

DOI: 10.5846/stxb201306101630

唐群锋, 郭澎涛, 刘志崑, 林钊沐, 罗微, 蒋菊生. 基于 FMT-AHP 的海南农垦花岗岩类多雨区橡胶园地力评价. 生态学报, 2014, 34(15): 4435-4445.  
Tang Q F, Guo P T, Liu Z W, Lin Z M, Luo W, Jiang J S. Soil productivity assessment of rubber plantations based on fuzzy mathematics theory and analytical hierarchy process in granite rainy areas of Hainan state farms, China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(15): 4435-4445.

## 基于 FMT-AHP 的海南农垦花岗岩类 多雨区橡胶园地力评价

唐群锋<sup>1</sup>, 郭澎涛<sup>2</sup>, 刘志崑<sup>1</sup>, 林钊沐<sup>2</sup>, 罗微<sup>2</sup>, 蒋菊生<sup>1,\*</sup>

(1. 海南省农垦科学院, 海口 570206; 2. 中国热带农业科学院橡胶研究所, 儋州 571737)

**摘要:**海南农垦是中国最大的天然橡胶生产基地, 自第二次全国土壤普查以来橡胶园养分状况已发生了很大变化, 但具体情况如何尚不清楚。运用耕地地力评价方法对海南农垦主要橡胶园的地力进行了系统评价, 以期为橡胶园地力提升和天然橡胶的可持续发展提供理论支持。以土壤母质类型和降雨量为依据, 首次将海南农垦橡胶园划分为 8 个类型区, 并选取占海南农垦橡胶园总面积 56.97% 的花岗岩类多雨区作为评价区域, 采集 7204 个 0—20 cm 层的土壤样品, 运用特尔菲法、模糊数学理论和层次分析法确定 11 个评价指标及其权重, 将评价区橡胶园地力划分为 5 等。研究发现: 评价区以中间地力水平的二等、三等、四等橡胶园为主, 占评价区橡胶园总面积的 85.85%, 它们广泛分布于琼中、屯昌、澄迈、儋州、万宁、保亭、乐东、三亚、陵水、定安、琼海、五指山、昌江、文昌和东方 15 个县市; 一等地面积很小且分散, 五等地相对集中面积也很小。相关分析表明土壤 pH、有机质、有效磷和速效钾含量是影响评价区橡胶园地力水平的重要因素。评价区橡胶园土壤 pH 适宜橡胶树正常生长, 但该地区土壤有机质和有效磷含量不能满足橡胶树正常生长的需要, 而该地区一、二等地土壤速效钾含量能满足橡胶树正常生长, 其三、四等地土壤速效钾含量仅达到橡胶树正常生长所需水平, 随着地力下降到五等其土壤速效钾含量已不适宜橡胶树正常生长。根据上述研究结果, 笔者建议橡胶园应大力间作绿肥, 在增施有机质的基础上补氮、补钾、施用钙镁磷肥, 同时加强养分管理, 提高肥料利用率。

**关键词:**模糊数学; 层次分析法; 橡胶园; 分区; 地力评价; 养分变异

## Soil productivity assessment of rubber plantations based on fuzzy mathematics theory and analytical hierarchy process in granite rainy areas of Hainan state farms, China

TANG Qunfeng<sup>1</sup>, GUO Pengtao<sup>2</sup>, LIU Zhiwei<sup>1</sup>, LIN Zhaomu<sup>2</sup>, LUO Wei<sup>2</sup>, JIANG Jusheng<sup>1,\*</sup>

1 Hainan Agricultural Reclamation Academy of Sciences, Haikou 570206, China

2 Rubber Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, Danzhou 571737, China

**Abstract:** Hainan state farms are the largest production base of natural rubber in China. The nutrient status of rubber plantations has changed greatly since the second national soil survey that was published in 1982, but its specific conditions are not clear at present. Therefore, the soil productivity of the main rubber plantations in Hainan state farms was systematically evaluated by applying the evaluation methods of cultivated land productivity. The objective of this study was to provide theoretical support for the improvement of soil productivity of rubber plantations and sustainable development of natural rubber. For this study, the rubber plantations of Hainan state farms were split into eight different types on the basis of soil parent material and rainfall. The granite rainy area, which refers to the soil parent material for the granite and the

**基金项目:**测土配方施肥补贴项目资助(农办财[2006]11号, 农农发[2007]4号, 农办财[2008]54号, 农办农[2009]26号, 农办财[2010]47号, 农办财[2011]43号, 农办农[2012]10号)

收稿日期: 2013-06-10; 修订日期: 2014-05-06

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jjs18188@163.com

average monthly rainfall for more than 100mm, accounted for 56.97% of the total area of rubber plantations in Hainan state farms and was therefore selected as a representative assessment area. A total of 7204 soil samples of the 0—20 cm tillage layer were collected from this area to evaluate soil productivity grades. We applied the Delphi method, the fuzzy mathematics theory and the analytical hierarchy process method. This would enable the determination of 11 assessment indexes and their weights based on the six principles of necessity, importance, diversity, stability, ease of access and simplicity. The soil productivity of the rubber plantations in the assessment area was then split into five grades. The results showed that the soil productivity of the assessment area was mainly in the second, third and fourth grades. This accounted for 85.85% of the total rubber plantation area in the granite rainy area, and was widely distributed in 15 cities or counties: Qiongzong, Tunchang, Chengmai, Danzhou, Wanning, Baoting, Ledong, Sanya, Lingshui, Dingan, Qionghai, Wuzhishan, Changjiang, Wenchang and Dongfang. Soil that was assigned to the first productivity grade was found in a few, scattered places, whereas soil in the fifth productivity grade was not common but was found in a relatively concentrated area. Soil organic matter contents, soil pH and the concentrations of available phosphorus (P) and potassium (K) were found to be important impact factors affecting the soil fertility level of the rubber plantations. The soil pH was determined to be suitable for growing rubber trees in the assessment area. However, the content of soil organic matter and the concentration of available P were below the value suitable for growing rubber trees. The concentration of available K was suitable for growing rubber trees in the first and second productivity grade soils, only just reached the required level for rubber tree growth in the third and fourth productivity grade soils and was not suitable for normal growth of rubber trees in the fifth productivity grade soils of the assessment area. According to these results, it is suggested that green manure should be vigorously intercropped, and that fertilizing with N, K, Ca and Mg simultaneously with increasing organic fertilizer will strengthen the nutrition management and improve the utilization rate of fertilizer in rubber plantations.

**Key Words:** fuzzy mathematics theory; analytical hierarchy process; rubber plantation; district; productivity assessment; nutrient variation

由于经济的快速发展,我国在 2002 年就取代美国成为世界第一大天然橡胶消费国<sup>[1]</sup>。2010 年中国天然橡胶产量不足 70 万 t,自给率不足 20%,远低于国际公认的 30%安全保障线<sup>[2]</sup>。橡胶园的地力直接影响天然橡胶的生产量,海南农垦是中国最大的天然橡胶生产基地,自第二次全国土壤普查以来其橡胶园养分状况已发生了很大变化,干部职工并不了解当前橡胶园地力的空间变异及其影响,必需摸清橡胶园地力水平,提升其生产能力。耕地地力评价技术正快速向规范化方向发展,其评价方法日益完善和丰富<sup>[3-9]</sup>。因此,运用耕地地力评价方法查清主要橡胶园的养分状况和地力水平并提出相应的措施,对橡胶园土肥资源的优化配置和海南天然橡胶产业的可持续发展具有重要的意义。

## 1 研究区与方法

### 1.1 研究区概况

海南农垦地处 18°15'35"—20°02'14" N, 108°42'

09" — 110°47'42"E,属热带季风气候,年积温高、日照充足、雨量丰富,四季不明显,但干湿季节明显,东部湿润多台风、西部干旱、南暖北凉。海南农垦现有 25 个国营橡胶种植基地分公司,遍布海南省 18 个市县(图 1),面积和产量占全国的 40%以上,橡胶职工达 7.2 万余人,天然橡胶种植面积约 246068.7 hm<sup>2</sup>,其中已开割橡胶总株数约 4747.5 万株,是全国最大的天然橡胶生产基地。

根据 20 世纪 80 年代第二次土壤普查资料,海南垦区橡胶园可划分为花岗岩类、片麻变质岩类、玄武岩类、砂页岩沉积岩类 4 个主要土壤母质类型区。其中花岗岩类母质发育的土壤主要分布在垦区的中部并向四周辐射,是垦区天然橡胶的主要种植区,占海南垦区橡胶园面积的 61.21%。花岗岩地区岩石主要由正长石、云母和石英组成,抗风化能力强,所形成土壤砂粒适中。

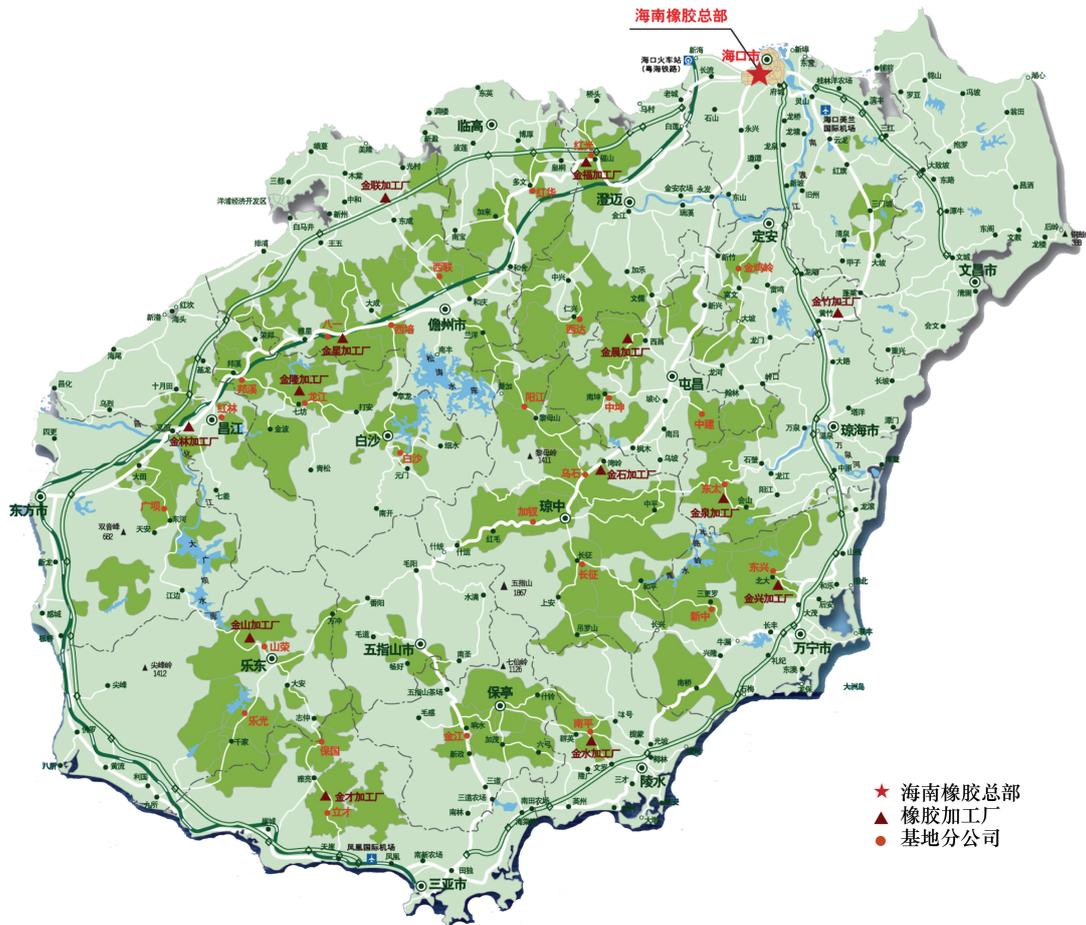


图 1 海南农垦天然橡胶基地分公司分布图

Fig.1 the distribution map of China Hainan Rubber Industry Group Co., Ltd. branch

1.2 样品采集与处理

综合土壤类型、土地利用、管理界线、橡胶园面积和生产队数量等因素,平均约 20 hm<sup>2</sup> 布设一个样点,在研究区共布点采集 7204 个土壤样品,采集 0—20 cm 层土壤,记录样点坐标及所在橡胶园基本情况。将所采土壤样品在整洁无污染的室温下风干,研磨过 2 mm 孔径筛用于 pH、有效磷、速效钾、有效态微量元素等含量及物理性状的测定,继续研磨过 0.25 mm 孔径筛用于有机质等含量的测定。

土壤质地采用指测法测定;pH 采用电位法测定;有机质采用油浴加热重铬酸钾氧化容重法测定;有效磷采用氟化铵-盐酸浸提,钼锑抗比色法测定;速效钾采用乙酸铵浸提,火焰光度计法测定;交换性镁采用原子吸收分光光度计法测定<sup>[10]</sup>。

1.3 分区方法与评价范围

一般认为月降雨量 100 mm 以上适宜橡胶生长,而海南岛降雨量存在明显的时空分布不均,区域上

自东向西逐渐减少,一年之内有明显干湿季节<sup>[11]</sup>;另外,在同一土壤母质类型区中橡胶园的肥力特性、土壤理化性状以及橡胶树栽培管理相类似,而不同土壤母质类型区橡胶园之间,上述条件和特点必有差异<sup>[12]</sup>;故本研究选取降雨量和土壤母质类型作为海南农垦橡胶园类型区划分的两个因素。

以海南岛橡胶园四大土壤母质类型区划为基础,进一步考虑降雨量对橡胶树生长的影响,利用海南岛多年月平均降雨量图提取出月平均降雨量 100 mm 等值线,然后将该等值线与海南岛橡胶园土壤母质类型区划图叠加,对海南岛橡胶园进行分区,获取海南岛橡胶园的不同类型分区。本研究选取面积最大的花岗岩类母质土壤区中月均降雨量 100 mm 以上的橡胶园作为研究区的评价范围(以下称为“花岗岩类多雨区”)。

1.4 评价方法

邀请相关行业专家,依据必要性、重要性、差异

性、稳定性、易获取、精简性“六”原则,运用德尔菲法(Delphi Method, DM)选取 pH、有机质、有效磷、速效钾、交换性镁、成土母质、质地、坡度、坡向、有效土层厚度和年降水量(共 11 个)作为花岗岩类多雨区橡胶园的地力评价指标,借助模糊数学(FMT)的隶属

函数模型确定各评价指标的隶属度。1965 年 Zadehl 提出模糊数学理论<sup>[13]</sup>,以后不断得到完善和广泛应用,利用模糊子集和隶属函数确定评价指标的隶属度是其核心<sup>[14-15]</sup>。

表 1 数值型指标的隶属函数

Table 1 The membership function of numerical index

评价指标 Evaluation index	函数类型 Function type	隶属函数 Membership function	C	U <sub>i</sub>
降水量 Rainfall/mm	戒上型 On the ring type	$y = [1 + 2.83 \times (U - C)^2]^{-1}$	18910	1200
有效磷 Available P/(mg/kg)	戒上型 On the ring type	$y = [1 + 0.0013 \times (U - C)^2]^{-1}$	34.83	3
有机质 Organic matters/(g/kg)	戒上型 On the ring type	$y = [1 + 0.0021 \times (U - C)^2]^{-1}$	33.65	6
速效钾 Available K/(mg/kg)	戒上型 On the ring type	$y = [1 + 6.82 \times (U - C)^2]^{-1}$	183.34	20
pH	峰型 Ridge type	$y = [1 + 0.3342 \times (U - C)^2]^{-1}$	5.25	U <sub>1</sub> = 3.5, U <sub>2</sub> = 7.5

隶属函数分为 5 种:戒上型、戒下型、峰型、直线型、概念型(散点型),本研究中评价指标的隶属函数属于峰型、戒上型和概念型。戒上型、峰型隶属函数,是利用特尔菲法对评价指标一组实测值通过专家打分评估出相应的一组打分值(隶属度),并根据这两组数据拟合隶属函数建立(表 1)。概念性隶属函数则是直接通过专家经验打分建立(表 2)。

通过层次分析法(AHP)确定各评价指标的权重。首先,根据研究区地力评价指标相互关系构建其层次结构图(图 2);然后,邀请相关行业专家讨论、比较同层次每个指标与上一层次的相对重要性,并量化评估打分,形成判断矩阵;再计算矩阵最大特征根及特征向量进行一致性检验,直至通过一致性检验。



图 2 评价要素层次分析结构图

Fig.2 Hierarchy plot of soil productivity and assessing indicators

将模糊数学确定的评价指标隶属度和层次分析法确定的权重,通过加权求和计算出其对应的评价单元橡胶园的地力综合指数(IFI),计算方法如下:

$$IFI = \sum F_i \times C_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

式中,IFI 为橡胶园地力综合指数, F<sub>i</sub> 为第 i 个评价指标的隶属度; C<sub>i</sub> 为第 i 个评价指标对应组合权重值。根据综合指数计算结果,采用累积频率曲线分级法来划分研究区橡胶园的地力等级,见表 3 结果。

1.5 数据处理

数据的数理统计与图表制作采用 SPSS 16.0、

Excel 2010 和 ArcGIS 10.0 来完成。

2 结果与分析

2.1 不同类型区橡胶园划分

由图 3 可知,红线为月均降雨量 100 mm 等值线,该线纵贯海南岛南北,将玄武岩、花岗岩、片麻变质岩和砂页岩沉积岩四大土壤母质类型区分割为东西两部分。月均降雨量 100 mm 等值线以东地区降雨充沛,橡胶树生长很少遇到干旱的影响,而该线以西地区则会受到干旱的影响。本研究将月均降雨量 100mm 等。

表 2 概念型指标的隶属函数  
Table 2 The membership function of conceptual index

成土母质		有效土层厚度/m		质地		坡度/(°)		坡向		交换性镁/(mg/kg)	
描述	隶属度	描述	隶属度	描述	隶属度	描述	隶属度	描述	隶属度	描述	隶属度
Description	Membership	Description	Membership	Description	Membership	Description	Membership	Description	Membership	Description	Membership
冲积物 Alluvium	0.920	<0.3	0.094	重粘 Heavy clay	0.498	<3	1.000	南 South	0.972	<10	0.450
砂页岩 Sandshale	0.856	0.3—0.5	0.182	中粘 Clay	0.652	3—7	0.950	东南 East and South	0.930	10—30	0.690
花岗岩 Granite	0.822	0.5—0.7	0.330	轻粘 Light clay	0.714	7—15	0.892	东 East	0.754	30—50	0.890
变质岩 Metamorphic	0.750	0.7—0.9	0.474	重壤 Heavy loam	0.728	15—20	0.784	西南 West and South	0.744	50—70	0.964
玄武岩 Basalt	0.628	0.9—1.1	0.674	中壤 Loam	0.962	20—25	0.616	东北 East and North	0.648	70—90	0.910
		1.1—1.3	0.846	轻壤 Light loam	0.900	25—30	0.362	西 West	0.520	90—110	0.790
		1.3—1.5	0.938	砂壤 Sandy loam	0.780	30—35	0.180	西北 West and North	0.490	110—130	0.700
		>1.5	1	紧砂 Tight sand	0.560	>35	0.082	北 North	0.464	>130	0.580
				松砂 Loose sand	0.406						

表 3 橡胶园地力等级划分

Table 3 The critical values of different fertility grades in rubber plantations

级别 Grade	地力综合指数 (IFI) Integrated Fertility Index	级别 Grade	地力综合指数 (IFI) Integrated Fertility Index
一等地 First grade land	0.81—0.89	四等地 Forth grade land	0.57—0.68
二等地 Second grade land	0.74—0.81	五等地 Fifth grade land	0.47—0.57
三等地 Third grade land	0.68—0.74		

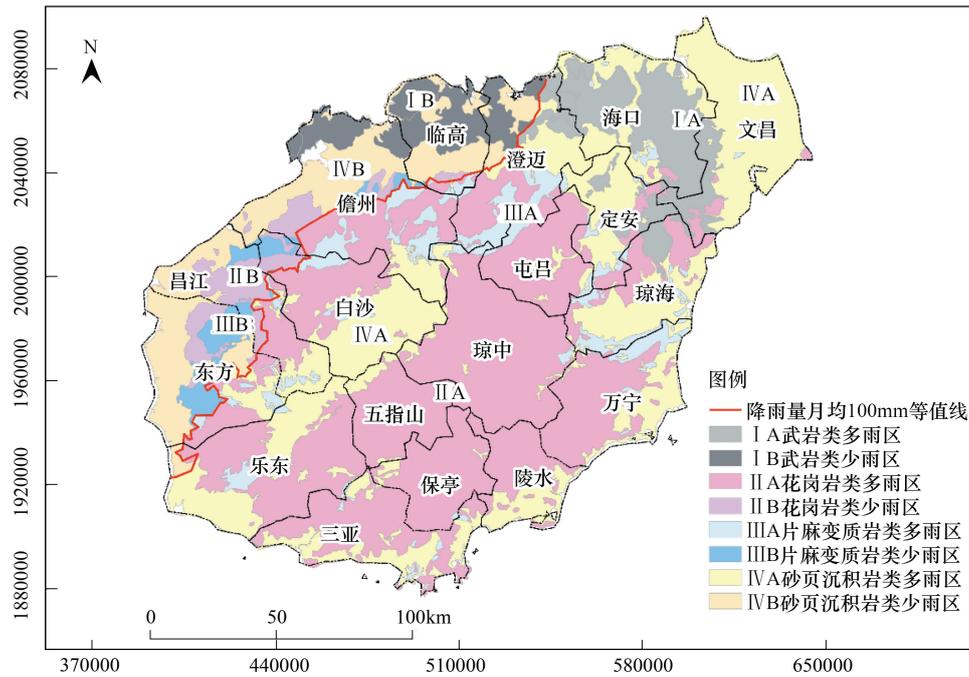


图 3 不同类型橡胶园分区图

Fig.3 The district map of different type rubber plantations

值线以东地区称为“多雨区”，即红线以东区域；月均降雨量 100 mm 等值线以西地区称为“少雨区”，即红线以西区域。本研究以土壤母质类型和降雨量为主要因素将海南农垦橡胶园划分为玄武岩类多雨区、玄武岩类少雨区、花岗岩类多雨区、花岗岩类少雨区、片麻变质岩类多雨区、片麻变质岩类少雨区、砂页沉积岩类多雨区、砂页沉积岩类少雨区等 8 个类型区

从图 3 可以看出，花岗岩类多雨区面积占了海南岛一大半多，主要分布在琼中、儋州、白沙、屯昌、五指山、保亭、乐东、万宁、陵水、澄迈等市县，是海南农垦天然橡胶的主要种植区(图 1)，故本研究确定花岗岩类多雨区为评价范围，对海南农垦橡胶园生产具有更广泛的指导意义。

表 4 表明，花岗岩类多雨区橡胶园面积 140174.4 hm<sup>2</sup>，占海南农垦橡胶园面积的 56.97%；其

次是片麻变质岩类多雨区和砂页沉积岩类多雨区橡胶园，分别为 31063.3 hm<sup>2</sup>和 21211.5 hm<sup>2</sup>，分别占到海南农垦橡胶园面积的 12.62%和 8.62%；其余 5 个类型区橡胶园面积共 53619.5 hm<sup>2</sup>，仅占海南农垦橡胶园面积的 21.79%。

### 2.2 橡胶园地力水平分布

海南农垦花岗岩类多雨区橡胶园(以下简称为评价区)面积为 140174.4 hm<sup>2</sup>，本研究以地力综合指数为依据，采用累积频率曲线法将橡胶园地力划分为 5 个等级。其中，一等地橡胶园面积 8328.0 hm<sup>2</sup>，分布面积最小，占参评橡胶园面积的 5.94%；二等地橡胶园面积 42462.5 hm<sup>2</sup>，分布面积第二大，占参评橡胶园面积的 30.29%；三等地橡胶园面积 53228.6 hm<sup>2</sup>，分布面积最大，占参评橡胶园面积的 37.97%；四等地橡胶园有一定面积分布，面积 24661.5 hm<sup>2</sup>排第三大，占参评橡胶园面积的 17.59%；五等地橡胶

园面积 11493.8 hm<sup>2</sup>, 分布面积较小, 占参评橡胶园面积的 8.20%, 见表 5。

表 4 各类型区橡胶园面积与比例

Table 4 The area of rubber plantation in each district and their proportion

类型分区 Type district	橡胶园 Rubber plantation		类型分区 Type district	橡胶园 Rubber plantation	
	面积 Area/hm <sup>2</sup>	比例 Proportion/%		面积 Area/hm <sup>2</sup>	比例 Proportion/%
花岗岩类多雨区 Granite rainy area	140174.4	56.97	花岗岩类少雨区 Granite rainless area	10439.6	4.24
玄武岩类多雨区 Basalt rainy area	12501.0	5.08	玄武岩类少雨区 Basalt rainless area	8749.6	3.56
片麻变质岩类多雨区 Gneissic metamorphic rainy area	31063.3	12.62	片麻变质岩类少雨区 Gneissic metamorphic rainless area	12272.9	4.99
砂页岩类多雨区 Sandshale and sedimentary rainy area	21211.5	8.62	砂页岩类少雨区 Sandshale and sedimentary rainless area	9656.4	3.92
合计 Total	246068.7	100			

表 5 评价区各等级橡胶园面积与比例

Table 5 The area of different grades rubber plantation and their proportions in assessment area

等级 Grade	橡胶园 Rubber plantation		等级 Grade	橡胶园 Rubber plantation	
	面积 Area/hm <sup>2</sup>	比例 Proportion/%		面积 Area/hm <sup>2</sup>	比例 Proportion/%
一等地 First grade land	8328.0	5.94	四等地 Forth grade land	24661.5	17.59
二等地 Second grade land	42462.5	30.29	五等地 Fifth grade land	11493.8	8.20
三等地 Third grade land	53228.6	37.97	合计 Total	140174.4	100

从图 4 可以看出, 评价区主要分布在琼中、屯昌、澄迈、儋州、万宁、保亭、乐东、三亚、陵水、定安、琼海、五指山、昌江、文昌和东方等 15 个县市。一等地橡胶园分布较散, 而且面积很少, 在白沙的北部和西部、琼中的中部和西部、定安的南部、万宁的中北部和西南部、三亚和乐东交界线上的中间部等均有少面积分布; 二等地橡胶园主要分布于白沙、琼中和三亚; 三等地橡胶园主要分布于儋州、白沙、屯昌、澄

迈、保亭的中部、琼中的中北部; 四等地橡胶园主要分布于屯昌、乐东、保亭、琼中的东南部; 五等地橡胶园分布比较集中, 主要分布于琼中的西北和东南部、儋州的中西部、保亭的中部、陵水的中部、乐东的东北部。

### 2.3 不同等级橡胶园土壤 pH 及养分含量分布

从表 6 中可以看出, 评价区土壤速效钾、有机质、有效磷和 pH 的标准误差都很小, 表明该区橡胶园

表 6 评价区各等级橡胶园土壤的 pH、有机质、有效磷及速效钾分布

Table 6 The distribution of soil pH, orgnic matters, available P and K of different grades rubber plantations in assessment area

评价区 Assessment area	pH	有机质/(g/kg) Orgnic matters	有效磷/(mg/kg) Available P	速效钾/(mg/kg) Available K	土样数/个 Soil samples
一等地 First grade land	4.74±0.005a	12.87±0.121a	4.81±0.021a	50.72±0.245a	264
二等地 Second grade land	4.72±0.003b	11.87±0.058b	4.61±0.010c	46.17±0.125b	1437
三等地 Third grade land	4.66±0.002c	8.98±0.043e	4.71±0.009b	40.40±0.090c	4376
四等地 Forth grade land	4.64±0.003d	10.57±0.054d	4.60±0.012cd	40.11±0.119cd	781
五等地 Fifth grade land	4.62±0.005e	11.20±0.056c	4.13±0.015e	38.02±0.170e	346
合计 Total	4.68±0.001	10.51±0.027	4.62±0.005	42.39±0.060	7204

同列数据后不同小写字母表示 0.05 水平的差异显著性

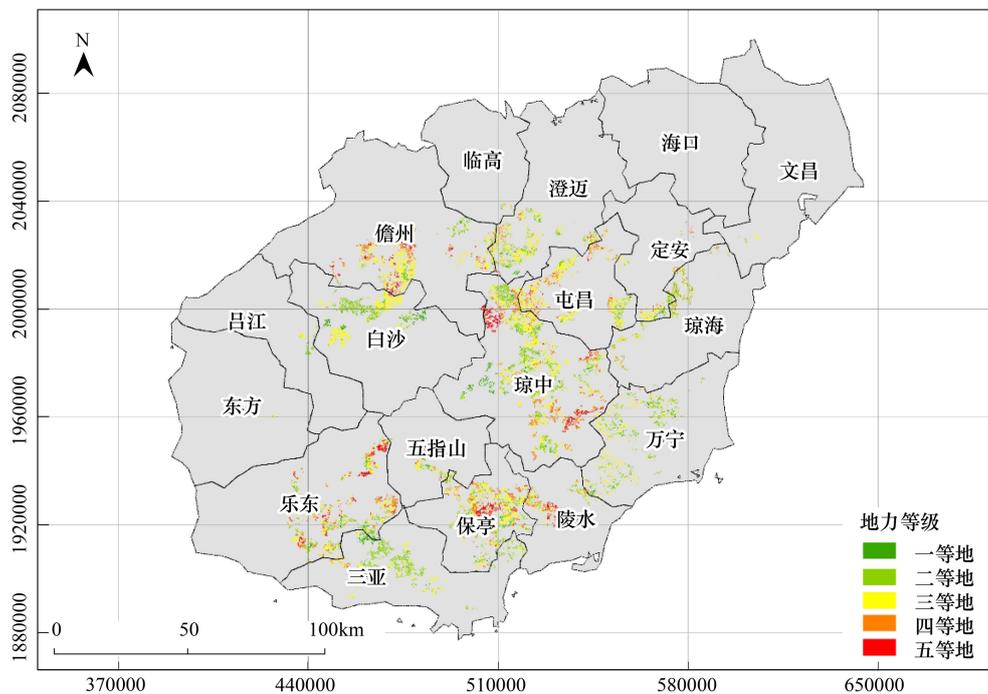


图4 评价区橡胶园地力水平分布图

Fig.4 The distribution map of soil productivity level of rubber plantations in assessment area

土壤采样测试的 pH、有机质、有效磷和速效钾含量均具有很好的代表性;而该区 pH 平均值为 4.68, 说明其橡胶园土壤整体呈酸性;其中橡胶园土壤速效钾、有机质和有效磷含量的平均值分别为 42.39 mg/kg、10.51 g/kg 和 4.62 mg/kg, 故此区有机质、有效磷和速效钾含量都不高。

表 6 表明, 评价区不同地力等级橡胶园之间土壤的 pH 和有机质含量均达到显著差异, 但只有 pH 和速效钾是随着地力水平升高而含量增加, 在地力水平高的橡胶园土壤有效磷含量较高, 有机质含量高低与地力水平高低不相关;另外, 土壤有效磷含量只有二等地与四等地之间没有达到显著差异, 土壤速效钾含量只有三等地与四等地之间没有达到显著差异, 其余各地力水平橡胶园之间的土壤有效磷或速效钾含量均达到了显著差异;说明上述 4 个指标对该区橡胶园的地力水平具有重要影响, 尤其是 pH 和有机质的影响较大。

### 3 结论与讨论

耕地地力是指由特定气候区域地形、地貌、成土母质、土壤理化性状、农田基础设施、培肥水平等要素综合构成、影响并决定的耕地生产能力<sup>[16]</sup>。耕地地力评价是以利用方式为目的, 估价耕地生产潜力

和土地适宜性的过程, 揭示生物生产力的高低和潜在生产力<sup>[17]</sup>。美国国际环境与发展研究所和世界资源研究所在《世界资源》中认定种植天然橡胶的橡胶园是耕地的一种类型。1984 年全国农业区划委员会和原国家土地管理局在《土地利用现状调查技术规程》中把种植农作物的土地确定为耕地, 《辞海》(经济分册)把耕地定义为经过开垦用以种植农作物并经常耕耘的土地。海南省在 2010 年以公文《琼农字[2010]73 号》确定天然橡胶为海南省的主要农作物。因此, 橡胶园地力评价的对象是橡胶园生产能力, 属于耕地地力评价的一种, 可以看成是土地评价学的一个新分支。橡胶园是海南垦区农业生产最重要的资源, 其地力的好坏直接影响到天然橡胶的可持续发展, 重视橡胶园的质量建设、落实橡胶园地力评价、实现橡胶园土壤肥料科学管理是海南垦区的重要课题。

#### 3.1 橡胶园分区评价地力的优势

近些年, 很多学者借助新兴的“3S”技术, 采用系统聚类法、层次分析法和模糊评价法等建立了耕地地力评价指标体系, 开展了大量的耕地地力评价方面的研究<sup>[3-9]</sup>。其中, 跨行政区域范围的土地评价研究也有报道, 如新疆天然草地类型质量评价<sup>[17]</sup>、湖北省清江流域旅游景区开发潜力评价<sup>[18]</sup>及何毓蓉

等对川江流域及其周边典型农业生态区的耕地地力评价<sup>[19]</sup>。另外,欧阳进良等依托 GIS 还评价了种植不同作物的土地适宜性,并划分出作物种植区<sup>[20]</sup>。但是,国内大量的地力评价研究几乎全部集中于大田作物,而对诸如橡胶树等此类多年生高大乔木种植园的地力评价研究很少。关于橡胶园的地力评价仅见于数篇文献<sup>[21-23]</sup>,又局限于农场区域小范围、调查采样量少或指标内容片面等不足。而在跨行政区域范围的分区基础上开展耕地地力评价,尤其对天然橡胶这类特殊作物的园地,进行大量采样、系统、定量、全面的跨行政区域范围的地力评价研究,目前还未见报道,本次研究尚属首次,进一步完善了耕地地力评价方法和技术在各类作物耕地上的应用,尤其是积累了耕地地力评价方法在橡胶园这类特殊而又重要作物上管理养分等方面的运用经验,这对国内外橡胶园的地力评价与养分管理工作具有重要的借鉴意义。

在海南岛大区域尺度下,土壤母质类型与气候往往是影响橡胶树生长的主要因素,其中土壤母质类型对橡胶树生长的影响最明显<sup>[11]</sup>,不同地力水平橡胶园土壤母质类型的养分状况差异很大(表 6)。气候条件中,降雨和温度又是影响橡胶树生长的关键因子。海南岛不同区域之间温度的差异不大,且年均温都在 23—25℃ 之间,满足橡胶树生长对温度(20—30℃)的要求。与温度的均匀性不同,海南岛不同区域尤其是东部和西部之间降雨量的差异很明显,降雨的差异显著地影响到橡胶树的生长和产胶量。海南岛月平均降雨量都在 75 mm 以上,都是可以满足种植橡胶的需求。但是,一般月平均降雨量在 100 mm 以下的区域一年中都会发生不同程度的旱害,对橡胶树的生长造成不利影响<sup>[11]</sup>。因此,依据对橡胶树影响大的土壤母质和降雨量划分评价区域,其评价结果与橡胶树生长环境更吻合,更适宜为橡胶园养分的合理管理与利用以及配方施肥提供科学依据。

相对于王晶晶和韦娉婷针对单个农场橡胶园地力的评价<sup>[22-23]</sup>,或袁秀杰等<sup>[24]</sup>对平原和丘陵区耕地地力评价及其两套指标衔接的研究来讲,本研究覆盖了整个海南农垦花岗岩类多雨区的橡胶园,地力评价结果能代表整个海南岛此类型区橡胶园的地力状况,跨农场区域且同地力评价体系的研究使得各

农场间橡胶园地力等级具有统一可比性,其评价结果无需通过复杂的线性模型转换后才具可比性,对橡胶园生产实践具有更广泛的指导作用。吴敏等<sup>[21]</sup>虽然评估了海南岛整个橡胶园的土壤肥力状况,但由于其评价指标仅限于土壤化学属性(如 pH、有机质、全氮、有效磷等),而未涉及诸如立地条件、气候等因素,其评价指标并不能很准确地反映整个海南岛橡胶园的综合地力;同时,其采样点个数也较少(共 202 个土样);相比而言,本研究采集了 7204 个土壤样品,评价指标涵盖了理化性状、立地条件、养分状况、剖面性状等 4 个方面 11 项指标,其评估结果更系统、更全面,能更准确地反映海南岛同类型区橡胶园的地力状况。

### 3.2 评价区橡胶园地力提升的建议

本研究以占海南农垦橡胶园面积 56.97% 的花岗岩类多雨区为代表,其研究结果可以对海南农垦主要天然橡胶种植园的管理提供理论支持。研究结果发现,评价区地力以中等水平为主(二等地、三等地、四等地),占到其总面积的 85.85%,中等地力橡胶园遍布海南省琼中、屯昌、澄迈、儋州、万宁、保亭、乐东、三亚、陵水、定安、琼海、五指山、昌江、文昌和东方等 15 个县市。

研究结果表明评价区土壤属于酸性,pH 位于适合橡胶树生长的 4.5—6.5 (pH) 之间;但表 6 中数据显示 pH 下降时地力等级同步下降,且各等级橡胶园间土壤 pH 均达到显著差异,说明该区橡胶园土壤进一步酸化将会降低其地力水平,从而可能影响到橡胶树的正常生长,应该重视生产中对这类橡胶园土壤的酸碱度改良,适当提高其 pH。

研究结果还发现,一等地和五等地橡胶园土壤的有机质、有效磷和速效钾含量,与中等水平(二等地、三等地、四等地)橡胶园土壤中对对应养分含量达到了显著差异,说明土壤有机质、有效磷和速效钾的含量是影响该区橡胶园地力水平的主要因素,应该要加强其上述主要养分的管理。根据适宜橡胶树正常生长所需土壤养分含量<sup>[25]</sup>(有机质为 20—25 g/kg,有效磷为 5—8 mg/kg,速效钾为 40—60 mg/kg)来判断,表 6 中数据说明评价区土壤的有机质含量远低于橡胶树正常生长的要求水平,其有效磷含量也不能满足橡胶树正常生长;而该区一等地和二等地橡胶园土壤速效钾含量水平达到了橡胶树正常生

长所要求的范围,其三等地和四等地的才刚刚达到,五等地橡胶园土壤速效钾含量水平甚至低于橡胶树正常生长所要求的范围。因此,提高该区橡胶园土壤有机质、有效磷和速效钾等养分的含量,将会提升其地力水平;建议在大力增施有机肥的基础上增施磷肥,尤其是增施钙镁磷肥等碱性肥调节土壤酸碱度;同时,加强氮钾养分的管理,提高其利用率,在橡胶树抽叶等关键期补施氮钾肥,平衡氮钾的流失。此外,要在橡胶园间作豆科绿肥作物,诸如爪哇葛藤、兰花毛蔓豆和无刺含羞草等,以增加有机质,培肥土壤。

#### References:

- [ 1 ] Huang X J, Wang Q. The new development of worldwide NR and status of Chinese NR( I ). *China Rubber*, 2004, 20(20) : 8-11.
- [ 2 ] Liu Y. Chinese Natural Rubber Security of Supply and Demand under the Global Vision [ D ]. Haikou: College Hainan University, 2012: 25-32.
- [ 3 ] Rossiter D G. *ALES: a Framework for Land Evaluation using a Microcomputer*. *Soil Use and Management*, 1990, 6(1) : 7-20.
- [ 4 ] Solie J B Raun W R, Stone M L. Submeter spatial variability of selected soil and bermudagrass production variables. *Soil Science Society of America Journal*, 1999, 63(6) : 1724-1733.
- [ 5 ] Stein A, Brouwer J, Bouma J. Methods for comparing spatial variability patterns of millet yield and Soil data. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61(3) : 861-870.
- [ 6 ] Blu T, Thevenaz P, Unser M. Complete parameterization of piecewise-polynomial interpolation kernels. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2003, 12(11) : 1297-1309.
- [ 7 ] Turner M G. Landscape ecology: the effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 1998, 20: 171-182.
- [ 8 ] White J G, Welch R M, Norell W A. Soil Zinc map of the USA using geostatistics and geographic information systems. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 162(4) : 291-298.
- [ 9 ] Lu M X, He L Y, Wu L S. Fertility evaluation of cultivated land in China; a review. *Ecology and Environment*, 2006, 15(4) : 866-871.
- [ 10 ] Zhang F S. *Soil Testing and Fertilization Recommendation*. Beijing: China Agricultural University Press, 2011: 48-76.
- [ 11 ] He K, Huang Z D. *The Cultivation of Rubber Tree in Northern Tropical*. Guangzhou: Guangdong science and Technology Press, 1987: 8-42.
- [ 12 ] He X D, Lu X Z, Wu X P. The division of soil fertility on rubber plantation in Hainan island and its utilization. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 1991, (1) : 40-47.
- [ 13 ] Zadeh A. Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965, 8(3) : 338-353.
- [ 14 ] Smith P N. Applications of fuzzy sets in the environmental evaluation of projects. *Journal of Environmental Management*, 1994, 42(4) : 365-388.
- [ 15 ] Silvent W. Ecological impact classification with fuzzy sets. *Ecological Modeling*, 1997, 96(1/3) : 1-10.
- [ 16 ] Zhao Q G, Sun B, Zhang T L. Soil quality and sustainable environment I, the definition of soil quality and its evaluation method. *Soils*, 1997, (3) : 113-120.
- [ 17 ] Wang X Z, Lin Y, Yu L. An application of the grey system theory in the evaluation of natural grassland types. *Systems Engineering: Theory and Practice*, 2000, 20(2) : 131-135, 140-140.
- [ 18 ] Wang H B, Li J F, Lü Y F, Wang B G. The multilevel grey evaluation on the tourism resources in Qingjiang River Basin. *Systems Engineering: Theory and Practice*, 2000, (4) : 127-131.
- [ 19 ] He Y R, Zhou H Y, Zhang B H, Cheng G W. Climate-soil productivity and agricultural structure adjusting in several typical areas in upper reaches of Yangtze River; a case of Sichuan and fringe areas of Yangtze River. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(3) : 86-88, 92-92.
- [ 20 ] Ouyang J L, Ning Z R. Agricultural land evaluation based on the different crop planting at county level. *Research of Agricultural Modernization*, 2002, 23(2) : 97-101.
- [ 21 ] Wu M, He P, Wei J S. Integrated evaluation of soil fertility for rubber plantation in Hainan province. *Soil and Fertilizer Sciences*, 2009, (2) : 1-5.
- [ 22 ] Wang J J. *Evaluation of Cultivated Land Fertility of Hainan State Farms — A Case Study in Hongming Region [ D ]*. Haikou: College Hainan University, 2010.
- [ 23 ] Wei P P. *Application Research on Evaluation Method of Cultivated Lands Productivity in Rubber Plantation — A Case Study in Bayi Area of Hainan State Farm [ D ]*. Haikou: College Hainan University, 2010.
- [ 24 ] Yuan X J, Zhao G X, Zhu X X. Linkage of evaluation index system for cultivated land fertility evaluation in plain and hill regions. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24(7) : 65-71.
- [ 25 ] Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences and South China University of Tropical Agriculture, *Cultivation of Tropical Crops in China*. Beijing: China Agriculture Press, 1998, (1) : 3-138.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 黄循精, 王强. 世界天然橡胶的最新进展和我国天然橡胶的发展现状(一). *中国橡胶*, 2004, 20(20) : 8-11.
- [ 2 ] 刘阳. 全球视野下的中国天然橡胶供求安全研究 [ D ]. 海口: 海南大学, 2012: 25-32.
- [ 9 ] 鲁明星, 贺立源, 吴礼树. 我国耕地地力评价研究进展. *生态环境*, 2006, 15(4) : 866-871.

- [10] 张福锁. 测土配方施肥技术. 北京: 中国农业大学出版社, 2011: 48-76.
- [11] 何康, 黄宗道. 热带北缘橡胶树栽培. 广州: 广东科技出版社, 1987: 8-42.
- [12] 何向东, 陆行正, 吴小平. 海南岛胶园土壤肥力区划及其利用的研究. 热带农业科学, 1991, (1): 40-47.
- [16] 赵其国, 孙波, 张桃林. 土壤质量与持续环境 I. 土壤质量的定义及评价方法. 土壤, 1997, (3): 113-120.
- [17] 王新忠, 林仪, 于磊. 天然草地类型综合评价中的数据处理及灰色关联度分析. 系统工程理论与实践, 2000, 20(2): 131-135, 140-140.
- [18] 汪华斌, 李江风, 吕贻峰, 汪丙国. 清江流域旅游资源多层次灰色评价. 系统工程理论与实践, 2000, (4): 127-131.
- [19] 何毓蓉, 周红艺, 张保华, 程根伟. 长江上游典型区的耕地地力与农业结构调整: 以川江流域及其周边地区为例. 水土保持学报, 2003, 17(3): 86-88, 92-92.
- [20] 欧阳进良, 宁振荣. 基于 GIS 的县域不同作物土地综合生产力评价. 农业现代化研究, 2002, 23(2): 97-101.
- [21] 吴敏, 何鹏, 韦家少. 海南岛胶园土壤肥力的综合评价. 中国土壤与肥料, 2009, (2): 1-5.
- [22] 王晶晶. 海南垦区耕地地力评价研究——以红明片区为例 [D]. 海口: 海南大学, 2010.
- [23] 韦娉婷. 耕地地力评价方法在橡胶园中的应用研究——以海南农垦八一片区为例 [D]. 海口: 海南大学, 2010.
- [24] 袁秀杰, 赵庚星, 朱雪欣. 平原和丘陵区耕地地力评价及其指标体系衔接研究. 农业工程学报, 2008, 24(7): 65-71.
- [25] 中国热带农业科学院, 华南热带农业大学. 中国热带作物栽培学. 北京: 中国农业出版社, 1998, (1): 3-138.