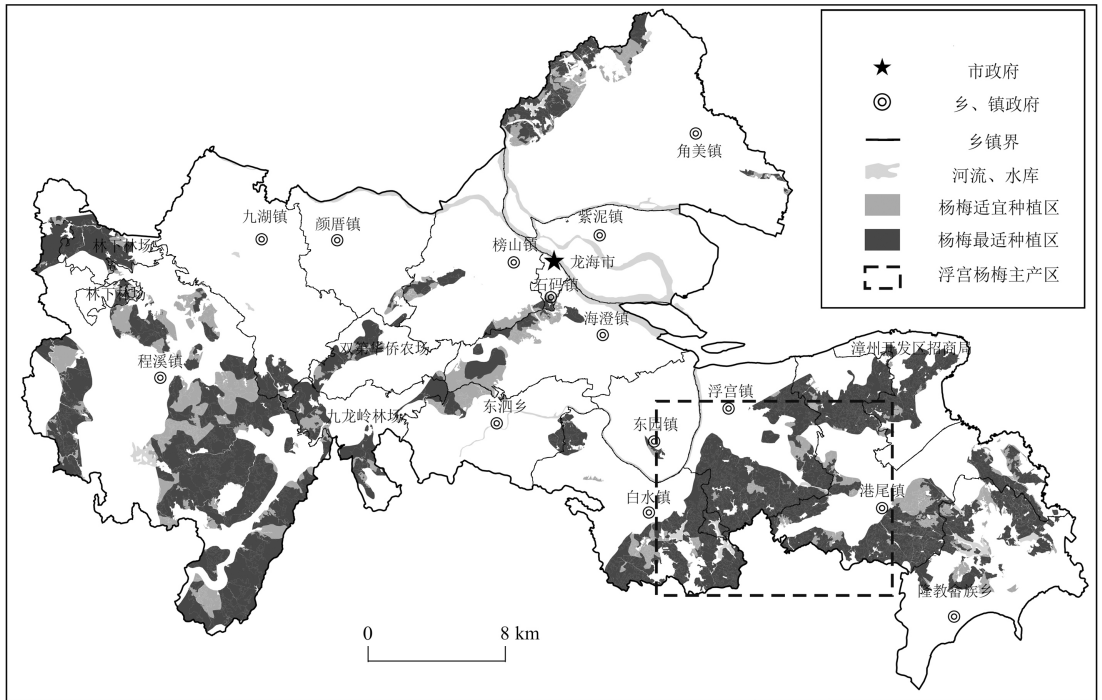


图 2 龙海市杨梅种植规划建议

Fig. 2 Recommended map of *Myricarubra rubra* planting planning in Longhai City

6 结论与建议

地质背景与土壤地球化学元素对龙海市杨梅的高品高产有很重要的影响。龙海市优质杨梅区成土母岩主要为花岗岩类,表层土壤中重金属元素含量低,营养元素 Mn、P、S、Zn、 Al_2O_3 、 Na_2O 、 K_2O 等含量较高;地形地貌与土壤类型对杨梅品质有一定程度的影响,高程小于 500 m 及坡度小于 35° 的低山缓坡地以及土壤类型为红壤和黄壤的地区,更适合龙海市优质杨梅的产出;受龙海市地理跨度相对较小因素影响,气候条件未显示出对杨梅品质的影响特征。

根据建立的生态地质模型,以龙海市地质图,1:5万土地质量地球化学调查等地质、地球化学数据资料为基础对龙海市杨梅适宜种植区进行了区划,划定龙海市杨梅“最适种植区”259.89 km^2 ,“适宜种植区”70.62 km^2 ,是现有种植面积的约 5 倍,可为龙海市杨梅种植规划提供地质、地球化学依据。

值得一提的是,本次龙海市杨梅种植规划主要以生态地质、地球化学条件等因素为主,未考虑种植习惯、市场需求和农产品价格等人为因素。此外,名特优农产品的品质往往与作物品种及田间管理等因素具有密切的关系。在实际种植布局规划时,建议参考本文成果的同时,需充分考虑各种人为及社会

经济因素。

参考文献 (References):

- [1] 康志雄,陈友吾,吕爱华,等.浙江省杨梅种质资源现状及优株选择研究[C]//中国林学会.世纪初世纪初的桉树研究——首届全国林业学术大会桉树分会论文集,2005:385-389.
Kang Z X, Chen Y W, Lyu A H, et al. Study on the germplasm resources of Bayberry and the selection of its best plant [C]// Chinese Society of Forestry. Research on Eucalyptus at the beginning of the century — Proceedings of Eucalyptus Branch of the first National Forestry Academic Conference, 2005, 385-389.
- [2] 兰雅萍,周丽珍,洪玉芸,等.龙海市气候条件对杨梅种植的影响[J].福建热作科技,2013,38(4):65-67.
Lan Y P, Zhou L Z, Hong Y Y. Effects of climatic conditions on bayberry planting in Longhai City [J]. Fujian Science & Technology of Tropical Crops, 2013, 38(4): 65-67.
- [3] 李丹权.农业地质研究在现代农业领域中的开发应用[J].吉林地质,2003,22(3):46-51,61.
Li D N. The development and application of the agricultural geology study in modern agricultural field [J]. Jilin Geology, 2003, 22(3): 46-51, 61.
- [4] 李正积.时代前缘的全息探索—岩土植物大系统研究[J].地质论评,1996,42(4):369-372.
Li Z J. Large-scale system of rock-soil plant [J]. Geological Review, 1996, 42(4): 369-372.
- [5] 刘杨,孙志梅,王小敏.农业地质及其与名特优农产品的相关性研究进展[J].安徽农业科学,2010,38(7):3736-3738, 3747.
Liu Y, Sun Z M, Wang X M. Research development on the agro-

- geology and its correlation with famous, special and high-quality agricultural products[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2010, 38(7): 3736 - 3738, 3747.
- [6] 朱鑫. 广东江门水稻品质与地质地球化学关系研究[J]. *地质学刊*, 2014, 38(2): 302 - 308.
- Zhu X. Study on relationship of geological and geochemical factors with rice quality in Jiangmen of Guangdong[J]. *Journal of Geology*, 2014, 38(2): 302 - 308.
- [7] 李随民, 栾文楼, 宋泽峰, 等. 京东板栗生态地球化学环境比配模型与适应性区划[J]. *中国地质*, 2011, 38(6): 1614 - 1619.
- Li S M, Luan W L, Song Z F, et al. Ecogeochemical dosing model and adaptability regionalization of Jingdong chestnut[J]. *Geology in China*, 2011, 38(6): 1614 - 1619.
- [8] 栾文楼, 杨剑平, 高永丰, 等. 影响大枣品质的岩土元素地球化学特征——以石家庄市变质岩山区为例[J]. *山地学报*, 2004, 22(5): 613 - 618.
- Luan W L, Yang J P, Gao Y F, et al. Geochemical characteristic of elements in rocks and soil influencing the Chinese dates quality [J]. *Journal of Mountain Science*, 2004, 22(5): 613 - 618.
- [9] 缪松林. 不同土壤质地对杨梅生长和结果的影响[J]. *中国果树*, 1987(4): 7 - 10.
- Miu S L. Effects of different soil texture on the growth and results of Bayberry[J]. *China Fruits*, 1987(4): 7 - 10.
- [10] 张跃建. 东魁杨梅对主要矿质养分的年吸收量[J]. *浙江农业学报*, 1999, 11(4): 3 - 5.
- Zhang Y J. The analysis on mineral nutrient absorption of Chinese bayberry (*Myrica rubra*) Dongkui in whole year[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 1999, 11(4): 3 - 5.
- [11] 姜向勇, 冯海军, 方敦洋. 浅谈杨梅种植三注意[J]. *江西园艺*, 2001(6): 21 - 22.
- Jiang X Y, Feng H J, Fang D Y. Discussion on bayberry planting three attention [J]. *Jiangxi Horticulture*, 2001(6): 21 - 22.
- [12] 陶云彬, 毕素娟, 章庆辉, 等. 杨梅喷施微量元素肥料的效果[J]. *浙江农业科学*, 2007(6): 646 - 647.
- Tao Y B, Bi S J, Zhang Q H, et al. Effect of microelement fertilizer sprayed on bayberry [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2007(6): 646 - 647.
- [13] 高琳, 龙怀玉, 刘鸣达, 等. 农业地质背景与特色农作物品质相关性研究进展[J]. *土壤通报*, 2011, 42(5): 1263 - 1267.
- Gao L, Long H Y, Liu M D, et al. Review on the relationship between agro-geological background and crop quality [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(5): 1263 - 1267.
- [14] 汪庆华, 唐根年, 李睿, 等. 浙江省特色农产品土地地质背景研究[M]. 北京: 地质出版社, 2007: 120.
- Wang Q H, Tang G N, Li R, et al. Study on land geological background of characteristic agricultural products in Zhejiang [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 120.
- [15] Georges K K, Fritz O T. Towards sustainable oil palm plantation management: Effects of plantation age and soil parent material [J]. *Agricultural Sciences*, 2020, 11(1): 54 - 70.
- [16] 张丽娟, 李彦慧, 潘海泉. 施肥对水果品质影响的研究进展[J]. *河北林果研究*, 1999, 14(2): 3 - 5.
- Zhang L J, Li Y H, Pan H Q. Research progress on the effect of fertilization on fruit quality [J]. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research*, 1999, 14(2): 3 - 5.
- [17] 何新华, 陈力耕, 郭长禄. 硫和钴在杨梅植株体内的分布及对生长的影响[J]. *园艺学报*, 2004, 31(5): 641 - 643.
- He X H, Chen L G, Guo C L. Distribution of sulfur and cobalt in *Myrica rubra* and their effects on growth [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2004, 31(5): 641 - 643.
- [18] 何新华, 潘鸿, 李峰, 等. 喷硼对杨梅植株生长及结瘤固氮的影响[J]. *浙江林学院学报*, 2008, 25(6): 689 - 691.
- He X H, Pan H, Li F, et al. *Myrica rubra* plant growth, nodulation, and nitrogen fixation using a boron spray [J]. *Journal of Zhejiang Forestry College*, 2008, 25(6): 689 - 691.
- [19] 郭秀珠, 求盈盈, 黄品湖, 等. 不同施肥方法对杨梅品质的影响[J]. *浙江农业学报*, 2009, 21(4): 358 - 361.
- Guo X Z, Qiu Y Y, Huang P H, et al. Effect of different fertilization methods on quality of Chinese bayberry fruit (*Myrica Rubra* Sieb. & Zucc.) [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2009, 21(4): 358 - 361.
- [20] 周林军, 曾明, 王秀琪, 等. 我国杨梅矿质营养特性研究进展[J]. *中国南方果树*, 2013, 42(2): 35 - 38, 43.
- Zhou L J, Zeng M, Wang X Q, et al. Research progress on mineral nutrition characteristics of Bayberry in China [J]. *South China Fruits*, 2013, 42(2): 35 - 38, 43.
- [21] 吴家森, 蒋仲龙, 吕爱华, 等. 不同年龄杨梅各器官氮、磷、钾化学计量特征[J]. *江西农业大学学报*, 2019, 41(3): 447 - 453.
- Wu J S, Jiang Z L, Lyu A H, et al. The ecological stoichiometry of N, P and K in organs of *Myrica rubra* of different ages [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2019, 41(3): 447 - 453.
- [22] 郑纪慈, 孟赐福, 傅志坚, 等. 杨梅缺硼症诊断及与钾锌氮营养失调症的鉴别[J]. *福建农业科技*, 2000(2): 13 - 14.
- Zheng J C, Meng C F, Fu Z J, et al. Diagnosis on the B-deficiency of red bayberry and identification on nutrition disorder of Zn, K and N [J]. *Fujian Agricultural Science and Technology*, 2000(2): 13 - 14.
- [23] 杨大强, 梁斌, 胡立, 等. 四川江油河西乡附子产地土壤中微量元素含量与有效性评价[J]. *四川地质学报*, 2009, 29(2): 220 - 223.
- Yang D Q, Liang B, Hu L, et al. The assessment of total and available content of minor elements in soil in the monkshood growing area, Hexi, Jianguo City [J]. *Acta Geologica Sichuan*, 2009, 29(2): 220 - 223.
- [24] Rayman M P. The importance of selenium to human health. [J]. *Lancet (London, England)*, 2000, 356(9225): 233 - 241.
- [25] Temmerman L D, Waegeneers N, Thiry C, et al. Selenium content of Belgian cultivated soils and its uptake by field crops and vegetables [J]. *Science of the Total Environment*, 2014, 468 - 469(15): 77 - 82.
- [26] 严洪泽, 周国华, 孙彬彬, 等. 福建龙海杨梅产地元素地球化学特征[J]. *中国地质*, 2018, 45(6): 1155 - 1166.
- Yan H Z, Zhou G H, Sun B B, et al. Geochemical characteristics of the bayberry producing area in Longhai, Fujian [J]. *Geology in China*, 2018, 45(6): 1155 - 1166.
- [27] 牛海林, 高益波, 胡波, 等. 余姚杨梅精细化农业气候区划研究

- [J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2019,55(1):167-171.
- Niu H L, Gao Y B, Hu B, et al. Refined agroclimatic zoning of Yuyao Bayberry[J]. Journal of Beijing Normal University: Natural Science, 2019, 55(1): 167-171.
- [28] 龚洁强,王允斌,梁克宏. 杨梅的营养特性与施肥技术[J]. 柑桔与亚热带果树信息,2001,17(11):29-30.
- Gong J Q, Wang Y B, Liang K H. Nutritional characteristics and fertilization techniques of Bayberry[J]. Ganju Yu Yaredai Guoshu Xinxì, 2001, 17(11): 29-30.
- [29] 曾平章,吴雨赤. 杨梅独特的生物学特性与栽培技术[J]. 中国南方果树,2006,35(4):41.
- Zeng P Z, Wu Y C. The unique biological characteristics and cultivation techniques of Yangmei[J]. South China Fruits, 2006, 35(4): 41.
- [30] 徐同冰,朱晓权. 浙江东南沿海杨梅品种资源及栽培技术[J]. 现代农业科技,2011(3):156-157.
- Xu T B, Zhu X Q. Variety resources and cultivation techniques of Bayberry in southeast Coast of Zhejiang province[J]. Modern Agricultural Sciences and Technology, 2011(3): 156-157.
- [31] 林秀香,林秋金,苏金强,等. 福建省杨梅种质资源概况[J]. 福建热作科技,2007,32(4):18-20.
- Lin X X, Lin Q J, Su J Q, et al. Overview on the germplasm resources of Bayberry in Fujian Province [J]. Fujian Science & Technology of Tropical Crops, 2007, 32(4): 18-20.

The study and application of eco-geological adaptability model for *Myricarubra* in Longhai, Fujian Province

ZHAO Chen^{1,2,3,4}, SUN Bin-Bin^{1,2,3}, ZHOU Guo-Hua^{1,2,3}, HE Ling^{1,2,3}, ZENG Dao-Ming^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Geochemical Exploration, Ministry of Land and Resources, Langfang 065000, China; 2. UNESCO International Center on Global-scale Geochemistry, Langfang 065000, China; 3. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China; 4. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: High quality and high yield of famous agricultural products are often related to the specific eco-geological environment and geochemical conditions of the producing area. This paper develops the eco-geological and geochemical adaptability model of *Myricarubra* in Longhai City. Geological and geochemical survey for famous producing area of Fugong bayberry were conducted. The results show that the geological background of the high-quality bayberry producing area in Longhai is granitoid, and the values of Mn, P, S, Zn, Al₂O₃, Na₂O, K₂O and available Mn, P, S in soil are relatively high, while the values of heavy metal elements such as As, Cd, Cr and Hg are low. The terrain of this area is hilly and mountainous with low elevation and low slope, and soil types are mainly red and yellow soil. According to the eco-geological model and on the basis of the data of 1:50,000 soil quality geochemical survey, 1:50,000 geological map as well as topographic, geomorphic and soil type maps of Longhai City, the suitable planting area of *Myricarubra* in Longhai was delineated, which involve 259.89 km² optimum planting area and 70.62 km² suitable planting area, which is about 5 times the existing planting area. These results could give geological and geochemical basis for planting planning of *Myricarubra* in Longhai City.

Key words: Longhai; *Myricarubra*; ecological geology; fitness model; soil-forming parent material; heavy metals; planting plan

(本文编辑:蒋实)