

基于第三次全国土壤普查的眉山市东坡区晚熟柑橘适宜性评价^①

姚 莉¹, 唐 彪², 陈章全³, 卢昌艾⁴, 赵玉国⁵, 邓春秀⁶, 张 奇¹, 代天飞², 王 宏¹,
欧阳平², 黄耀蓉², 武 娟², 李源洪⁶, 林超文^{1*}

(1 四川省农业科学院农业资源与环境研究所, 成都 610066; 2 四川省耕地质量与肥料工作总站, 成都 610041; 3 国务院第三次全国土壤普查领导小组办公室, 北京 100125; 4 中国农业科学院农业资源与农业区划所, 北京 100081; 5 中国科学院南京土壤研究所, 南京 211135; 6 四川省农业科学院遥感与数字农业研究所, 成都 610066)

摘要: 晚熟柑橘是眉山市东坡区最知名的土特农产品之一, 为科学指导当地优质晚熟柑橘的生产和优化布局, 本文基于东坡区第三次全国土壤普查 372 个宜园地土壤样点数据开展东坡区晚熟柑橘适宜性评价, 将土壤、地形和气候数据转换为模糊隶属度数据, 结合层次分析法和模糊数学方法, 构建包含土壤理化性状(pH、有机质、容重、有效磷、速效钾、剖面质地构型)、地形(地下水位、地形部位、坡度)和气候条件($\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温、全年日照时数、年降水量、极端低温($\geq -2^{\circ}\text{C}$)、极端低温出现频率)共 14 项评价指标的晚熟柑橘产地适宜性评估模型。结果表明, 东坡区非常适宜优质晚熟柑橘的生产, 全区 3.47万 hm^2 的宜园土地中, 优势区和适宜区分别占 16.00% 和 79.97%, 但不同区域的限制因素不同, 需采取不同的组合措施以提升适宜性, 确保优质柑橘生产。

关键词: 土壤三普; 土特产; 适宜性评价; 模糊数学; 晚熟柑橘

中图分类号: P964 文献标志码: A

Suitability Evaluation and Analysis of Late Maturing Citrus in Dongpo District, Meishan City Based on the 3rd National Soil Survey

YAO Li¹, TANG Biao², CHEN Zhangquan³, LU Chang'ai⁴, ZHAO Yuguo⁵, DENG Chunxiu⁶, ZHANG Qi¹, DAI Tianfei²,
WANG Hong¹, OUYANG Ping², HUANG Yaorong², WU Juan², LI Yuanhong⁶, LIN Chaowen^{1*}

(1 Agricultural Resources and Environment Institute, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China; 2 General Station of Arable Soil Quality and Fertilizer of Sichuan Province, Chengdu 610041, China; 3 Office of the Leading Group for the Third National Soil Survey of the State Council, Beijing 100125, China; 4 Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 5 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 211135, China; 6 Institute of Remote Sensing and Digital Agriculture, Sichuan Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610066, China)

Abstract: Late maturing citrus is one of the most well-known local specialty agricultural products in Dongpo District, Meishan City. In order to scientifically guide the local production and optimization layout of high-quality late maturing citrus, this paper evaluated the suitability of late maturing citrus in Dongpo District based on the soil data of 372 orchard plots from the 3rd National Soil Survey in Dongpo District, in which the data of soil, terrain and climate were converted into fuzzy membership data, combined with analytic hierarchy process and fuzzy mathematics methods, the suitability evaluation model of late maturing citrus was constructed, which included 14 evaluation indicators of soil physicochemical properties, terrain and climatic conditions. Soil physical and chemical properties included pH, organic matter, bulk density, texture configuration, available phosphorus and potassium; topographic indicators included groundwater level, topographic location and slope; climatic conditions included effective accumulated temperature $\geq 10^{\circ}\text{C}$, annual sunshine, precipitation, extreme low temperature and occurrence frequency of extreme low temperature. The results indicated that Dongpo District is very suitable for the production of high-quality late maturing citrus. Among the $3.47 \times 10^4 \text{ hm}^2$ of suitable orchard land in the entire area, the dominant area and suitable areas account for 16.00% and 79.97%, respectively. However, the limiting factors in different regions are different, and different combination

①基金项目: 国家重点研发计划课题(2022YFD1901405)和四川省财政自主创新专项项目(2022ZZCX013, 2022ZZCX017)资助。

* 通讯作者(lcw-11@163.com)

作者简介: 姚莉(1987—), 女, 安徽安庆人, 博士, 副研究员, 主要从事农业资源与环境保护研究。E-mail: yaolisfri@163.com

measures should be taken to improve the suitability and ensure the production of high-quality citrus.

Key words: The Third National Soil Survey; Local specialties; Suitability evaluation; Fuzzy mathematics; Late maturing citrus

党和国家高度重视“推动乡村产业高质量发展”中的“土特产”工作，要求各地各部门要在彰显特色和优势、产业融合、优化布局等方面谋篇布局，做优做强乡村产业，促进乡村产业振兴^[1-2]。为此，目前正在进行的第三次全国土壤普查，也将摸清“土特产”农产品生产区域环境和土壤特征、为优化“土特产”生产布局提供依据列为重要内容之一^[3-5]。

眉山市东坡区位于四川盆地成都平原西南边缘，岷江中游，区内地貌类型多样，平原、浅陵和山区各占 1/3，是国家现代农业示范区，被誉为“中国泡菜、黄金蜜柚、晚熟柑橘和柑橘蜜之乡”，也是全国粮食生产、蔬菜种植和制种大县，为此被列为第三次全国土壤普查试点县(区)。作为全国晚熟柑橘产业集群亮点县之一，东坡区也是农业农村部、国家发改委、财政部等九部委认定的全国晚熟柑橘特色农产品优势区的核心区。截至 2021 年，其柑橘种植面积已达 2.57 万 hm²，年产量 51.9 万 t，产值 38.8 亿元，其中近年来引进的爱媛 38 号、沃柑、春见、不知火等杂交柑橘品种已成为晚熟柑橘产业的主推品种^[6]。东坡区通过高接换种、政策补贴、标准园建设、老果园改造等方式精简品种类型，减少早熟品种面积，优化早中晚熟品种比例^[7]。目前，全区晚熟柑橘规模占 75% 以上。

东坡区的柑橘种植区域大多集中在山地丘陵地区，田间道路、沟渠排灌等基础设施条件较差，水、电、路等设施不配套，导致机械化程度低，生产成本高；另一方面，东坡区多是一家一户小规模分散经营，果园空间布局不合理，生产条件不好，规模化程度不高。为充分发挥东坡区地理、气候优势，全力打造东坡区晚熟柑橘品牌，提升东坡区晚熟柑橘市场竞争力，在第三次全国土壤普查背景下开展晚熟柑橘产地适宜性评价，深入分析柑橘种植与土壤、气候、地形等因子的相关性，对精细柑橘种植布局、发展区位优势、避免盲目发展种植区域、实现柑橘提质增效具有科学指导意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

东坡区地理坐标为 29°24'43"N ~ 30°16'56"N、103°26'57"E ~ 103°59'15"E，总面积 1 330.81 km²，属亚热带湿润气候区，冬无严寒，夏无酷暑，霜雪少见，四季分明，雨量充沛，光温资源丰富。年均日照时数

1 193.8 h，年均温 17.2 °C，年均降水量 1 057.5 mm，无霜期 318 d。东坡区土壤包括潮土、黄壤、水稻土、新积土和紫色土 5 个土类，下分 12 个亚类、24 个土属和 54 个土种。

1.2 数据来源

土壤理化形状和地形数据采用东坡区第三次全国土壤普查数据(包括表层和剖面样点外业调查数据与内业理化属性测试数据)；气候数据采用中国气象科学共享数据服务平台(<http://data.cma.cn>)公布数据以及典型柑橘园区气象仪监测数据。

1.3 评价单元划分

将 1 : 50 000 东坡区土壤图、土地利用现状图、村级区域矢量图层进行叠加，把相同土壤类型、土地利用类型且同属一个村社的地块划分为一个评价单元。经开展农用地农业利用适宜性评价^[8]，东坡区宜园区面积共计 34 673.29 hm²，共 78 214 个评价单元，包含 372 个土壤样点。本研究基于这些宜园区评价单元开展晚熟柑橘产地适宜性评价，其技术路线见图 1。

1.4 评价因子选择

适宜的气候、土壤、地形地貌等条件是晚熟柑橘优质高产的前提^[9]。气候是影响柑橘种植分布、产量和品质的重要因素，柑橘对日照、温度、水分等因素非常敏感，其喜温暖湿润气候，较耐阴，不耐低温，但要达到高产优良需要有较好的光照条件^[10]。极端低温冻害和高温干旱危害是东坡区柑橘园主要的气候障碍因子。柑橘对土壤适应性较广，但要求土壤深厚、疏松肥沃，无硬土盘或砂石层阻隔^[11]。地形因素中，坡度影响土壤厚度、侵蚀、灌溉和排水，长期积水或排水不畅都会使柑橘根部腐烂，低洼地区域柑橘更易受到冻害。

通过查询文献^[12-16]、走访种植大户、召开柑橘种植和土壤领域专家研讨会，基于土壤理化性状、地形和气候条件，确定表层(耕作层)的 pH、有机质、容重、有效磷、速效钾、剖面质地构型、地下水位、地形部位、坡度、≥10 °C 有效积温、全年日照时数、年降水量、极端低温、极端低温出现频率共 14 个指标为柑橘适宜性评价指标。根据晚熟柑橘的生长特性，将极端低温和极端低温出现的频率设为极限指标，极端低温不低于 -2 °C，极端低温出现的频率应不高于 1 次/10 年。

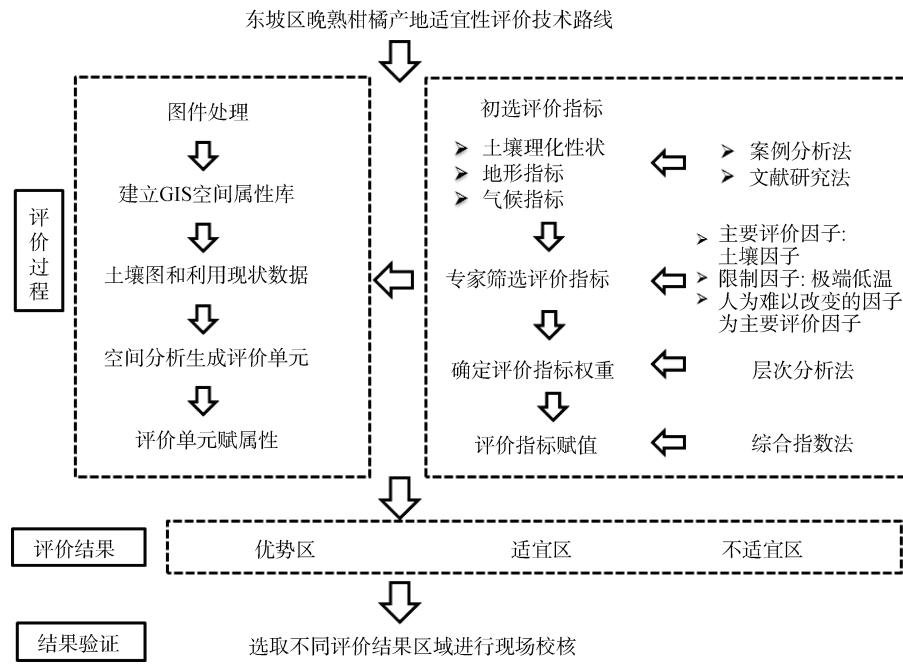


图1 东坡区晚熟柑橘适宜性评价技术路线

Fig. 1 Technical route of suitability evaluation for late-maturing citrus in Dongpo District

1.5 层次结构的建立

采用层次分析法(AHP)来确定各指标的权重^[17]。根据评价因子各自的属性和特点,将评价体系排列为3个层次,其中目标层(A层)为柑橘适宜性,准则层(B层)为土壤理化性状、地形和气候条件,指标层(C层)为具体的13个评价指标。柑橘种植专家按照指标层各因素对准则层相应因素的相对重要性(权重),给出数量化的评估,权重值越大,说明该评价因子对柑橘生长影响越大。确定的评价因素层次结构及权重见表1。

1.6 柑橘适宜性评价模型的构建

根据晚熟柑橘的生长特征及东坡区的地理、气候和土壤条件,在充分查阅文献、咨询柑橘专家后将各评价因子分级(表2~表4)。概念型指标包括地形部位和剖面质地构型,各描述及对应的隶属度直接由专家根据经验讨论确定赋值。数值型指标赋值采用隶属函数模型,根据模糊数学的理论,用特尔斐法确定各指标隶属度,再通过拟合建立函数关系^[18]。其中,地下水位、全年日照时数、有效磷和速效钾与柑橘生产潜力之间的关系采用S型隶属函数描述;极端低温

出现频率与柑橘生产潜力之间的关系采用倒S型隶属函数描述;坡度、 $\geq 10^{\circ}$ 有效积温、年降水量、有机质与柑橘生产潜力之间的关系采用抛物线型隶属函数描述;pH、容重与柑橘生产潜力之间的关系采用梯型隶属函数描述(表5)。

表1 评价因素层次结构及权重

Table 1 Hierarchical structure and weights of evaluation factors

目标层(A层)	准则层(B层)	指标层(C层)	指标权重
柑橘适宜性	土壤理化性状	pH	0.18
		有机质	0.15
		容重	0.12
		质地构型	0.09
		有效磷	0.03
		速效钾	0.03
	地形	地下水位	0.075
		地形部位	0.0525
		坡度	0.0225
	气候	$\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温	0.0875
		全年日照时数	0.075
		年降水量	0.0625
		极端低温出现的频率	0.025

表2 地形指标隶属度及描述

Table 2 Membership degrees and descriptions of topographic indexes

地下水位(m)		地形部位		坡度(°)	
隶属度	描述	隶属度	描述	隶属度	描述
0.2	≤ 1	0.5	低洼地	0.35	0
0.6	2	1	非低洼地	1	15
1	≥ 3			0.1	≥ 25

表 3 土壤理化性状指标隶属度及描述
Table 3 Membership degrees and descriptions of soil physiochemical indexes

pH		有机质(g/kg)		容重(g/cm ³)		质地构型		有效磷(mg/kg)		速效钾(mg/kg)	
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	描述
0.7	4.5	0.1	≤10	0.1	1.0	1	上松下紧型	0.1	≤5	0.1	≤50
1	5.5 ~ 7.0	0.325	20	1	1.2 ~ 1.4	0.9	海绵型	0.6	25	0.55	100
0.7	8.0	1	50	0.1	1.6	0.75	紧实型	1	≥40	1	≥150
0.2	<4.5, >8.0	0.2	65			0.65	夹层型	0.45	上紧下松型	0.35	松散型
						0.30	薄层型				

表 4 气候指标隶属度及描述
Table 4 Membership degrees and descriptions of climate indexes

≥10℃有效积温(℃)		全年日照时数(h)		年降水量(mm)		极端低温出现的频率(次/年)	
隶属度	描述	隶属度	描述	隶属度	描述	隶属度	描述
0.1	≤4 000	0.2	≤1 200	0.1	≤500	1	≤0.01
1	6 000	0.6	1 350	1	1 300	0.4	0.1
0.1	≥7 500	1	≥1 500	0.1	≥1 800		

表 5 数值型指标隶属函数
Table 5 Membership functions of numerical indexes

指标	函数类型	函数公式	x 下限	最佳下限	最佳上限	x 上限
地下水位(m)	S 型	$y = \begin{cases} 0.2 & x < 1 \\ \frac{x-1}{2} \times 0.8 + 0.2 & 1 \leq x < 3 \\ 1 & x \geq 3 \end{cases}$	0.5	-	-	5
坡度(°)	抛物线型	$y = \begin{cases} \frac{0.65x}{15} + 0.35 & 0 \leq x < 15 \\ \frac{25-x}{10} \times 0.9 + 0.1 & 15 \leq x < 25 \\ 0.1 & x \geq 25 \end{cases}$	0	2	28	30
≥10℃有效积温(℃)	抛物线型	$y = \begin{cases} \frac{x-4000}{2000} \times 0.9 + 0.1 & 4000 < x \leq 6000 \\ \frac{7500-x}{1500} \times 0.9 + 0.1 & 6000 < x < 7500 \\ 0.1 & x \leq 4000; x \geq 7500 \end{cases}$	3 000	3 500	7 800	8 300
全年日照时数(h)	S 型	$y = \begin{cases} 0.2 & x \leq 1200 \\ \frac{x-1200}{300} \times 0.8 + 0.2 & 1200 < x < 1500 \\ 1 & x \geq 1500 \end{cases}$	1 000	-	-	2300
年降水量(mm)	抛物线型	$y = \begin{cases} 0.1 & x \leq 500; x \geq 1800 \\ \frac{x-500}{800} \times 0.9 + 0.1 & 500 < x < 1300 \\ \frac{1800-x}{500} \times 0.9 + 0.1 & 1300 \leq x \leq 1800 \end{cases}$	500	700	2 000	2 200
极端低温出现的频率(次/年)	倒 S 型	$y = \begin{cases} 1 & x \leq 0.01 \\ \frac{-20}{3}x + \frac{3.2}{3} & 0.01 < x \leq 0.1 \end{cases}$	0	-	-	0.1

续表5

指标	函数类型	函数公式	x下限	最佳下限	最佳上限	x上限
pH	梯型	$y = \begin{cases} \frac{x-4.5}{1.0} \times 0.3 + 0.7 & 4.5 \leq x < 5.5 \\ 1.0 & 5.5 \leq x \leq 7.0 \\ \frac{8-x}{1.0} \times 0.3 + 0.7 & 7.0 < x \leq 8.0 \\ 0.2 & x < 4.5, x > 8.0 \end{cases}$	4.0	-	-	8.5
有机质 (g/kg)	抛物线型	$y = \begin{cases} 0.1 & x < 10 \\ \frac{x-10}{40} \times 0.9 + 0.1 & 10 \leq x \leq 50 \\ \frac{65-x}{15} \times 0.8 + 0.2 & 50 < x \leq 65 \end{cases}$	5	15	55	65
容重 (g/cm ³)	梯型	$y = \begin{cases} \frac{x-1.0}{0.2} \times 0.9 + 0.1 & 1.0 \leq x < 1.2 \\ \frac{1.6-x}{0.2} \times 0.9 + 0.1 & 1.4 < x \leq 1.6 \\ 1.0 & 1.2 \leq x \leq 1.4 \end{cases}$	1.0	-	-	1.6
有效磷 (mg/kg)	S型	$y = \begin{cases} 0.1 & x \leq 5 \\ \frac{x-5}{35} \times 0.9 + 0.1 & 5 < x < 40 \\ 1.0 & x \geq 40 \end{cases}$	0.1	-	-	60
速效钾 (mg/kg)	S型	$y = \begin{cases} 0.1 & x \leq 50 \\ \frac{x-50}{100} \times 0.9 + 0.1 & 50 < x < 150 \\ 1 & x \geq 150 \end{cases}$	20	-	-	200

1.7 适宜性模糊综合评价

根据建立的模糊隶属函数模型,通过栅格计算器计算各评价指标每个评价单元的隶属度,利用累加模型通过栅格叠加计算柑橘适宜性综合指数(CAI),即对应于每个单元的综合评价。

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

式中: CAI 代表柑橘适宜性指数; F_i 为第 i 个因素的评价结果; C_i 为第 i 个因素的指标权重。CAI 值介于 0~1, 其中, 0 表示完全不适合, 1 表示非常适合。

1.8 柑橘适宜性等级划分

根据东坡区实际情况, 将 0.75 和 0.55 作为 CAI 临界值, 晚熟柑橘种植区 CAI 分为 3 个等级, 其中优势区 $CAI \geq 0.75$, 适宜区 $0.55 \sim 0.75$, 不适宜区 $CAI < 0.55$ 。

2 结果与分析

2.1 研究区土壤性状统计学特征

东坡区宜园区 372 个土样中, pH 处于 4.5~7.5 的样点占比为 48.69%, 极强酸($pH \leq 4.5$)样点占比 31.35%, 偏碱($pH > 7.5$)样点占比 19.95%。土壤有机

质含量高于 25 g/kg 的占 11.16%, 处于中等范围内的占 50.36%, 低于 15 g/kg 的占 38.48%。土壤有效磷含量高于 25.0 g/kg 的点位占 27.79%, 处于中等范围内的点位占 14.73%, 低于 15.0 g/kg 的点位占 57.48%。土壤速效钾含量高于 100 mg/kg 的点位占 72.68%, 处于中等范围内的点位占 15.44%, 低于 75 mg/kg 的点位占 11.88%。

2.2 东坡区晚熟柑橘产地适宜性评价结果

综合运用特尔斐法、层次分析法、模糊评价法, 对土壤理化性状、地形条件和气候条件各个指标进行运算, 并使用 ArcGIS 软件对各指标数据进行空间处理, 采用累加模型通过栅格叠加计算分别求出各评价单元的适宜性指数, 形成东坡区晚熟柑橘产地适宜性评价等级图(图 2), 最后统计全区柑橘种植优势区、适宜区和不适宜区的面积。其中, 优势区、适宜区和不适宜区的面积分别为 5 547.02、27 727.37 和 1 398.90 hm², 分别占宜园区总面积的 16.00%、79.97% 和 4.03%。各等级在各乡镇的分布情况见表 6, 其中, 优势区分布于苏祠街道办事处的其他各镇和街道, 秦家镇最多(1 156.64 hm²), 多悦镇和富牛镇

次之(分别为 953.89 hm^2 和 889.78 hm^2)；适宜区分布于各镇和街道，三苏镇最多($5\,688.38 \text{ hm}^2$)，秦家镇、思蒙镇、修文镇、多悦镇和万胜镇次之(面积均超过

$2\,666.67 \text{ hm}^2$)；不适宜区也分布于各镇和街道，三苏镇最多(511.80 hm^2)，思蒙镇和秦家镇次之(分别为 303.51 hm^2 和 210.03 hm^2)。

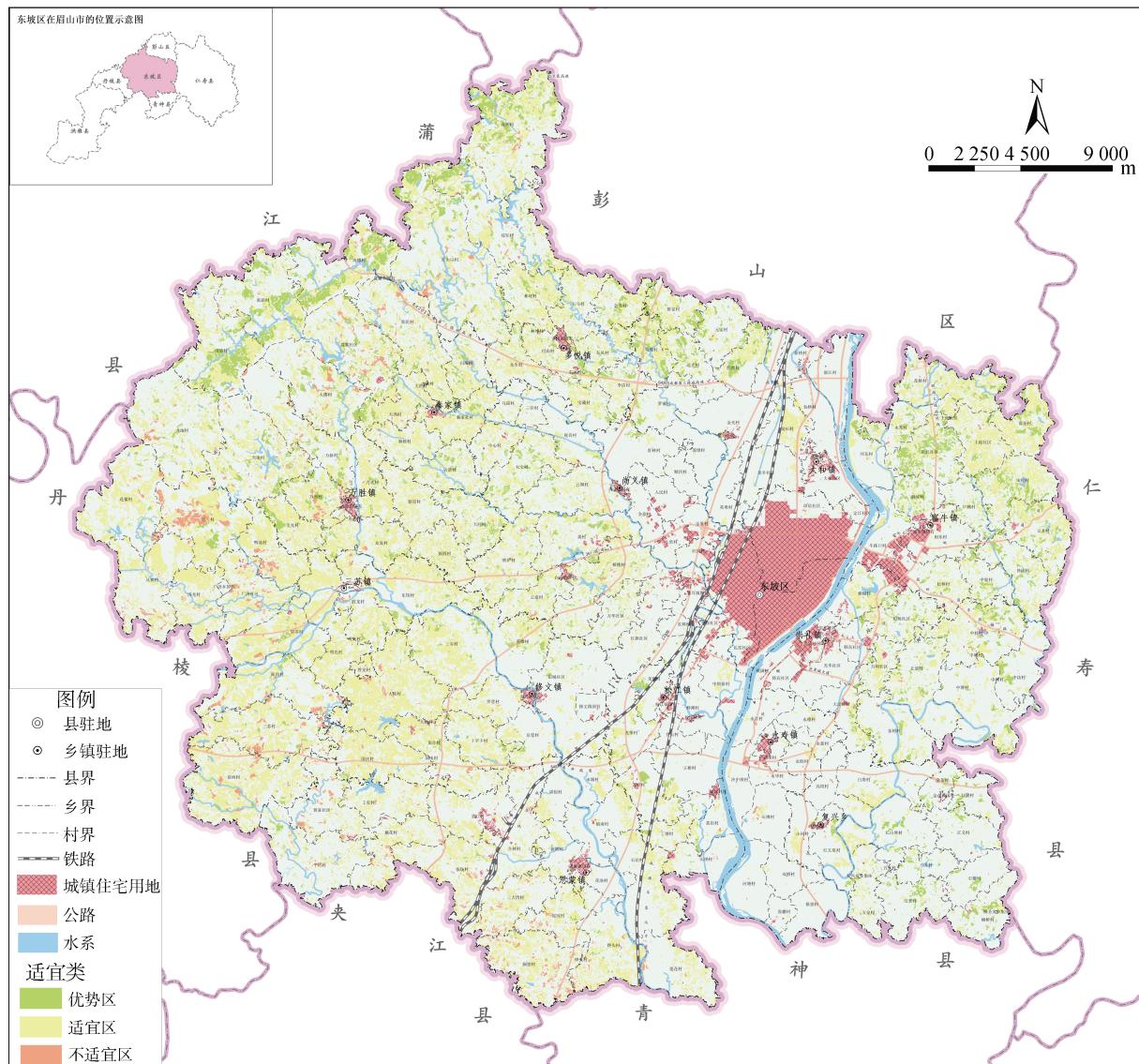


图 2 眉山市东坡区晚熟柑橘适宜类评价图
Fig. 2 Suitability evaluation of late-maturing citrus in Dongpo District of Meishan City

2.3 东坡区晚熟柑橘产地适宜性评价结果验证

为了判断柑橘适宜性评价结果的准确性，开展了现场校核工作，选取不同评价结果的区域调查柑橘产量和品质状况，获得的结果与本研究结果相吻合。

3 讨论

东坡区的年降水量基本在 $1\,000 \text{ mm}$ 左右，年均日照时数 $1\,193.8 \text{ h}$ ，能够满足柑橘生长对水分和光照的需求。4—5 月柑橘开花时段几无雨日，有利开花授粉受精与着果；5—9 月柑橘旺长期，阳光充足，

且无伏旱干热天气发生；冬季极端低温高、日数少；早春升温平稳，有利果实完熟采收。总体而言，该地区大部分区域的气候都适宜晚熟柑橘生长，气候不适宜区主要集中在研究区的中、西部少数海拔相对较高和低洼地区域，冬季的温度较低，柑橘的枝叶可能会被冻伤，相对不利于柑橘的生长。

根据东坡区第三次土壤普查表层样点测试数据，宜园土壤 pH 处于 $4.5 \sim 7.5$ 的样点占比为 48.69% ，说明近一半土壤 pH 适于柑橘生长。有机质含量处于中等及丰富水平的样点占 61.52% ，基本能够满足柑

表6 东坡区各镇(街道)晚熟柑橘适宜性等级面积及比例
Table 6 Areas and proportions of late-maturing citrus suitability grades in towns (subdistricts) in Dongpo District

镇/街道	不适宜区		适宜区		优势区	
	面积(hm^2)	比例(%)	面积(hm^2)	比例(%)	面积(hm^2)	比例(%)
崇礼镇	10.85	0.75	1 024.25	70.58	416.19	28.68
大石桥街道	1.67	9.59	15.36	88.42	0.34	1.98
多悦镇	107.79	2.78	2 811.47	72.59	953.89	24.63
复兴镇	3.48	0.40	550.38	63.30	315.56	36.30
富牛镇	5.86	0.18	2 301.75	71.99	889.78	27.83
秦家镇	210.03	4.74	3 065.34	69.16	1 156.64	26.10
三苏镇	511.80	7.96	5 688.38	88.50	227.71	3.54
尚义镇	24.39	1.05	1 928.06	82.80	376.02	16.15
思蒙镇	303.51	8.94	3 007.15	88.61	82.90	2.44
松江镇	6.94	1.10	517.85	82.00	106.74	16.90
苏祠街道	2.68	93.89	0.17	6.11	0.00	0.00
太和镇	4.09	0.31	926.11	71.12	372.01	28.57
通惠街道	0.01	0.02	55.27	99.27	0.40	0.71
万胜镇	121.48	3.63	2 767.40	82.69	457.78	13.68
修文镇	73.04	2.25	2 976.49	91.86	190.79	5.89
永寿镇	11.28	10.90	91.94	88.84	0.27	0.26
合计	1 398.89	4.03	27 727.37	79.97	5 547.02	16.00

橘生长的需要。有效磷含量低于 15.0 g/kg 的占 57.48%，大多处于缺乏的水平，是限制该地区柑橘生产的土壤因素。

东坡区柑橘园多位于丘陵区和山地区，排水通气良好，根系深，部分平坝区地下水位低的园地存在积水或排水不畅的问题，根部易腐烂。另外，部分区域受柑橘种植盲目性的影响，园区建在低洼地，夏季通风散热不良、冬季易受冻害，是限制该地区柑橘生产的地形因素。

评价结果表明，东坡区 16.00% 的宜园区为优势区，非常适合晚熟柑橘种植；适宜区占比为 79.97%；而不适宜区仅占 4.03%。总体来说，东坡区非常适合晚熟柑橘的种植，这也与实际生产情况相吻合。优势区主要分布在北部黄壤浅丘区和西部紫色土山区，其气候适宜，灌排条件好，土壤理化性状优良，可被用于培育东坡区晚熟柑橘地理标志农产品。建议实施优势区保护利用，注重平衡施肥，适当减少氮肥用量，增加有机肥用量。适宜区主要分布在中部和西部黄壤浅丘区，其气候适宜，灌排条件好，但土壤有机质、全氮和有效磷含量低，部分区域 pH 偏低或偏高、质地黏重，建议采取以下措施进行土壤改良：①注重平衡施肥，增施有机肥，选择环状、条形施肥；②大力发展紫云英、苜蓿、苕子等绿肥作物，增加土壤有机

质和氮素；③对 $\text{pH} < 4.5$ 区域施用碱性肥料或碱性物质如石灰、白云石粉、钙镁磷肥、生物质炭等调理剂， $\text{pH} \geq 7.5$ 区域施用腐殖酸、磷酸二铵、过磷酸钙等酸性肥料；④针对部分坡度大、土层薄的区域，实行坡改梯。不适宜区零星分布在中西部平原、丘陵和山地区，主要受两方面因素限制：①难改变的障碍因子，如地形、温度等地理因素，低洼地导致晚熟柑橘易受低温冻害，地下水位浅导致田间积水现象较为突出，容易诱发果树病害，这类区域建议放弃种植，发展其他经济作物；②可改变的障碍因子，如坡度大、土壤肥力低等，这类区域应针对性地采取土壤改良措施，如立地坡度大、水肥流失严重、土层薄的，实行坡改梯；土壤养分含量偏低、中碱性的，应注重平衡施肥，适当增加施肥次数，选择生理酸性肥料，增加有机肥投入。

4 结论

本研究基于第三次全国土壤普查获取的土壤和立地条件以及气候数据，利用层次分析法、模糊数学方法和地理信息系统技术，定量评价了眉山市东坡区晚熟柑橘适宜性。结果表明东坡区非常适宜优质晚熟柑橘的种植，其优势区和适宜区合计约占宜园土地的 96%，但不同等级的适宜区限制因素存在差异，需采

取不同的组合措施以改善土壤和立地条件, 提高适宜性, 确保优质柑橘的种植和生产。

参考文献:

- [1] 习近平. 加快建设农业强国推进农业农村现代化[J]. 新长征, 2023(7): 4–11.
- [2] 习近平: 锚定建设农业强国目标切实抓好农业农村工作 [R/OL]. (2022-12-24). <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1753107099699487381&wfr=spider&for=pc>
- [3] 张保, 马悦, 孙岳松. 成果导向推进全国土壤三普工作稳步推进[Z/OL]. (2023-05-25). http://www.moa.gov.cn/tztl/dscqgtrpc/mtbd_29140/202305/20230526_6428597.htm
- [4] 邓茜, 方红艳, 张元媛, 等. 四川盆地耕地土壤 pH 空间变异特征及影响因素[J]. 土壤, 2022, 54(6): 1283–1290.
- [5] 蒋发辉, 钱泳其, 郭自春, 等. 基于 Meta 分析评价东北黑土地保护性耕作与深耕的区域适宜性: 以作物产量为例[J]. 土壤学报, 2022, 59(4): 935–952.
- [6] 廖敦平, 王川, 吴芋钢, 等. 眉山市东坡区晚熟柑橘产业区域优势、存在问题及对策分析[J]. 农业科技通讯, 2019(7): 58–61.
- [7] 赖静, 陈仲刚. 眉山市晚熟柑橘产业发展现状、问题及对策建议[J]. 四川农业与农机, 2022(6): 52–53.
- [8] 李潇, 吴克宁, 刘亚男, 等. 基于土地类型的西峡县农用地适宜性评价[J]. 中国农业资源与区划, 2024, 45(1): 45–56.
- [9] 邓丹丹, 周鹏, 邓龙辉, 等. 奉节县柑橘适宜性评价[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(19): 4–8.
- [10] 林正雨, 陈强, 邓良基, 等. 四川柑橘适宜分布及其对气候变化的响应研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(6): 845–859.
- [11] 李有芳, 张超博, 易晓瞳, 等. 云南玉溪柑橘园土壤养分状况与分布特征[J]. 土壤, 2020, 52(3): 487–493.
- [12] 习文勇, 傅佩红. 基于模糊数学的柑橘种植土地适宜性评价[J]. 浙江农业学报, 2022, 34(1): 141–152.
- [13] 林正雨, 陈强, 邓良基, 等. 基于 MaxEnt 和 MCR 的四川省柑橘生产布局模拟[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(9): 64–74.
- [14] 李玲, 肖润林, 陈正法, 等. 湘赣柑橘园气候环境障碍因子及其防改措施[J]. 农业环境保护, 2000, 19(1): 25–28.
- [15] 郑铭洁, 余红伟, 陈志良, 等. 浙西丘陵区柑橘园土壤健康状况及管理对策[J]. 浙江农业科学, 2022, 63(2): 324–329, 362.
- [16] 胡青青, 佃袁勇, 龚赞, 等. 不同栽培模式的纽荷尔脐橙果实品质分析[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(5): 108–115.
- [17] 江思义, 王启耀, 李春玲, 等. 基于专家-层次分析法的地下空间适宜性评价[J]. 地下空间与工程学报, 2019, 15(5): 1290–1299.
- [18] 向莉莉, 陈文德, 廖成云, 等. 基于模糊数学方法的川西南山区农田土壤肥力评价——以田坝镇耕地土壤为例[J]. 河北科技师范学院学报, 2019, 33(2): 60–65.