

基于 CVOR 与 3S 技术融合的赣南脐橙园系统质量评估

厉方桢¹, 赵小敏^{1*}, 谢文¹, 周洋¹, 付鸿昭³, 郭大千², 夏昆²

(1. 江西农业大学国土资源与环境学院/江西省鄱阳湖流域农业资源与生态重点实验室, 江西 南昌 330045; 2. 江西省土地开发整理中心, 江西 南昌 330025; 3. 华东冶金地质勘查研究院, 安徽 合肥 230088)

摘要:【目的】本研究旨在构建针对脐橙园的园地 CVOR 指数模型, 对赣南脐橙园系统进行质量评估。【方法】在生态系统健康评价 CVOR 理论框架下, 以赣南典型脐橙产区寻乌县境内的脐橙园为研究对象, 从人工生态系统的组分出发, 结合自然要素和人为活动等多元数据, 借助 GIS 软件和遥感平台, 研究寻乌脐橙园的质量格局及驱动力。【结果】寻乌脐橙园的基础分指数 (C) 和 VOR 分指数 (VOR) 在空间分布上存在较明显的区别。相关性检验结果显示, 两个分指数间的相关系数为 0.13。CVOR 指数与两个分指数的相关系数分别为 0.60 和 0.84, 表明 CVOR 指数可以作为表征脐橙园的系统状况和基况水平的综合指数。寻乌全县脐橙园的 CVOR 指数介于 0~0.85 之间。高质量的脐橙园主要连片分布于吉谭镇西部、文峰乡东部、澄江镇中部和南桥镇中部, 最优质的地块在吉谭镇的圳下村、古丰村和兰贝村。低质量脐橙园在各乡镇呈散乱分布, 质量最差的地块处于丹溪乡的双村村。交通条件、地块集聚程度和产量是决定寻乌县脐橙园质量及空间分布的主控因子。【结论】寻乌县脐橙园的系统质量总体良好, 但部分脐橙园仍有质量提升的空间。所构建的 CVOR 指数模型可用于表征脐橙园的系统质量, 可为其他园地系统的质量评估提供思路。

关键词: 脐橙园; CVOR 指数; 3S 技术; 人工生态系统; 生态系统质量评价

中图分类号: S666.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0564-3945(2022)06-1304-09

DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2022012302

厉方桢, 赵小敏, 谢文, 周洋, 付鸿昭, 郭大千, 夏昆. 基于 CVOR 与 3S 技术融合的赣南脐橙园系统质量评估 [J]. 土壤通报, 2022, 53(6): 1304-1312

LI Fang-zhen, ZHAO Xiao-min, XIE Wen, ZHOU Yang, FU Hong-zhao, GUO Da-qian, XIA Kun. Ecosystem Quality Evaluation of Gannan Navel Orange Orchard Based on CVOR Index and 3S Technology[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2022, 53(6): 1304-1312

【前人研究进展】江西赣南, 地处“赣南—湘南—桂北”脐橙优势带, 有着得天独厚的气候资源和产业基础, 脐橙年产量百万吨, 是我国最大的脐橙主产区, 也是世界脐橙区域种植面积第一、产量前三的地区^[1]。在自然适宜和政策支持的外部条件下, 经过四十年的长足发展, 日渐成为国内脐橙生产技术的先进, 形成集种植生产、仓储物流、精深加工于一体的脐橙产业集群^[2]。截止 2019 年底, 赣南地区脐橙种植总面积 10.87 万 hm², 产量 125 万 t。随着脐橙种植规模的扩大, 园地种植方式不合理, 结构单一, 管理粗放, 土壤质量下降^[3-4], 危险性病虫害侵袭, 果品质量参差不齐^[5]等问题凸显, 造成脐橙产业发展停滞不前。因此, 目前的研究多致力于解决赣南脐橙产业生产发展面临的瓶颈, 在种植方式、种

植结构、病虫害防治^[6]、土壤肥力^[7]和果品精加工^[8]等方面取得了较大的进展。尽管各领域学者对赣南脐橙关键技术的研究方兴未艾, 取得了一系列的成果^[9-11], 但对脐橙园的系统质量关注较少。作为基础生产单元, 脐橙园的质量高低, 不仅关乎农户的生产收益, 更影响着整个脐橙产业的发展。

【本研究切入点】近年来, 为适应新形势下土地利用结构调整, 国内对种植园地的各种评价研究逐步展开, 包括果园和茶园^[12]等, 但现行的评价多着眼于园地的土壤质量, 即将土壤肥力指标作为评价的主要依据^[13-14]。评价体系中虽偶有气候和地形等要素的加入, 但评价结果仅反映园地的种植基础。作为人工生态系统之一, 脐橙园由自然环境和人类活动组成, 其系统运行具有社会性、不稳定性、开

收稿日期: 2022-01-23; 修订日期: 2022-05-01

基金项目: 国家重点研发计划 (2020YFD1100603-02) 和江西省研究生创新专项资金 (YC2020-B089) 资助

作者简介: 厉方桢 (1993-), 男, 浙江嵊州人, 在读博士, 主要从事农业资源与环境研究, E-mail: lifzhen@163.com

*通讯作者: E-mail: zhaoxm888@126.com

放性和目的性四大特点。故在评价时除了自然生境, 更应充分考虑到人类的生产性活动, 在生态系统的概念之下, 从地块的角度进行园地系统的质量评价。

VOR 综合指数法由 Costanza 等在 1992 年提出, 于 1999 年被国际生态系统健康大会认可, 其核心在于反映生态系统的活力 (V)、组织力 (O) 和恢复力 (R), 在流域^[15]、湿地、森林^[16]、城市^[17] 等生态系统的健康评价中得到了一定的实践和发展。由于其理论主体仅适用于生命系统, 忽略了环境因素, 使其在应用上存在局限。2000 年, 任继周在草地健康评价中将基况 (C) 纳入评价体系, 形成 CVOR 综合评价模型。现今, CVOR 理论在以草地为代表的自然生态系统的健康、安全等评价中得到了一定推广^[18-20], 但鲜有在单一地类的人工生态系统质量评价中的应用。

【拟解决的问题】 本文以赣南典型脐橙产区寻乌县境内的脐橙园为研究对象, 在 CVOR 理论的框架下, 从人工生态系统的组分出发, 综合自然要素和人为活动等多源数据, 构建针对脐橙园的园地 CVOR 指数模型, 借助 GIS 软件和遥感平台, 研究脐橙园的质量分布特征及驱动因子。**【研究意义】** 以为当地脐橙园的比配利用和优化管理提供理论指导, 助力赣南脐橙产业的健康发展, 也为其他各类农用地的系统质量评价提供有益借鉴。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

寻乌县 (24°30'40" ~ 25°12'10" N, 115°21'22" ~ 115°54'25" E), 地处江西省东南端, 居赣、闽、粤三省接壤处, 东邻福建武平县、广东平远县, 南接广东兴宁市、龙川县, 西毗安远县、定南县, 北连会昌县, 下辖 15 个乡镇 (镇), 总面积 23.51 万 hm^2 。属亚热带湿润季风气候区, 冬少严寒, 夏无酷暑, 温暖湿润, 雨量充沛。全县年均气温 19.2 $^{\circ}\text{C}$, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温 5950.1 $^{\circ}\text{C}$, 降水量 1612.9 mm, 蒸发量 1576 mm, 年均日照时数 1823.8 h, 无霜期 284 d。县内地形以山地丘陵为主, 中山、低山、丘陵及岗地呈阶梯状分布, 仅狭小谷地沿河两岸发育; 地势东、西两侧高而中部低, 自东北、西北与东南向西南倾斜。境内土壤为亚热带红壤, 相对贫瘠。作为经济发展的支柱产业, 寻乌县脐橙产量约占赣南地区总量的三分之一。

据江西省第三次土地利用调查数据显示, 截至

2019 年底, 寻乌县共有以脐橙为主的果园地块 22407 个, 计 4.81 万 hm^2 , 占全县园地面积的 95%。空间上主要连片分布于中部和北部, 在南部乡镇的分布则相对分散。全县园地平均面积 2.15 hm^2 , 最大为 218.44 hm^2 , 最小为 0.04 hm^2 。其中, 地块面积在 100 hm^2 以上的园地 16 个, 主要位于文峰乡、吉潭镇和澄江镇。

1.2 数据来源

气候和地形数据: 气候数据主要为年均气温和年均降水的空间栅格数据。基于国家气象站近五年的平均观测值, 以 ANUSPLIN 气候软件插值得到, 空间分辨率为 1 km。太阳辐射数据来自国家气象数据中心 (<http://data.cma.cn/en>)。地形数据包括海拔、坡度和坡向提取自数字模型高程数据 (DEM), 来源于地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>), 空间分辨率为 30 m。

土壤数据: 研究数据来源于 2019 年 10 月进行的寻乌县脐橙园土壤和产量实地调查。根据寻乌县园地分布特征和利用方式, 基于代表性原则, 设土壤样地 127 个 (图 1)。各样地用内径 66 mm 的土钻以五点法采集 0 ~ 100 cm 土层 (薄土层地区取母质以上土层), 制成混合土样, 用四分法保留土壤 1 kg, 标签记录, 置于自封袋中带回。土壤样品在去除根系、残渣和石块等杂物后自然风干, 研磨, 过

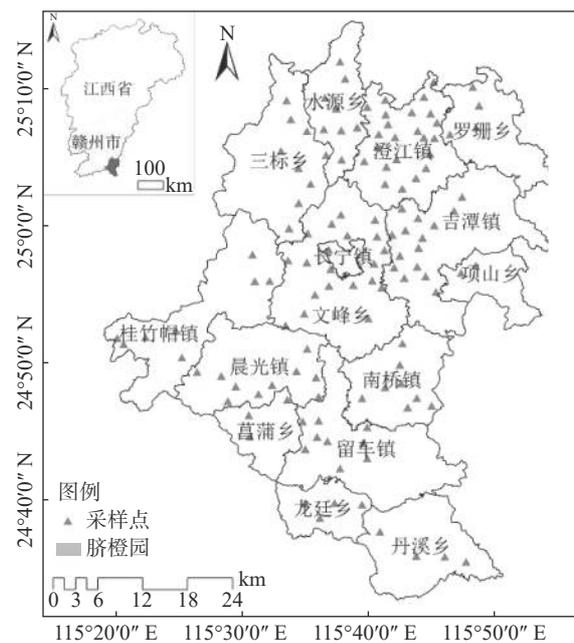


图 1 寻乌县地理位置及样点分布

Fig.1 The location of Xunwu County and distribution of sampling sites

60 目尼龙筛, 根据土壤检测行业标准 (NY/T 1121—2006) 在实验室中检测分析。以重铬酸钾容量—外加热法测定有机质、以 pH 计测定 pH 值、以碱解扩散法测定碱解氮、以碳酸氢钠浸提法测定有效磷、以乙酸铵浸取法测定速效钾等土壤理化性质。所有土壤理化性质经 ArcGIS 软件插值得到栅格面数据集, 随后在此基础上提取地块的土壤性质。土层厚度、质地来源于寻乌县土壤类型图。

土地利用数据: 来源于江西省 2019 年土地利用现状调查结果, 包括水文 (河流和沟渠)、居民点、园地斑等矢量数据, 栅格化后在 ArcGIS 中实现密度分析。

其他数据: 归一化植被指数 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 由 2019 年 12 月的 Landsat8OLI 遥感影像, 来源于地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>), 在 ENVI 软件中经转投影、镶嵌、裁剪后得到, 空间分辨率 30 m。施肥数据来自江西省测土配方施肥数据库。

1.3 CVOR 指数的测算

参照系统的确定是系统评价的基础。在评价自然生态系统时, 通常将与当地环境条件保持协调和平衡的、完全健康的生态系统作为参照^[18]。但在人工生态系统中, 并不存在生态学意义上完全健康的生态系统。考虑到园地的组成和功能, 本文将《赣南脐橙高标准示范果园建设技术要领》作为参照, 把部分建设要求作为参照标准引入评价体系, 实现相应评价指标的构建。

1.3.1 基况 (C) 分指数的确定 基况 (Condition, C), 基况用以表征植物—土壤—大气界面过程的自然基础条件, 主要为水热因素和土壤营养库状况的综合。土壤有机质与大气土壤等指标密切相关, 现多数学者在应用过程中以这一指标代表基况。鉴于单一指标的不确定性和局限性, 本文以土地适宜性评价的结果作为基况的表征。即将地形和土壤要素以脐橙种植的最适条件量化赋值, 以主成分分析法确定权重, 加权递归得到结果。指标量化见表 1, 计算表达式如下:

$$C = \sum_{i=1}^n \omega_i \times f_i$$

式中: C 为基况, 归一化后, 阈值为 0~1; ω_i 为第 i 个评价指标的权重; f_i 为第 i 个评价指标的量化隶属度, n 为评价指标个数, 本文中 $n = 10$ 。

1.3.2 VOR 分指数的计算 活力 (Vigor, V), 活力指生态系统以太能为基础, 进行物质生产和能量流动的速率, 主要表现为初级生产力, 在脐橙园中即表现为产量。目前 NDVI 指数对水稻和小麦的估产研究已取得了相当的成果^[21-23], 但鲜少用于果树的估产。本研究将澄江、吉谭和项山三个乡镇中 10 个村的实际调研平均产量, 与各村第四季度的平均 NDVI 指数相拟合, 基于二者的拟合关系, 结合高标准脐橙园建设的单产标准 (30~60 t hm⁻²), 确定活力指数测算中的关键参数。相关计算表达式如下:

$$V = 1 - |NDVI - 0.48|$$

式中: V 为活力; $NDVI$ 为归一化差值植被指数。

组织力 (Organization, O), 组织力指生态系统基于结构优化实现功能优化的能力, 通常表述为植物群落结构。但在脐橙园中作物单一, 不宜在植物群落层面进行深入。故本研究从园地地块的分布出发, 结合景观学相关概念, 用地块格局和形状指数加以表征。此外, 为衡量地块面积的合理大小, 本研究以高标准脐橙园建设的园地面积标准 (13~20 hm²) 加以参照。得出计算表达式如下:

$$O = PD + |PA - 20|^{-1} + (2 - FR)$$

式中: O 为组织力; PD 为基于面积的地块核密度; PA 为地块面积, 单位为公顷 (hm²); FR 为地块的分形维数。

恢复力 (Resilience, R), 恢复力指生态系统维持自身结构和功能运转的能力, 也可以指抵抗外力胁迫的能力。但在人工生态系统中, 为实现农产品的高效生产, 这一能力由人类活动主导, 核心在于管理投入。故本研究用主要生产性指标加以表征, 包括灌溉和施肥。计算表达式如下:

$$R = SD + TD + HD + FE$$

式中: R 为恢复力; SD 为生产主体, 文中以居民点密度代指劳动力密度; TD 为交通线密度; HD 为水文密度, 包括河流和沟渠; FE 为施肥量, 本文以氮肥施用量计算。

VOR 指数由活力 (V)、组织力 (O) 和恢复力 (R) 三部分结果加权得到, 计算过程如下:

$$VOR = V \times W_V + O \times W_O + R \times W_R$$

式中: VOR 指数为归一化结果, 阈值 0~1; W 为相应分指数的权重, 为避免数据背景的不确定性、自然空间的不均匀性和时间序列的波动性导致的误差,

表 1 CVOR 指数的指标量化
Table 1 Indicator quantization of CVOR index

分指数 Sub-index	准则层 Criterion	指标层 Indicator	量化过程 Quantitative approach					权重 Weight	
			1	0.9	0.7	0.5	0.3		0.1
C	气候	气温/°C)	20 ~ 25	15 ~ 20	25 ~ 30	30 ~ 35	< 15	> 35	0.15
		降水/(mm)	1200 ~ 1 600	1600 ~ 2000	800 ~ 1200	> 2000	400 ~ 800	< 400	0.10
	地形	海拔/m)	200 ~ 400	400 ~ 800	< 200	800 ~ 1000	1000 ~ 1200	> 1200	0.14
		坡度(°)	15 ~ 25	5 ~ 15	0 ~ 5	25 ~ 35	35 ~ 45	> 45	0.01
		坡向(°)	南	东南; 西南	东; 西	平地	东北; 西北	北	0.02
	土壤	土层厚度(cm)	> 60	60 ~ 50	50 ~ 40	40 ~ 20	10 ~ 20	< 10	0.08
		质地	砂质壤土	砂质黏壤土	黏壤土	壤质黏土	粉砂质黏土		0.13
		pH	5.5 ~ 6.5	5.0 ~ 5.5	4.5 ~ 5.0	4.0 ~ 4.5		< 4.0	0.05
				6.5 ~ 7.0	7.0 ~ 7.5	7.5 ~ 8.0		> 8.0	
		有机质(mg kg ⁻¹)	> 40	40 ~ 30	30 ~ 20	10 ~ 20	5 ~ 10	< 5	0.16
		碱解氮(mg kg ⁻¹)	100 ~ 200	200 ~ 300		50 ~ 100	> 300	< 50	0.05
		有效磷(mg kg ⁻¹)	15 ~ 80	80 ~ 200		5 ~ 15	> 200	< 5	0.08
	速效钾(mg kg ⁻¹)	100 ~ 200	200 ~ 360		50 ~ 100	> 360	< 50	0.03	
VOR	活力	归一化植被指数	1 - NDVI - 0.48					1/3	
	组织力	地块密度	PD + PA-20 ⁻¹ + (2-FR)					1/3	
		地块面积 分形维数							
恢复力	居民点密度 交通密度 水文密度 施肥(N)	SD + TD + HD + FE					1/3		

故本文中 $W_v = W_o = W_r = 1/3$ 。

1.3.3 CVOR 综合指数的计算 根据基况指数和 VOR 指数的分指数计算结果, 结合得到 CVOR 综合指数, 计算过程如下:

$$CVOR = C \times VOR$$

式中: CVOR 为综合指数, 阈值为 0~1, 得分越高, 系统质量越高。

1.4 脐橙园质量等级的划分

本研究根据脐橙园生态系统的 CVOR 综合指数, 采用总分值频率曲线法划分园地等级。在频率直方图变化特征的基础上, 结合实际抽样验证结果, 将脐橙园系统质量划分为 5 个等级 (表 2), 据此评价脐橙园的系统质量状况。

1.5 数据处理与分析

在数据获取时为保证数据质量, 地面数据和遥感数据在时间上尽可能保持一致。所有统计数据来自地块转点, 经标准化后在 Excel、Matlab 2014b、GeoDetector 2015 和 ArcGIS 10.7 中进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 分指数的空间特征差异

寻乌脐橙园的基况分指数 (C) 和 VOR 分指数 (VOR) 在空间分布上存在较明显的区别, 具体特征如下 (图 2)。基况分指数在空间上相对均匀。高值地块主要分布在文峰乡中部、南桥镇南部、吉谭镇与文峰乡的交界地区。低值地块多出现在丹溪乡、项山乡和桂竹帽镇南部。脐橙园的 VOR 分指数在空间上有明显的地域性, 总体呈北高南低的趋势, 且高值地块集中分布于中部和北部, 零星分布于南部。高值区连片分布于吉谭镇西部、文峰乡东部及澄江镇, 低值区多处于南部及东、西两侧山区。在地块层面上, 基况分指数的密度统计结果 (图 2a) 在形态上基本接近正态分布。平均值和中位数均为 0.5, 且偏度系数为 0.06, 近似于 0, 表明地块的基况分指数集中于正中央, 具对称性和均匀变动性, 无极端值影响其偏离形态。峰度系数为 0.35, 高于 0, 表明

表 2 脐橙园质量的 CVOR 指数及质量等级
Table 2 CVOR index and quality level of navel orange orchards

质量等级 Quality level	差 Poor	一般 Usual	良好 Well	较优 Good	优 Excellent
CVOR 指数	< 0.2	0.2 ~ 0.4	0.4 ~ 0.6	0.6 ~ 0.8	> 0.8

统计量的集中程度略高于标准正态分布，说明地块的基况条件在总体上差异较小。VOR 分指数的密度统计显示 (图 2b)，在形态上，统计结果呈右偏态分布。中位数为 0.37，小于平均值 0.38，偏度系数为 0.31，说明低 VOR 值的地块数量较多，导致统计形态发生偏离。此外，峰度系数低于 0，为 -0.62，显示统计量倾向于平峰分布，数据的集中程度小于正态分布，说明地块间的 VOR 分指数值存在明显的差异。

2.2 评价指数间的相互关系

本研究中采用 pearson 双尾检验对评价指数间的相关关系进行了分析 (表 3)。结果表明，寻乌脐橙园的基况与活力、组织力、恢复力的相关系数为 0.33、0.01 和 0.27，说明基况和组织力相关性较低。VOR 指数与基况、活力、组织力、恢复力呈极显著正相关，相关系数分别为 0.13、0.70、0.92 和 0.78。

CVOR 指数与基况、活力、组织力、恢复力、VOR 指数也均呈极显著正相关关系，相关系数分别为 0.60、0.71、0.70、0.77 和 0.84。分析相关性检验，土地适宜性评价结果的基况分指数和基于系统评价结果的 VOR 分指数的极显著正相关，但相关系数极低，为 0.13，表明二者的关系极弱，VOR 分指数和基况分指数各自表征不同意义，不能简单地互相替换。CVOR 指数与基况分指数和 VOR 分指数极显著正相关，相关系数分别为 0.60 和 0.84，反映出 CVOR 指数与两个分指数间存在不同程度的密切关系，表明 CVOR 指数可以作为表征脐橙园的系统状况和基况水平的综合指数。

2.3 寻乌脐橙园质量的空间格局

本文结合基况分指数和 VOR 分指数的测算结果，以地块为单位，得到寻乌脐橙园地的 CVOR 指数，诊断脐橙园的质量状况。结果如下 (图 3)：寻乌县

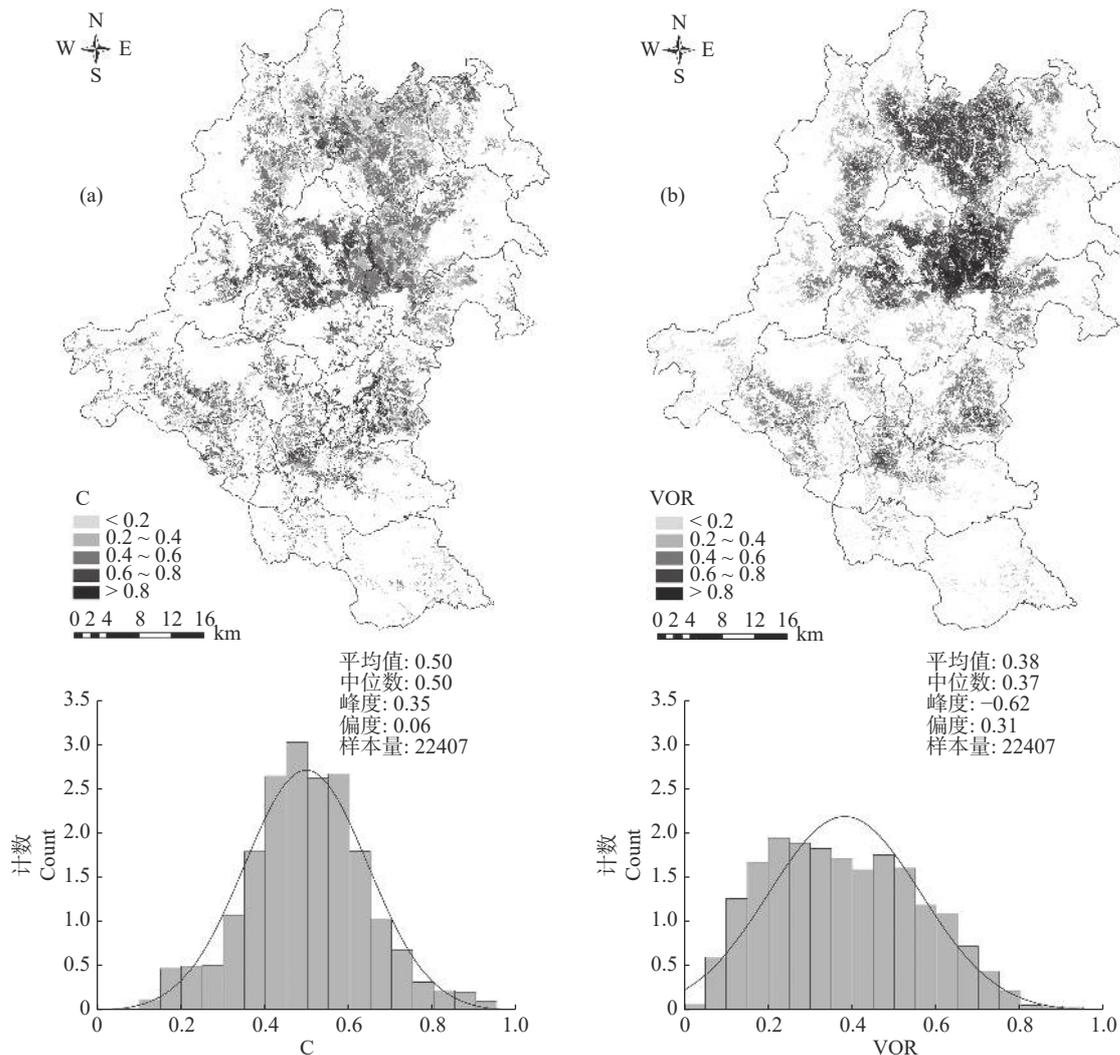


图 2 基况分指数(C)和 VOR 分指数(VOR)的空间格局
Fig.2 Spatial pattern of sub-indices of C and VOR.

表 3 CVOR 指数间的 pearson 相关性 (n=22407)
Table 3 Pearson's correlation coefficient between CVOR indices (n=22407)

	基况 C	活力 V	组织力 O	恢复力 R	VOR 指数 VOR	CVOR 指数 CVOR
基况	1.00					
活力	0.33**	1.00				
组织力	0.01*	0.56**	1.00			
恢复力	0.27**	0.66**	0.47**	1.00		
VOR 指数	0.13**	0.70**	0.92**	0.78**	1.00	
CVOR 指数	0.60**	0.71**	0.70**	0.77**	0.84**	1.00

注: **代表 $P < 0.01$ 水平差异显著, *代表 $P < 0.05$ 水平差异显著

的高质量脐橙园主要连片分布于吉谭镇西部、文峰乡东部、澄江镇中部和南桥镇中部。质量最优的地块多分布于吉谭镇的圳下村、古丰村和兰贝村。低质量的脐橙园在各乡镇均有散乱分布,但在东、西两侧的山区乡镇中分布更多。质量最差的地块位于丹溪乡的双村村。根据地块数量的计量结果显示,不同质量的脐橙园地块在形态上呈单峰的右偏态分布。质量一般的地块最多,约为 9100 块,占总数的 36.16%。质量为优等的地块最少,为 64 个,占总数的 0.25%。从地块面积的统计结果显示,不同质量脐橙园的地块总面积也呈单峰的右偏态分布。质量一般的地块总面积最大,为 1.73 万 hm^2 , 占总量的 34.41%。质量为良好的次之,为 1.72 万 hm^2 , 占总量的 34.18%。质量为优等的脐橙园地块总面积最小,约为 487 hm^2 , 约占 1%。以上结果均显示,寻乌境内目前仅有小部分优质的脐橙园,大部分脐橙园仍有质量提升的空间。此外,在质量等级诊断为差和一般时,脐橙园地块数量的比例高于面积和的比例,而质量诊断结果为良好以上时则相反,这表明脐橙园的系统质量与园地规模密切相关。

2.4 脐橙园质量格局的驱动力

本文借助地理探测器的因子探测,用 q 值度量单变量方差占总方差的比例,量化评价指标对脐橙园 CVOR 质量格局形成的解释力。 q 值域为 [0~1], q 值越大,表示变量对结果的解释力越强。结果如下(图 4): 总体上看,基况分指数所属的 12 个自然因子的平均 q 值为 0.06, VOR 分指数所属的 8 个人为因子的 q 值均值为 0.27, 表明基于 CVOR 指数的质量评价结果受人类活动的影响更大。就单个因子而言,交通密度 (0.48)、地块密度 (0.48)、NDVI (0.48) 三个因子的 q 值最高,居民点密度 (0.47) 的次之,

随后为海拔 (0.34), 速效钾的 q 值最低,为 0.0003。表明脐橙园质量的高低具体受交通条件、地块的集

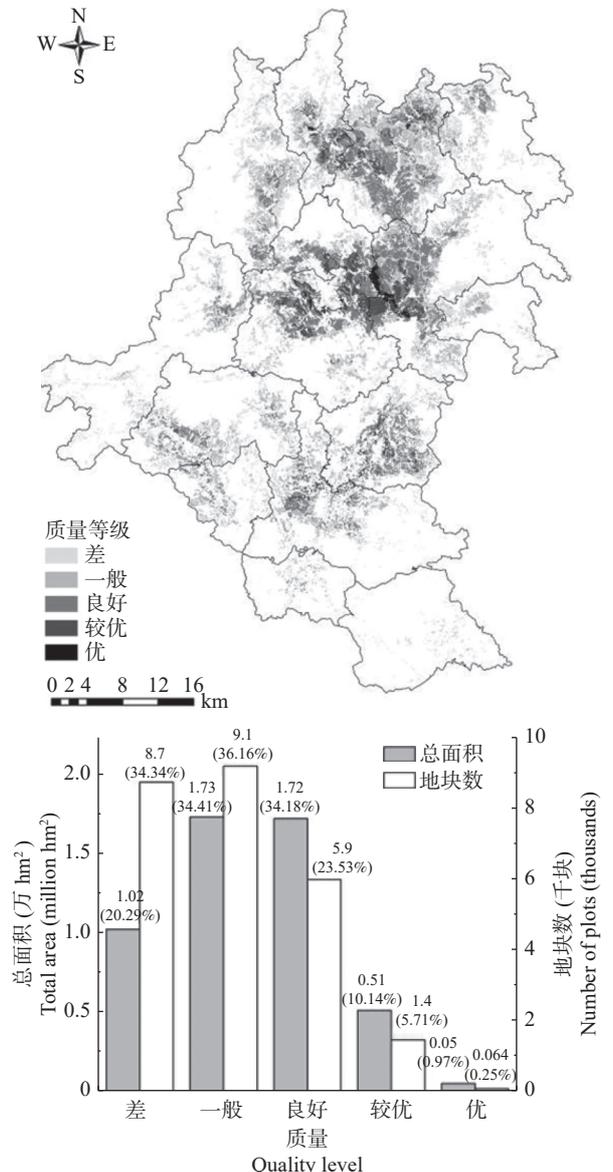


图 3 寻乌脐橙园的 CVOR 指数特征
Fig.3 CVOR index of navel orange orchards in Xunwu.

聚、以 NDVI 指代的产量三方面主导，因而其在空间上的分布形态也与这三个因子的分布高度相似。另一方面也说明，改善交通，集聚布局和提高产量是提升寻乌脐橙园质量的重要途径。

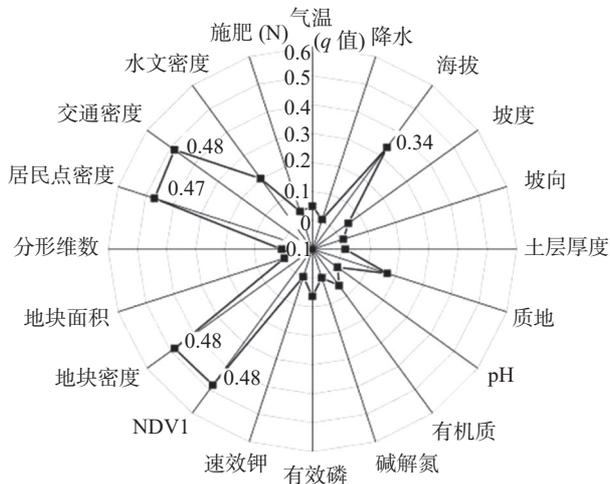


图 4 寻乌脐橙园质量格局的驱动因子探测(q 值)

Fig.4 Detection of drive factors of the spatial pattern of navel orange orchards in Xunwu (q value)

3 讨论

3.1 园地 CVOR 指数构建的理论基础及适用性

指标体系的构建是实现质量评价的关键。多年来，耕地质量的评价工作积累了大量的研究成果和实践经验，发展出一系列系统性的评价体系。但评价多局限于地形、气候和土壤等的自然生境评价，并没有融入过多的社会经济因素，也鲜有从自然生境和人为活动的定量关系入手，构建综合评价体系。目前种植园地所应用的评价体系和量化标准多套用了耕地的，故也存在同样的理论短板。园地系统由自然基础和人为活动两方组成^[24-26]。生产力的形成是生态系统的关键生态过程，是联系人类和园地的关键纽带。本研究基于这一关键过程，由活力、组织力和恢复力三个单项指标组成 VOR 分指数，再依据地上—地下两个界面过程，以适宜性评价为基况分指数修正 VOR 分指数，形成 CVOR 评价指数^[18]。因此，根据系统组分定量关系和关键生态过程评价园地质量，既能一定程度上弥补传统评价体系的理论局限，也可以避免因单方面囊括生物学特性而忽略非生物学特征所形成的片面性结果。

在人工生态系统中，气候、地形和土壤等自然基础具有相当的生态稳定性，而以人类活动为代表的生物学行为则具主观随机性，二者相互耦合维持

生态系统的良性运转。在本文中，评价指数间的相互关系和驱动因子的探测结果均显示，人为因子对脐橙园质量形成的影响较自然因子更强，表明人类的生产性活动主导着寻乌脐橙园质量的形成及其在空间上的分布，这一结果也与客观规律相符。

3.2 评价过程中参照系统的确定

在评价过程中，参照系统的设定不可或缺。参照体系的存在，能为评价指标和评价结果提供统一的衡量标准。当评价对象为自然生态系统时，如森林、草地或河流等，通常以一个原生无干扰状态下的自然系统作为理想的参照系统，评价指标也以参照系统表现出的特征加以量化。当评价对象为人工生态系统时，由于人为活动对自然生境的主观改造，很难找到一个在多方面均具代表性的参照目标，故不能以单一对象作为指标量化的参考。此时，技术标准即为理想的选择。现行农用地质量分等规程及标准作物是耕地质量评价的主要参照，据此对果园进行评价缺乏弹性。目前园地质量评价研究较少，尚未形成评价脐橙园的标准规程。就本文而言，境内已建成的高标准脐橙园的参数存在不确定性，不适合作为参照对象，而在相应的建设标准中是明确的。因此当地的高标准脐橙园建设行业标准或国家标准是评价的理想参照系统。同时，这样构建的 CVOR 综合指数，可以在相同的起点标准上比较不同地区脐橙园的质量状况，具有更强的可应用性。

3.3 空间尺度对园地评价的影响

空间尺度效应是影响指标选取的重要因素，也是评价体系外推和应用的主要限制。地块尺度的评价多直接用产出衡量，关注园地产量；小尺度评价主要选取地形和土壤理化性状等指标，更倾向园地的自然生境；区域及大尺度的评价，则从自然环境、社会条件和经济水平等宏观要素出发，着重于生态系统的整体质量。采用不同的评价体系和评价指标，所得到的结果不具可比性，因此需要对评价体系进行尺度的融合和转换。本研究以地块为单位，在县域尺度上评价园地系统质量。综合地块尺度、小尺度及区域尺度的指标，融入 CVOR 理论中，得到的评价结果兼具不同尺度层面的指标特征，可用于寻乌不同尺度的园地管理。然而，受研究条件所限，所构建的园地 CVOR 评价体系尚有待完善，缺乏经济性要素，各尺度层面的指标也需进一步添加。

4 结论

本研究基于生态系统健康评价的 CVOR 理论, 综合自然要素和人为活动等多元数据, 构建脐橙园的系统质量评价模型, 借助 GIS 平台, 诊断了 2019 年寻乌县脐橙园的生态系统质量状况。结果表明: CVOR 指数与两个分指数间关系密切, 可以作为表征脐橙园的系统状况和基况水平的综合指数。寻乌县高质量的脐橙园主要集中分布于吉谭镇西部、文峰乡东部、澄江镇中部和南桥镇中部, 低质量的多处于东、西两侧的山区县。全县最优质的脐橙园分布在吉谭镇的圳下村、古丰村和兰贝村, 质量最差的脐橙园处于丹溪乡的双村村。交通条件、地块集聚程度、产量是影响寻乌县脐橙园质量水平及空间分布的主控因子。评价结果兼具不同尺度层面的指标特征, 可用于寻乌不同尺度的园地管理。但未涉及经济性指标, 评价体系有待进一步完善。

参考文献:

- [1] 陈亚艳. 基于省际比较视角的赣南脐橙出口竞争力评价[J]. *贵州农业科学*, 2015, 43(11): 194 – 197.
- [2] 吴雪燕. 赣南脐橙产业集群形成和发展阶段地方政府作用研究[D]. 南昌: 江西师范大学, 2014.
- [3] Bagheri B M, Faskhodi A A, Salehi M H, et al. Soil suitability analysis and evaluation of pistachio orchard farming, using canonical multivariate analysis[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 246: 528 – 534.
- [4] Gu C M, Liu Y, Mohamed I, et al. Dynamic Changes of Soil Surface Organic Carbon under Different Mulching Practices in Citrus Orchards on Sloping Land[J]. *PLOS ONE*, 2016, 11(12): e168384.
- [5] He Y Z, Li Z R, Tan Fengquan, et al. Fatty acid metabolic flux and lipid peroxidation homeostasis maintain the biomembrane stability to improve citrus fruit storage performance[J]. *Food Chemistry*, 2019, 292: 314 – 324.
- [6] Guo Q Y, Liu K, Deng W H, et al. Chemical composition and antimicrobial activity of Gannan navel orange (*Citrus sinensis* Osbeck cv. Newhall) peel essential oils[J]. *Food Science & Nutrition*, 2018, 6(6): 1431 – 1437.
- [7] 刘燕德, 熊松盛, 吴至境, 等. 赣南脐橙园土壤全磷和全钾近红外光谱检测[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(18): 156 – 162.
- [8] 黄素婵, 谢金长, 严翔, 等. 聚- γ -谷氨酸改善赣南纽荷尔脐橙品质的研究[J]. *中国果菜*, 2017, 37(5): 22 – 27.
- [9] Peng Z Z, Guan L X, Liao Y B, et al. Estimating total leaf chlorophyll content of Gannan Navel Orange leaves using hyperspectral data based on partial least squares regression[J]. *IEEE Access*, 2019, 7: 155540 – 155551.
- [10] Sun X D, Zhou H M, Zhou W C, et al. Nondestructive assessment of internal quality of Gannan navel orange by photodiode array spectrometer, 2008[C]. 2008.
- [11] Yao M Y, Huang L, Zheng J H, et al. Assessment of feasibility in determining of Cr in Gannan Navel Orange treated in controlled conditions by laser induced breakdown spectroscopy[J]. *Optics & Laser Technology*, 2013, 52: 70 – 74.
- [12] 林小兵, 孙永明, 江新风, 等. 江西省茶园土壤肥力特征及其影响因子[J]. *应用生态学报*, 2020: 1 – 14.
- [13] 刘桂东, 姜存仓, 王运华, 等. 赣南脐橙园土壤基本养分含量分析与评价[J]. *中国南方果树*, 2010, 39(1): 1 – 3.
- [14] 乐丽红, 赵小敏, 霍建明, 等. 基于GIS和NFM的园地多宜性评价研究[J]. *江西农业大学学报*, 2009, 31(5): 933 – 938.
- [15] 张渊. 基于VOR模型的滇池流域生态系统健康多尺度评价研究[D]. 昆明: 云南财经大学, 2020.
- [16] 周泉, 叶茂, 赵凡凡. 基于VOR模型的阿尔泰山林区森林生态系统健康评价[J]. *甘肃农业大学学报*, 2021, 56(3): 137 – 148.
- [17] Xiao R, Liu Y, Fei X, et al. Ecosystem health assessment: A comprehensive and detailed analysis of the case study in coastal metropolitan region, eastern China[J]. *Ecological Indicators*, 2019, 98: 363 – 376.
- [18] 侯扶江, 于应文, 傅华, 等. 阿拉善草地健康评价的CVOR指数[J]. *草业学报*, 2004, (4): 117 – 126.
- [19] 单贵莲, 陈功, 刘钟龄, 等. 典型草原健康评价的VOR和CVOR指数[J]. *草地学报*, 2012, 20(3): 401 – 406.
- [20] 潘竞虎, 王云. 基于CVOR和电路理论的讨赖河流域生态安全评价及生态格局优化[J]. *生态学报*, 2021, 41(7): 2582 – 2595.
- [21] 刘珊珊, 牛超杰, 边琳, 等. 基于NDVI的水稻产量遥感估测[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(3): 193 – 198.
- [22] Huang J, Wang X, Li X, et al. Remotely sensed rice yield prediction using multi-temporal NDVI data derived from NOAA's-AVHRR[J]. *PLOS One*, 2013, 8(8): e70816.
- [23] Jamshidi S, Zand-Parsa S, Kamgar-Haghighi A A, et al. Evapotranspiration, crop coefficients, and physiological responses of citrus trees in semi-arid climatic conditions[J]. *Agricultural Water Management*, 2020, 227: 105838.
- [24] 张效星, 樊毅, 贾悦, 等. 水分亏缺对滴灌柑橘光合和产量及水分利用效率的影响[J]. *农业工程学报*, 2018, 34(3): 143 – 150.
- [25] Chen J, Yu Z R, Ouyang J L, Mensvoort M. E. F. V. Factors affecting soil quality changes in the North China Plain: A case study of Quzhou County[J]. *Agricultural Systems*, 2006, 91(3).
- [26] 朱颖. 基于语义技术的柑橘园土壤环境判定决策支持系统[D]. 重庆: 西南大学, 2014.

Ecosystem Quality Evaluation of Gannan Navel Orange Orchard Based on CVOR Index and 3S Technology

LI Fang-zhen¹, ZHAO Xiao-min^{1*}, XIE Wen¹, ZHOU Yang¹,
FU Hong-zhao³, GUO Da-qian², XIA Kun²

(1. Land Resource and Environment College, Jiangxi Agricultural University/ Key Laboratory of Poyang Lake Watershed Agricultural Resources and Ecology of Jiangxi Province, Nanchang 330045, China; 2. Jiangxi Land Consolidation and Rehabilitation Center, Nanchang 330025, China; 3. East-China Metallurgical Institute of Geology and Exploration, Hefei 230088, China)

Abstract: [Objective] The paper aims to build a CVOR index model for quality evaluation of navel orange orchards of the Gannan navel orange orchard system. [Method] A typical navel orange producing area was selected in Xunwu county of southern Jiangxi Province. With measured data (soil organic matter, available nutrients, yield, etc.) and remote sensing data (temperature, altitude, traffic, etc.), a CVOR index model for navel orange orchards was constructed depending on the structure and composition of the artificial ecosystem. Meanwhile, the CVOR index characteristics of navel orange orchards were further studied by ArcGIS software and remote sensing platforms. [Result] An obvious different spatial pattern of condition (C) and VOR (VOR) sub-indices was posed in Xunwu navel orange orchard. The correlation coefficient between the two sub-indices was 0.13 based on correlation test results. The correlation coefficients between the CVOR index and two sub-indices were 0.60 and 0.84, indicating that the CVOR index could be a comprehensive index to identify the system status and condition level of navel orange orchards. According to the research, the CVOR index of navel orange orchards in Xunwu ranged from 0 to 0.85. High-level navel orange orchards were mainly located in the western Jitan, eastern Wenfeng, the middle of both Chengjiang and Nanqiao. The plots with the highest quality were distributed in the Zhenxia, Gufeng, and Lanbei of Jitan Town. At the same time, low-level orchards were scattered in the townships. The plots with the lowest quality were in Shuangcun village of Danxi Township. Traffic conditions, the degree of land agglomeration and the yield were the main factors that determine the quality and spatial distribution of navel orange orchards in Xunwu County. [Conclusion] The system quality of navel orange orchards in Xunwu County was well overall, but the system quality of some orchards could be improved. The CVOR index we constructed could reflect the system quality of navel orange orchards and provide ideas for the quality evaluation of other orchard systems.

Key words: Orange orchard; CVOR index; 3S technology; Artificial ecosystem; Evaluation for ecosystem quality

[责任编辑: 裴久渤]