

DOI: 10.11766/trxb201412230665

耕地地力评价指标体系构建中的问题与分析逻辑*

赵彦锋¹ 程道全² 陈杰¹ 孙志英³ 张化楠¹

(1 郑州大学水利与环境学院, 郑州 450001)

(2 河南省土壤肥料站, 郑州 450002)

(3 河南省国土资源调查规划院, 郑州 450016)

摘要 耕地地力评价指标选取的主导性、独立性原则在实践中不易落实; 耕地地力评价试图应用到多尺度空间, 却没有适应不同时空尺度的明确任务定位, 从而很少考虑评价指标选择的尺度适应性。本文运用地学、农学、系统科学的观点, 建立了针对上述问题的分析逻辑, 认为: 第一, 耕地地力评价的任务、评价技术路线和评价指标对地力的指示意义均具有时空尺度特征。第二, 评价指标应区分为直接说明作物光、温、水、养分满足程度的指标和间接指示这些条件的指标。大空间范围的耕地地力评价以长时效, 低空间精度为特征, 着重表现区域地理障碍和资源约束, 宜选取稳定性和间接性评价指标; 小空间范围以即时状态的耕地地力评价为主, 并具有较高的空间精度, 评价指标应具有即时性和直接性特征。第三, 土地—作物—管理条件构成土地利用系统的整体, 随土地系统的作物需求、土地和管理条件的变化, 评价指标对耕地地力的意义应辩证分析。第四, 共同说明光、温、水、养分的某一方面性质的自然土地条件和人工土地条件应作为整体对待, 综合为一个指标, 而不应在评价指标体系中分割。

关键词 耕地地力评价; 指标体系; 分析逻辑

中图分类号 S159.9 **文献标识码** A

“耕地地力是当前管理水平下, 由土壤本身特性、自然条件和基础设施水平等要素构成的耕地生产能力”^[1]。2006年, 农业部将耕地地力评价作为测土配方施肥补贴项目重要内容之一在全国全面展开, 成为继20世纪80年代全国第二次土壤普查后期的土壤资源评价^[2-5]、80—90年代的《中国1: 100万土地资源图》评价^[6]、2002年国土部《农用地分等定级》以来又一次普及全国的土地评价^[7]。

当前, 在GIS技术支持下, 对每个评价单元按照指标权重进行加权评分已经成为常见的耕地评价形式, 但评价结果的客观性主要依赖于评价指标体系构建的内在合理性。耕地地力评价指标体系的构建, 具有较强的主观性, 不同的专家可能有不同的认识, 一般以“特尔斐”法平衡参与评价的各专家的意见, 但专家的知识领域、经验、水平等存在各

种差异, “特尔斐”法与评价指标体系合理性之间并没有严格的逻辑关系。有些研究者尝试以“神经网络”、“灰色关联”等纯数学方法构建粮食产量与待选评价指标之间的关系^[8-9], 以此作为评价指标体系构建的依据。但若不考虑“待选指标的选择依据”和“指标之间的独立性”, 无法建立耕地评价结果与耕地地力内涵之间清晰的“专业解释”。

“耕地地力”主要指耕地自然条件和基础设施水平所构成的生产能力, 而粮食产量本身已经包含了现实的社会经济发展和技术因素, 两者的内涵并不统一。不可否认, 参与耕地地力评价指标体系构建的专家均具有不同程度的土壤学或农学的专业背景 and 实践经验。但在耕地地力评价中, 土壤和农学知识只是“基础材料”, 评价本身需要根据评价的目的、任务定位, 构建一个知识表达的有序体系。本文以地学时空观、农作物产量形成机理、土地利用

* 科技部科技支撑计划项目(2012BAD05B02-7)、国家自然科学基金项目(40801080, 40971128)资助

作者简介: 赵彦锋(1977—), 男, 河南洛阳人, 博士, 副教授, 主要从事土壤地理和土地管理研究。E-mail: yfzhao@zzu.edu.cn

收稿日期: 2014-12-23; 收到修改稿日期: 2015-05-08

的整体性和系统性为思维视角, 基于对主流“土地生产力评价”指标体系构建方式及其适用性、当前耕地地力评价存在问题等的分析, 探讨“耕地地力评价指标体系构建”中思维逻辑的特殊性要求, 尝试在有关专业知识与耕地地力物理模型之间构建“思维桥梁”。

1 主流“土地生产力评价”指标体系分析

实践中存在较多与耕地地力既有联系也有区别的概念, 如土壤肥力、土壤生产力、土地生产力、土地生产潜力、农用地自然等, 这里略做说明。“生产力”是借用经济学领域的概念, 一般涉及非自然因素, 如社会经济发展水平和土地利用水平; 但有时也与“生产能力”相混淆, 如Storie指数表征的土壤生产力 (soil productivity) 主要指土壤支持作物生长的能力, 并不涉及非自然因素。“生产潜力”一般是在考虑某些作物生长限制性因素后, 假设其他因素不构成限制的情况下所做的定义, 如光温潜力、气候潜力和光温水土潜力。土壤条件仅是耕地条件的一部分, 土壤肥力评价一般仅就土壤条件作出评价。耕地属于土地的范畴, 但仅指土地中的耕作用地类型。而农用地不仅包括耕地, 还包括林地、草地等其他农用地类型。我国《农用地质量分等规程》中所指的农用地, 定义上“涉及耕地、林地和草地、农田水利用地和养殖水面等”, 但从其为农用地自然等计算所设计的一系列标准耕作制度和标准作物概念来看, 其农用地自然等概念与耕地地力概念具有相同的内涵, 并未涉及林草地等的分等^[7]。

尽管“土地评价”、“耕地评价”、“土壤评价”研究对象所涉及的内涵不同, 它们分别是对土地综合条件、其中的某些或某个条件进行评价, 但就评价方法及相关评价体系思考问题的方式而言, 是相互可借鉴的。此外, 土地或土壤的肥力、地力、生产能力、生产潜力和生产力等概念的内涵存在不同程度的重叠和混淆是当前的一种客观现象, 可分别看作是某一方面的或综合的土地生产能力的表达。下文按它们的指标体系构建方式、评价结果比对方式, 统一纳入“土地生产力评价”框架下进行分析。

若不考虑土地利用的社会经济因素, 从自然生产潜力评价的角度, 国际主流的土地生产力评价

体系可概略分为三类: (1) 不受评价范围限制的分等法。以美国《Land capability classification》(LCC方法) 体系为代表^[10]。其明显优点是反映土地的具体限制类型, 并对限制程度进行定性的区分。随着研究范围扩大, 土地障碍因素虽然增加, 但不会影响该法的应用。类似的方法还有Buol最先提出的土壤肥力分级 (Soil fertility capability classification, FCC) 系统^[11-12]、《中国1:100万土地资源图》评价体系等。其缺陷是不够定量, 此外其评价体系中注重土壤障碍和立地环境障碍等的划分, 而对气候等大尺度变异的土地生产力要素关注不够^[3, 13-14]。(2) 更符合小尺度范围土地评价的评分法。以著名的Storie指数法为代表^[15-17], 能够量化表达土地质量的差异, 但其缺陷是没有明确障碍因素的类别, 不能直观反映土地利用中的具体障碍特征。其关注的重点在土壤和立地环境, 对气候等大尺度因素的地力贡献未进行定量处理。但评分法对“影响土地生产力的各因素的相互作用和相对重要性”处理得较好^[3], 而在越小的评价范围内效果越好, 所以适合小区域尺度的地力定量评价。类似的还有德国种植业和牧业土壤质量评价体系 (Soil quality rating, SQR) 等^[18]。(3) 分类法和评分法的结合。如FAO的《农业生态区法》(AEZ法)^[19], 加拿大的Moss土地潜力评价体系^[20], 我国的《农用地分等规程》等。其共同点是首先在气候差异基础上划分生态区 (也可将气候和地貌等因素一起叠加考虑), 在计算光温潜力基础上, 再采用小空间范围 (评价单元) 的土壤和立地环境评分进行纠正, 理论上构建了一个将大尺度耕地地力因素与小尺度因素结合起来的定量评估模式^[7]。

一些著名的评分法具有明确的评价指标构成体系, 如Storie指数法主要从4个方面: 土壤剖面 (A)、表层质地 (B)、坡度 (C)、其他土壤或景观条件 (X, 包括排水、盐碱、养分、土壤侵蚀、微地形), 按照0~100%的得分评价, 并采用指数乘法获得最终评价结果, 最后乘以100, 使其得分在0~100之内。对于土壤或景观条件指标, 若包含2个以上的二级指标, 它的最终得分为若干二级指标得分连乘的结果^[15-17], 如X中排水得分为80%, 土壤养分得分为70%, 则X项的最终得分为56%。SQR体系规定了8项基本土壤质量指标, 土壤基质 (这是一个对土壤剖面的总体描述,

包括对剖面0~80cm或0~50cm土壤质地分级、土壤母质、土壤质地构型、>2mm土壤石砾含量、0~20cm内的土壤有机质、碳酸盐和石膏等新生体和其他侵入体含量等)、A层厚度、表层土壤结构、亚表层土壤紧实度、根系深度、剖面有效水含量、湿度和积水、坡度和地貌(每个指标得分为0~2,指标的权重取1~3的整数,不同指标权重不同,如土壤基质权重为3,而A层厚度权重为1,总之8项基本指标加权求和总分在0~34;还有13项障碍指标:污染、盐化、钠化、酸化、养分贫瘠、有效土层厚度、干旱、洪涝、陡坡、表层砾石、砂化、不适宜土壤温度、其他障碍(障碍性评价采用连乘法,极度障碍性得分为0.1,无障碍得分为3,如有两个以上的障碍因素,相乘后得分可以<0.1,总的障碍性指数得分在0~3之间)。最终评价指数为基本指数的加权求和乘以障碍性指数的结果(障碍因素的最高评分3也可以用2.94代替,以实现标准的百分制)^[18]。我国的《农用地分等规程》规定各个地方在得到光温潜力或气候潜力后,采用评价单元的农用地自然质量分(取值0~1)为系数进行纠正得到农用地自然等指数,该规程也为全国各分区推荐了自然质量分的评价指标和权重^[7]。

2 耕地地力评价指标体系构建的主要问题

《耕地地力评价指南》^[21]、《耕地地力调查与质量评价技术规程》^[1](以下简称为技术规程)主要推荐的耕地地力指数(取值0~100)计算公式为:

$$IFI = \sum_{i=1}^n (F_i \times C_i) \times 100 \quad (1)$$

式中,IFI为耕地地力综合指数, i 为评价指标, n 为指标总数, F_i 为评价指标隶属度(取值0~1), C_i 为各评价指标权重(取值0~1)。该法属于评分法的范畴。

与其他评分法相比,《技术规程》采用的方法具有以下特点:(1)没有构建明确的评价指标体系,而是列出65项备选指标,各地可根据实际自主构建评价指标体系。但强调指标选取应体现其对“地力的重要性”、“指标本身空间变异性”、“相对稳定性”、“指标的相互独立性”等原则。(2)没有采用类似AEZ和《农用地分等规程》对土地要素的处理方式,将大尺度变异的光温气候要

素与小尺度变异的土壤、立地环境要素分成两个层次,而是采用直接将所有土地生产力要素在一个层次上综合考虑的指标构建方式。(3)与上述评分法相比,耕地地力评价的目的不仅限于县域,还要尝试应用到市域、省域甚至国家层面。

评分法本不适合在较大尺度上使用,但由于下述原因,耕地地力评价工作在大空间范围内采用评分法也存在一定的现实需求:在大空间尺度范围同样存在着对耕地质量差异快捷、且能定量比较的需要。类似于LCC的分类和分等法,虽然不受尺度限制,但毕竟不能满足定量比较的需要;同时先分类,再分等的技术程序即便在GIS环境下,也需要相对繁琐的步骤和人工干预。在GIS技术支持下,基于式(1)的评分法显得简单快捷^[22]。此外,不同尺度耕地地力评价工作的互补性或许能弥补单一评分法的不足:小尺度的耕地评价具有详细的评价单元,强调具体地块得分的高精度;而大尺度的耕地评价需要采取更大的评价单元,不能也不必过于关注具体地块的得分精度,但有望客观反映大范围内不同区域土地生产条件的量化差异。

《技术规程》对耕地地力评价的技术路线阐释非常明晰,但由于没有像Storie方法和SQR方法那样具有明确的评价逻辑,各地在构建耕地地力评价指标体系时,体现了更大的主观性和不确定性,多数没有践行《技术规程》所提出的指标选取原则。表现的问题主要是:(1)耕地地力应该由哪些土地条件解析,认识不统一也不稳定。如广东省2007年列出“地形部位、坡度、耕层质地、土壤pH、有机质、全氮、有效磷、速效钾、耕作制度、排涝能力、灌溉保证率、剖面构型、耕层厚度”;而在2003年曾列出的坡向、障碍层、容重、CEC、潜水埋深等5个指标这次均未出现^[23]。(2)指标之间的物理意义不独立。有些研究选择了多项指标,但指标之间具有密切关联,可能导致评价模型中某些方面的土地条件被重复强调。如Zhang等^[24]在江苏省高邮县选择土体构型、土层厚度、耕层厚度、地下水位、地形、母质、质地、容重、有机质、CEC、pH、速效钾、有效磷、有效锌、有效硼、有效硅、农田基础设施、排水系数、灌溉系数共19个指标对耕地地力进行评价。再如,有些评价体系中同时选择的两个指标之间具有明显的内涵重叠,如田面坡度与地形部位^[25]。(3)对

耕地地力评价结果的时效特征并未慎重考虑,易变化指标重要性甚至大于相对稳定性指标。如有效碳权重为12.9%,而质地和质地构型分别仅为7.8%、1.3%^[26]。(4)缺乏空间尺度的概念。耕地地力评价是对空间上不同位置的耕地相对地力的横向比较而不是对同一块田地所有耕地地力决定因素的纵向解析。其中关键的是不应将一个点,或小空间范围内的经验和规律不加分地代入大尺度继续应用,而是应强调不同空间尺度具有各自的规律。如有机质、有效养分对每一块耕地可能均重要,但在大尺度上未必适宜进入耕地地力的评价指标体系。随评价范围扩大,决定耕地地力相对大小的主导因素在逐渐变化,需要评价者能及时把握这种变化。可见,耕地地力评价不是农学知识的简单运用,地理空间现象变化所固有的尺度特征也是耕地地力评价这一工作的本质特征之一^[27],但几乎没有案例表明在耕地地力的物理表达模型中考虑过空间尺度因素。(5)缺乏系统的观点。单独看每项指标似乎都与耕地地力有关,但人为设置指标的过程就是将土地系统割裂的过程,而以指标加权求和,本身就是将综合的、动态的、复杂的土地系统进行主观简化。在评价指标体系构建中应明确主观和客观的不对称关系,并尽量减少以割裂的方式评价土地条件。

3 “地学时空观”与评价指标分析

3.1 空间尺度

每一个土地评价任务均发生在特定的时空尺度,其评价方法体系中不应该忽略“尺度”概念这一有效的分析工具。对于LCC方法、AEZ方法和《农用地分等》方法,即便随着评价空间范围的扩大,方法本身的应用并不存在逻辑困境;对于类似Storie的评分法,它主要强调A、B、C、X四个方面,其中X的具体指向在不同区域完全可以不同,在较大范围内的评价结果也具有一定的可比性。理论上,即便对于地块尺度,上述评价体系均可以根据每个地块的实际障碍性计算其得分。但对于在一次评价中只能采用一套指标体系的“耕地地力评价”,影响评价指标选择的时空尺度要素至少分2个方面:(1)空间范围增大使土地条件变异多元化,可供选择的指标在增加,从仅仅是土壤养分的差异,到土壤类型的变异、灌溉排水条件的变异、

光温条件的变异等。最常见的后果是评价指标增多,具体指标的普适性降低,导致耕地地力得分被普遍高估,其空间差异性被掩盖:指标没有普遍的指示意义,导致较多评价单元均存在某个或某些指标隶属度得分为满分的情况;同时,非普适性指标的加入还使得用于说明评价单元具体障碍性的指标权重降低;最终评价单元的地力指数得分计算结果普遍偏高,耕地地力的空间差异性一定程度被掩盖。(2)随空间范围增大,评价单元的空间分辨率或精度降低。如县域评价基于1:5万土壤图提取土壤信息,而省域评价一般基于1:50万土壤图提取土壤信息,在国家尺度上可能要用到1:400万土壤图^[28]。评价单元的进一步概化,导致真正的地力障碍因素指标不可能提取:如以1:400万土壤图为评价单元,从图斑中只能提取土壤母质、地貌等具有大尺度变异特征的指标;1:50万土壤图制图单元内土壤剖面构型和质地构型的不一致,也使这些指标实际上难以用于耕地评价。此时,折中的做法只能是选择土壤有机质、养分含量、表层质地等在评价单元内可以求均值或相对均一的指标,进一步导致耕地地力实际障碍性和空间差异性表现不足。

可见,随空间范围增大,耕地地力评价的主要问题是耕地地力高估,从而地力差异性表现不足。笔者认为,贯彻“尺度”观点,可从3个方面分析这一问题:(1)耕地地力评价的指标体系构建应尽量体现耕地地力变异主导因素的尺度依赖特征。如在土种、土属一致的范围内,土壤养分差异和灌溉、排涝条件可能是耕地地力差异的主导因素,而在光温、气候、地貌类型一致范围内,微地貌、地形部位或土壤母质的差异则可能成为主导因素;而在较大的农业气候带内,地貌差异成为主导因素;对于全球范围,仅就农业气候带差异即可大致区分耕地地力。(2)创建在更大尺度上统领土壤障碍特征的指标。无论多优越的农业气候条件,低产土壤均可能出现,甚至大面积出现,因此,不难理解LCC方法和Storie方法对土壤障碍因素的强调。耕地地力评价采取全局一致的评价指标体系,主要问题是不同区域的土壤障碍因素不同,不对指标进行变通只能导致指标构建的逻辑更复杂。但可以借鉴Storie的思路,其中的“A”项条件就是土壤剖面,此外并没有提出具体的,如土壤砂姜、黏盘等障碍类型、障碍层厚度、障碍层出现部位等作为评

价指标。在耕地地力评价中，既然土壤质地构型、剖面构型、土壤障碍类型、障碍部位、障碍层厚度等指标均是对土壤剖面功能的说明，何不统一用一个“土壤剖面”指标进行综合表达。（3）尽量降低评价单元概化对耕地地力评价尺度效应的影响。在土壤图基础上建立土地评价单元已成为主要技术思路，但主要以土壤分类单元为参考的土壤制图单元在对土壤利用的障碍性表述方面具有明显的不足^[14, 29]。土壤图注重于体现土壤学专业的发生分类原理，而不重视与土壤生产性状有关的特征。这一点在小比例尺土壤图上表现更为显著，以至于制图单元内障碍类型和障碍程度完全不同的、具有明显地力差异的耕地土壤却不能得到区分。笔者在另文中提出土壤剖面的耕层（0~20cm）以下部分按其障碍类型、程度归纳为不同“土体构型”，按土体构型对大比例尺土壤图图斑重新归并，形成适合耕地地力评价需要的土壤底图，取得了较好的评价效果^[30]。

3.2 时间尺度

在备选的耕地地力评价指标中，土壤有效养分等在年际间，甚至季度内容易改变；而土壤灌溉排水能力虽然有一定稳定性，但往往在数年或数十年的尺度上会发生重大变化；地形、地貌、土壤障碍因素、气候等发生变化的时间周期更长。此外，即便针对纯粹自然属性限制的土地生产潜力评价也具有特定的土地利用技术背景，后者的进步使得土地自然属性的相对适宜程度也在发生变化，进而影响到最终的评价结果。因而不存在纯粹的自然评价。综上所述，土地生产力评价是具有特定时间尺度背景的任务，应当在评价目的中明确对时间坐标的要求，以便对评价指标体系的构建进行更清晰的指导。

《农用地分等规程》认为土壤养分指标容易受到人为作用而改变，因此未采纳。美国的LCC评价不考虑那些易于变化的管理因素，仅就土壤障碍类型和程度对土地条件进行评估，其结果的长期有效性也得到认可。但土地生产力的即时状态的评价可能更有益于短期的土地利用的精准管理，如测土配方施肥有效的的时间尺度一般为1年或1个作物生长季。同时，一些学者强调土地利用方式对土地生产力的影响应能得到及时评估，以利于各种管理政策和经济计划的实施^[31]。因此，赋予土地生产力评价以高的空间精度和时间精度符合自然资源精准管

理的强烈需求。可见，土地评价的时效性主要应根据应用目的、评价任务而确定，并没有固定要求。

《耕地地力评价指南》将“评价指标应具有时间序列上相对稳定性，以使评价结果能够有较长的时效”作为确定选取指标的原则之一^[21]。但在实践中，不同时效的评价指标却经常被混合使用，从而模糊了耕地地力评价适用的时间尺度。笔者认为，耕地地力评价工作的特点是意欲构建多空间尺度的评价体系，不同空间尺度评价任务应是互补的，而不是重复的：县域空间尺度的评价应强调农业精准管理的需要，反映耕地地力的现状为主，培肥、灌溉、排涝等中低产田改良和农田基本建设工作对地力的影响应及时体现。而市域、省域以及更大尺度上，应着重宏观的资源约束性评价，反映长期作用的自然障碍性特征，如土体构造、土壤可蚀性、水资源总量、光热资源总量等。而且，就耕地地力的解释模式而言，当空间尺度跨度过大时，土壤养分、土壤有机质等指标对于地力大小的比较并无实际意义。如河南省的潮土作为系统分类中的雏形土，其发育的时间有限，与其他类型土壤相比，潮土土壤有效养分和有机质含量均相对瘠薄，但这并不妨碍它成为重要的农业高产区，这与该区深厚的土层、丰沛的光热和地下水资源密不可分；因此，当跨区域与其他土壤类型相比时，强调土壤养分和有机质并无太大意义。再如灌溉保证率，它是一个依赖人为判断的主观性指标，一则在跨区域比较时，往往无法统一判断标准；二则在强烈人为作用下，灌溉也是易变因素。因此，对于省级以上的大尺度评价，不如用水资源的农业可利用总量来说明区域灌溉能力。

4 “作物生长需求”与评价指标分析

基于计算机模拟的作物生长机理模型需要解释每个指标对作物生长的具体物理意义，并且模型关注随时间变化作物—指标之间的反馈关系，是一种直接的作物产量模拟方法^[32-33]。但由于数据的获取性和模型的地域适应性问题，该法还难以应用于广阔区域的土地评价。相对于作物生长机理模型法，针对农业利用的土地生产力评价通过对土地条件分析间接实现：即通过土地利用的需求与土地条件的“比配”，根据二者相吻合的程度进行评价。其中关键是根据土地利用的需求，找到相应的土地

条件, 并选择“指标”说明土地条件, 构成一个评价体系的知识解释模型^[32-35]。毫无疑问, 每个评价指标也应该在评价模型中具有明确的、独立的物理意义。世界上广泛存在的各种土地生产力评价体系的结果难有可比性, 外在表现是其评价方法、采用数据和适用的尺度不同, 但根本上在于它们对评价对象的主观定位以及相应的知识解释模型并不完全相同。如果着重于评价土壤对植物生长的限制性, 则如Muller^[14]所述, 其指标可分为三组: 第一是土壤的温度和水分分区, 主要取决于气候条件, 干旱、湿润或过短的生长期成为植物生长限制的首要因素, 但也受土壤自身水分储存能力的影响: 在适宜农业生产的气候区内土壤的储水能力是决定其生产性能的关键。第二是土壤内部缺陷, 包括影响作物扎根和营养的条件: 土层浅薄、土壤中的黏盘、土壤毒害、盐碱和营养贫乏等。第三则是地形, 某种意义上可以看作土壤的外部性质, 对土壤侵蚀、道路通达性和机械作业程度等均有影响。但如果关注的重点更为广泛, 则评价指标体系中可能涉及气候灾害、植物病虫害和洪涝灾害等, 如FAO在其旱地农业评价框架中按“作物生长需求”、“作物生长的管理需求”、“自然保护需求”、“土地改良需求”四个方面比对土地条件^[36]; 其中作物需求从能量(光照辐射)、温度、水分、通气、营养、扎根条件、土壤盐分、毒害以及气候灾害、病虫害、洪水等方面考虑。而且“管理需求”中不仅列入了土壤耕性、机械化可能性、土地平整性, 也列入了生产时间、交通、位置、市场、劳力等, 可见FAO的评价对象是一个更广阔和综合的土地利用系统。随着人类认识进步和社会背景的变化, 还逐渐出现了服务于农用地保护的土壤评价与定位评估(Land evaluation and site assessment)和服务土地可持续利用决策的土壤多功能评价、土地多功能评价等^[37-41], 进一步使土地利用需求和土地条件的比配复杂化, 相关内容超出本文讨论范畴, 不做叙述。耕地地力评价《技术规程》所列举的评价因子总集中并不包含病虫害、气象灾害等因素, 除了抗旱、排涝、轮作制度和梯田之外, 也不关注其他影响管理的社会经济因素。可见, 相对于FAO的土地适宜性评价、土地评价与定位评估、以及土地多功能评价, 耕地地力评价的目的诉求显然要简单, 其所关注的对象是在气候、土壤基础上的适当延伸, 即便涉及管理条件, 也是

物化的管理条件, 即农田基本建设的水平, 而所谓技术、劳力、资金投入等均不在考虑的范畴。因此, 与耕地地力所匹配的土地条件主要是作物自身生长需求的条件和部分物化了的基础设施条件, 如影响土地平整性、机械化作业的地形条件、梯田和灌排系统等。但这些土地条件如何进入耕地地力的知识解释模型, 需要用什么样的指标去表达, 它们在该模型中的具体意义如何, 需要一个清晰的分析逻辑。既然耕地地力所关注的主要是作物需求被满足的程度, 本文就尝试从作物的生长机理分析切入这一问题。

从作物生理学分析, 作物产量形成的直接因素主要是光、温、水、养分, 养分又可分为气体养分(主要是CO₂)和土壤矿质养分, 当然温度不仅是气温, 水分也不仅是大气中的水汽, 还包括土壤温度、土壤气, 土壤水, 即土壤内部水、气、养分、热的调节能力。所以作物生长的直接影响因素可以进一步概括为光、温、水、土、气。其中由于大气的均质性和流动性, 可以在较大的尺度范围内不予考虑其对耕地地力相对差异的影响。那么耕地地力问题很大程度上就是作物的光温水土潜力问题, 耕地地力评价问题就转化为如何表述光、温、水、土限制性的问题。上述认识有助于进一步确定评价指标在评价模型中的内涵, 即对于作物生长的具体物理意义: (1) 作物生长并不直接需要“地貌”或“母质”等, 而是需要“光、温、水、土”等具体的供应。(2) 地貌、地形部位、母质等要素仅仅是因为能够间接反映光、温、水、土性状才显示它们对耕地地力的意义, 如不同地貌类型上发育不同的土壤, 具有不同的灌溉排涝条件。(3) 在确定评价任务为状态性评价时, 如果已经有具体的土壤养分、土体构型、土壤质地、灌溉模数、排涝模数等指标, 地貌和母质等间接指标在评价模型中已经失去具体的物理内涵指向, 也就失去作为指标的必要性。据此, 可将具体的光照、温度、土壤属性、水分供应(降水、灌溉、排涝)指标定义为直接耕地地力指标, 而将地貌、母质、地形部位等定义为间接耕地地力指标, 仅当直接的作物生长条件不可获取时, 间接土地条件作为替代, 才可能被赋予对评价有意义的内涵。

结合本文3.1和3.2部分的论述, 间接耕地地力指标适用于空间范围跨度大、耕地评价单元粗略, 时效长的耕地潜在生产力评价。而直接耕地地力指

标适用于表达耕地地力的现状及其详细的空间差异。当然，地形地貌等间接耕地地力指标也可用以反映管理技术应用的条件，如对机械化作业的可能性进行评估等。但此时它在评价指标体系中的内涵已经非常狭窄，即不再指示自然条件，而是人工条件，其权重也应仅从该项人工条件对地力影响的相对重要性角度进行分析。

5 土地利用的整体观和系统观与评价指标分析

5.1 “土地—作物—管理”构成土地利用系统的整体

FAO的土地适宜性评价以确定土地利用目的为评价前提，确定了“土地—作物”系统的整体性观点^[32-33]，可用以指导土地评价指标的隶属度判别；此外，土地评价指标与作物生长的适应性关系，还取决于土地系统本身的特点。一个指标对地力的重要程度，不仅取决于该指标本身，还取决于其他指标是否发生明显的变化，张凤荣^[42]阐述了我国不同区域土壤质地构型、耕层质地、土壤有机质在农用地自然质量分评价指标体系中权重和隶属度变化的原因，充分体现了指标作用随地理空间变化的辩证分析观点。同样，辩证的观点也应作用于随时间发生变化的评价指标的权重和隶属度分析：在土地利用系统中，作物需求、土地管理的人工条件，以及作物需求和管理条件的协调程度都处在动态变化中，这使得具体土地条件指标对地力的作用意义在不断发生变化。举例如下：在耕地评价中，通常对质地优劣的排序为壤土 > 黏土 > 砂土，而且通常认为中壤土最优，这一判断在过去是正确的。在20世纪90年代以前中壤土在“养分和水分保持能力”与“耕作适宜性”两者之间取得了最佳平衡，但上述判断并不一定适用于当前，或者并不适应于所有地区。自20世纪90年代以来，河南省砂姜黑土区、黏质潮土区的农作物产量不断突破，虽仍较传统高产区产量低，但差距在逐渐缩小；以河南省粮食单产最高的焦作市、壤质潮土分布为主的新乡、砂姜黑土主要分布区驻马店、黏质潮土主要分布区周口为例作比较：1993年焦作、新乡、驻马店、周口小麦单产分别为5 968 kg hm⁻²、4 753 kg hm⁻²、3 786 kg hm⁻²、4 544 kg hm⁻²；当年全省小麦平均产量为3 971 kg hm⁻²，砂姜黑土主产区小麦单产

在中等以下水平，黏质潮土分布区尚低于壤质潮土分布区^[43]；2013年焦作、新乡、驻马店、周口小麦单产分别为7 667 kg hm⁻²、6 791 kg hm⁻²、6 447 kg hm⁻²、7 439 kg hm⁻²，与当年全省小麦平均产量6 012 kg hm⁻²相比，砂姜黑土区小麦产量在全省处于中等偏上水平，黏质潮土主要分布区已明显超过壤质潮土分布区^[44]。同样，玉米单产的变化也有类似趋势。在其他相关研究中，也可找到砂姜黑土小麦、玉米产量发生明显变化或具有更大生产潜力的论据，如杨青华^[45]、高尔明等^[46]研究表明，砂姜黑土虽然土质黏重，但玉米根系在整个土壤剖面中分布比较均匀，远较潮土根系下扎深，同时也较潮土的理论产量更高^[46]。事实证明，一方面黏质土壤确实表现了较大的增产潜力；而同为黏质质地，由于黏土矿物组成不同，黏质潮土耕性和水分渗透性优于砂姜黑土的“僵黏”，黏质潮土生产潜力表现更高^[42]。可见，固守壤质土壤优于黏质土壤的判断已不符合事实，应当辩证对待。从土地利用系统性的观点出发，笔者认为上述变化原因有三：（1）历经30年后，当前作物的生产潜力已达到吨粮田，甚至吨半粮田的标准，是第二次土壤普查时期耕地单产的2倍~3倍；相应地，壤土所能提供的保肥供肥能力已不能满足高产、超高产作物的需求，相反黏质土壤保肥能力更强，而且更符合当前作物管理上追肥次数减少的要求。（2）农业机械化基本普及，因质地过黏影响耕作，导致缺苗、断苗的现象大为缓解或基本消失。（3）砂姜黑土的僵、涝、瘠和黏质潮土区的僵、涝、盐（碱），核心在水土关系，土壤改良的核心在于水分运筹，由于农田水利建设和防洪泄洪能力提高、地下水位下降、灌溉和排涝的控制能力提高，水土关系根本改观，黏质土壤在水分运筹上的不利得到抑制，水、气、热不协调的状况得到显著改善。基于上述分析，土地评价适宜指标隶属度的判断不应是一成不变的，需要坚持“土地—作物—管理”的系统性、整体性观点，辩证对待。

5.2 自然条件和人工条件应作为“一体”对待

土地系统的整体性还意味着应将人工条件和自然条件整体对待。举例如下：（1）立地条件中不能将地形坡度与人工梯田割裂考虑：若在考虑地形坡度的影响时，忽视了人工梯田的作用，就严重低估了土地的生产力；而将地形坡度和梯田化率同时选入指标体系，无疑造成评价逻辑的混乱；如果综

合考虑了地形坡度这一自然要素与梯田改造这一人为要素,统一一个“土壤侵蚀力”指数后再代入指标计算体系则更合理。(2)水分指标的统一:作物需水、大气降水、灌溉、土壤蓄水和排泄条件的一体评价。作物生长所需的水分供应具有多尺度特征,即大气降水、实际灌溉水和土壤的蓄排调节。在应用AEZ方法估算农用地生产力时,往往假设具有灌溉条件的水浇地能充分满足其所需水分,从而在光温生产潜力基础上采用立地条件的适宜性指数(包括土壤、地形等地块尺度的具体条件)校正,得到水浇地生产力;当评价对象为旱地时,假设其水分供应完全来源于大气降水,在气候生产潜力基础上用立地条件的适宜性指数校正,得到旱地生产力。但就实际而言,在我国主要农业区很少有土地满足上述两种假设条件。因此,在《农用地分等规程》中规定“按灌溉保证率在光温生产潜力和气候生产潜力之间内插得到土地生产潜力指数”,然后用农地自然质量分(取值0~1,是对地貌、水文、土壤、农田基本建设加权求和的结果)校正;或在农用地自然质量分评价因素中合理确定灌溉保证率的权重,而后用农用地自然质量分校正光温生产潜力得到农用地自然等指数(相当于耕地地力)。而在耕地地力评价的《技术规程》设置的体系中对此并未说明,更多案例则同时选择了大气降水和灌溉保证率作为指标,在指标加权求和这样的综合指数计算模式下,其逻辑表达的合理性欠妥。AEZ方法和《农用地分等规程》对水分供应指标的处理逻辑更具合理性,但其处理方式仍有进一步改善的可能:作物水分需求的满足水平应该取决于3个因素:降水、灌溉、土壤调节能力。在光温和气候生产潜力之间内插,忽视了土壤的影响;而将灌溉和其他立地环境、土壤条件合并考虑,一则可能在强调灌溉保证率时忽视了降水的影响,二则其加权求和模式也意味着将灌溉与土壤相互独立。笔者认为,当评价要求的空间精度较高,且基础土壤数据可以获得,本着更精确和更简单地表述土地对作物的水分供应能力,应在作物需水估算基础上,对大气降水、地面灌溉条件以及土壤蓄水能力进行综合评估;即使在无法考虑土壤的影响时,也应将大气降水与灌溉统一考虑。

6 结 论

本文运用地学的尺度观点、农学的作物生长机理、系统科学的整体论和系统论观点,探讨了耕地地力评价指标体系构建中的若干逻辑问题,主要得到以下结论:(1)大范围空间尺度的耕地评价应定位于反映耕地宏观的资源约束条件和长期演化趋势,不能也无法追求详细的空间精度,但其评价结果时效长。反之,小范围空间尺度的耕地评价应定位于服务农业的精准管理,要求较高的时空精度。(2)小空间尺度的耕地地力评价,应强调选取影响作物生长的直接性指标,即直接反映作物生长对光、温、水、土需求的满足程度的指标;大空间尺度的耕地地力评价,应强调选取影响作物生长的间接性指标,即那些在较大的时间和空间尺度上影响光、温、水、土的再分配,因而能间接指示光、温、水、土相对适宜程度的指标。在同一套评价指标体系中,如果同时选取直接性指标和间接性指标,将使耕地地力物理模型的解释产生逻辑矛盾。(3)耕地地力评价和其他服务于种植业的土地生产力评价均应强调土地—作物—管理的系统性,即不仅以作物的需求为土地条件适宜性的判断标准,同时也应考虑随着土地自然条件的综合变化和管理技术的进步,单项土地条件适宜程度会发生变化。(4)耕地地力评价或者其他的土地生产力评价中均不应将土地的自然条件和人工条件割裂开来,对于说明光、温、水、土同一方面的自然和人工条件,应综合为一个指标。如降雨、灌溉和土壤排蓄能力共同反映土地水分供应和调节能力,人工梯田和地形、坡度共同反映土壤可蚀性等。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国农业行业标准. 耕地地力调查与质量评价技术规程(NY/T 1634-2008). 2008. Agriculture sector standard of the People's Republic of China. Rules for cultivated land quality survey and assessment (NY/T 1634-2008) (In Chinese). 2008
- [2] 何同康. 贵州省土壤资源评价方法的初步研究. 土壤学报, 1980, 17(2): 156-164. He T K. A primary research on the method of evaluating soil resources of Guizhou Province (In Chinese). Acta Pedologica

- Sinica, 1980, 17 (2): 156—164
- [3] 何同康. 土壤(土地)资源评价的主要方法及其特点比较. 土壤学进展, 1983 (6): 1—12. He T K. Primary methods for assessing land (soil) resources and their characteristic comparison (In Chinese). Advances in Soil Science, 1983 (6): 1—12
- [4] 徐琪. 关于耕种土壤资源评价问题. 土壤, 1985, 17 (4): 120—124. Xu Q. The problem of evaluating cultivated soil resources (In Chinese). Soils, 1985, 17 (4): 120—124
- [5] 中华人民共和国农业行业标准. 全国耕地类型区、耕地地力等级划分(NY/T 309—1996). 1996. Agriculture sector standard of the People's Republic of China. Classification of type regions and fertility of cultivated land in china (NY/T 309—1996) (In Chinese). 1996
- [6] 孙鸿烈. 中国自然资源综合科学考察与研究. 北京: 商务印书馆, 2007. Sun H L. Comprehensive science investigation and researches on Chinese natural resources (In Chinese). Beijing: Business Press, 2007
- [7] 中华人民共和国国家标准. 农用地质量分等规程(GB/T 28407—2012). 2012. National standard of the People's Republic of China. Regulation for gradation on agricultural land quality (GB/T 28407—2012) (In Chinese). 2012
- [8] 王瑞燕, 赵庚星, 陈丽丽. 基于ANN—产量的耕地地力定量评价模型及其应用. 农业工程学报, 2008, 24 (1): 113—118. Wang R Y, Zhao G X, Chen L L. Quantity evaluation model of cultivated land productivity and its' application based on artificial neural network and crop yield (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2008, 24 (1): 113—118
- [9] 郭娜, 郭科, 吴金炉, 等. 灰色关联度分析法在土地评价中的应用. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2007, 34 (6): 626—629. Guo N, Guo K, Wu J L, et al. Application of the grey related theory to land evaluation (In Chinese). Journal of Chengdu University of Technology: Science and Technology Edition, 2007, 34 (6): 626—629
- [10] Soil Conservation Service, U.S Department of Agriculture. Land capability classification. Agricultural Handbook No.210. USDA, Washington, DC, 1961
- [11] Buol S W, Sanchez P A, Cate R B, et al. Soil fertility capability classification: A technical soil classification system for fertility management//Bornemisza E, Alvarado A. Soil management in tropical America. Raleigh, North Carolina: North Carolina State University, 1975: 126—141
- [12] Sanchez P A, Palm C A, Buol S W. Fertility capability soil classification: A tool to help assess soil quality in the tropics. Geoderma, 2003, 114: 157—185
- [13] Riveira I S, Maseda R C. A review of rural land-use planning models. Environment and Planning B: Planning and Design, 2006, 33: 165—183
- [14] Mueller L, Schindler U, Mirschel W, et al. Assessing the productivity function of soils: A review. Agronomy for Sustainable Development, 2010, 30: 601—614
- [15] Storie R. Storie index soil rating. Oakland: University of California Division of Agricultural Sciences. Special publication 3203. <http://anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/3203.pdf>
- [16] Storie R. An index for rating the agricultural values of soils. Bulletin 556. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1932
- [17] O' Geen A T, Southard S B. A revised Storie index modeled in NASIS. Soil Survey Horizons, 2005, 46 (3): 98—109
- [18] Mueller L, Schindler U, Behrendt A, et al. The muencheberg soil quality rating (SQR): Field manual for detecting and assessing properties and limitations of soils for cropping and grazing. http://www.zalf.de/en/forschung/institute/lwh/mitarbeiter/lmueller/Documents/field_mueller.pdf, Leibniz—Centre for Agricultural Landscape Research (ZALF), Muencheberg, Germany, 2007
- [19] FAO. Agro-ecological zoning guidelines. Rome, 1996
- [20] 刘黎明. 土地资源学. 第5版. 北京: 中国农业大学出版社, 2010. Liu L M. Land resource science (In Chinese). 5th ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2010
- [21] 全国农业技术推广服务中心. 耕地地力评价指南. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2006. National Agriculture Technology Extension and Service Center. Guidelines of cultivated land productivity evaluation (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2006
- [22] Costantini E A C. Manual of methods for soil and land evaluation. Enfield, NH, USA: Science Publishers, 2009
- [23] 汤建东. 广东省耕地地力评价指标的选取与优化. 广东农业科学, 2009 (4): 89—91. Tang J D. Indicators selection and optimizing about cultivated land productivity evaluation of Guangdong Province (In Chinese). Guangdong Agriculture Science, 2009 (4): 89—91
- [24] Zhang B, Zhang Y, Chen D. A quantitative evaluation system of soil productivity for intensive agriculture in China. Geoderma, 2004, 123: 319—331

- [25] 陈宝政, 蔡德利, 姜国庆, 等. 黑龙江垦区耕地地力评价指标体系的建立. 中国土壤学会第十一届全国会员代表大会暨第七届海峡两岸土壤肥科学术交流研讨会论文集(中). 北京: 中国农业大学出版社, 2008. Chen B Z, Cai D L, Jiang G Q, et al. Establishing an evaluation index system of cultivated land productivity for Heilongjiang reclamation area (In Chinese). Conference proceedings of 11th national congress of Soil Science Society of China and 7th academic exchanges on soil and fertility between both sides of the Taiwan Strait (middle). Beijing: China Agricultural University Press, 2008
- [26] 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. Yuan X J, Zhao G X, Zhu X X. Linkage of evaluation index system for cultivated land fertility evaluation in plain and hill regions (In Chinese). Transactions of the CSAE, 2008, 24(7): 65—71
- [27] Rossiter D G. A theoretical framework for land evaluation. *Geoderma*, 1996, 72: 165—190
- [28] Fischer G, Velthuizen H V, Shah M, et al. Global agro-ecological assessment for agriculture in 21st century: Methodology and results. Rome, 2002
- [29] 林培. 中国耕地资源与可持续发展. 南宁: 广西科学技术出版社, 2000. Lin P. Sustainable development of cultivated land in China (In Chinese). Nanning: Guangxi Science and Technology Press, 2000
- [30] 赵彦锋, 张化楠, 程道全, 等. 基于归并“土体构型”图的省域耕地地力评价. 土壤通报, 2015(待出版). Zhao Y F, Zhang H N, Cheng D Q, et al. Cultivated land productivity evaluation at provincial scale based on a map of grouped soil profile configuration pattern (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2015 (in press)
- [31] Askari M S, Holden N M. Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. *Geoderma*, 2014, 230/231: 131—142
- [32] 朱德举, 连镜清, 王秋兵, 等. 土地评价. 北京: 中国大地出版社, 1996. Zhu D J, Lian J Q, Wang Q B, et al. Land evaluation (In Chinese). Beijing: China Land Press, 1996
- [33] Manna P, Basile A, Bonfante A, et al. Comparative land evaluation approaches: An itinerary from FAO framework to simulation modeling. *Geoderma*, 2009, 150: 367—378
- [34] FAO. A framework for land evaluation. Rome, 1976
- [35] FAO. Land evaluation towards a revised framework. Rome, 2007
- [36] FAO. Land evaluation for rainfed agriculture. Rome, 1983
- [37] Pease J R, Coughlin R E. Land evaluation and site assessment: A guidebook for rating agricultural lands. 2th ed. Ankeny, Iowa: Soil and Water Conservation Society, 1993
- [38] 陈杰. 土地资源评价//赵其国, 史学正. 土壤资源概论. 北京: 科学出版社, 2007. Chen J. Land resource evaluation (In Chinese) // Zhao Q G, Shi X Z. An introduction to soil resources. Beijing: Science Press, 2007
- [39] Volchko Y, Norrman J, Bergknut M, et al. Incorporating the soil function concept into sustainability appraisal of remediation alternatives. *Journal of Environmental Management*, 2013, 129: 367—376
- [40] Wiggering H, Dalchow C, Glemnitz M, et al. Indicators for multifunctional land use-linking socio-economic requirements with landscape potentials. *Ecological Indicators*, 2006, 6: 238—249
- [41] 吴克宁, 梁思源, 鞠兵, 等. 土壤功能及其分类与评价研究进展. 土壤通报, 2011, 42(4): 980—985. Wu K N, Liang S Y, Ju B, et al. Research review on classification and evaluation of soil functions (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2011, 42(4): 980—985
- [42] 张凤荣. 土壤地理学与土地利用//张甘霖, 史学正, 黄标. 土壤地理研究回顾与展望. 北京: 科学出版社, 2012. Zhang F R. Soil geography and land use (In Chinese) // Zhang G L, Shi X Z, Huang B. A review and expectation of soil geography research. Beijing: Science Press, 2012
- [43] 河南省统计局. 河南统计年鉴2014, <http://www.ha.stats.gov.cn/hntj/lib/tjnj/2014/>. Henan Statistic Bureau. Henan statistic annals 2014 (In Chinese). <http://www.ha.stats.gov.cn/hntj/lib/tjnj/2014/>
- [44] 河南省统计局. 河南统计年鉴1994. 北京: 中国统计出版社, 1994. Henan Statistic Bureau. Henan statistic annals 1994 (In Chinese). Beijing: China Statistic Press, 1994
- [45] 王绍中, 郑天存, 郭天财. 河南小麦育种栽培研究进展. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2007. Wang S Z, Zheng T C, Guo T C. Advances in wheat breeding and cultivation of Henan Province (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2007
- [46] 杨青华, 高尔明, 马新明, 等. 不同土壤类型玉米根系生长发育动态研究. 华北农学报, 2000, 15(3): 88—93. Yang Q H, Gao E M, Ma X M, et al. Studying on growing dynamic of maize root system in various soils (In Chinese). *Acta Agriculture Boreali-Sinica*, 2000, 15(3): 88—93

PROBLEMS AND ANALYTICAL LOGIC IN BUILDING CULTIVATED LAND PRODUCTIVITY EVALUATION INDEX SYSTEM

Zhao Yanfeng¹ Cheng Daoquan² Chen Jie¹ Sun Zhiying³ Zhang Huanan¹

(1 School of Water Conservancy and Environment, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

(2 Station of Soil and Fertilizer Extension Service, Henan Province, Zhengzhou 450002, China)

(3 Academy of Land Surveying and Planning, Henan Province, Zhengzhou 450016, China)

Abstract In China, Cultivated Land Productivity Evaluation (CLPE) is carrying out country-wide on various scales, e.g. country, province, municipality, city and county, with the 《Technical Rules for Productivity Survey and Quality Assessment of Cultivated Lands》 (TRPSQACL) as guidance. In order to minimize negative effects of the modeling based on the subjective evaluation index system, discussion is done in this paper on analytic logic of CLPE, so as to build up a “thought bridge” linking professional knowledge to the physical model of cultivated land productivity. CLPE is just a kind of land productivity evaluation (LPE) and the prevailing LPE methods could be used as reference in forming scientific analytic logic for building a CLPE index system. LPE methods can roughly be sorted into 3 categories. The first one is the category of qualitative classification and grading, such as Land Capability Classification of America (LCC), Soil Fertility Capability Classification of America (FCC), Chinese Land Resource Evaluation Map at 1 : 100, 000 scale. This category of methods is used to classify and grade land resources according to the type and extent of obstacles in land use on all spatial scales, but it does not have a consistent index system. The second is one of quantitative scoring methods, such as Storie Index Soil Rating of America, Soil Quality Rating of Germany (SQR), etc., characterized by explicit index systems and scoring rules, and fast computation with the aid of GIS, but they are only applicable to evaluation on small scales for the sake of accuracy. And the third is one consisting of methods combining classification with scoring, such as Agro Ecological Zone of FAO, Land Potential Productivity suggested by MOSS and Agricultural Land Quality Grading of China. They are characterized by dividing the region to be evaluated into several agricultural zones, for which appropriate evaluation indices are selected zone-specifically, and then calculating potential of phototemperature or climate contributing to land productivity on the large spatial scale as the first step, and modifying the score with soil conditions and site-specific environmental conditions on the small scales as the second step. So they are applicable to evaluation on all spatial scales. Different from the above-listed 3 categories of methods, TRPSQACL specifies a scoring method for CLPE without considering the limitation of this method being unapplicable to evaluation on large scales. So, it has brought about a series of problems in the application, e.g. absence of specific task orientation suitable to all spatio-temporal scales in evaluation, neglect of scale suitability in selecting indices, frequent failure to have the principles of dominance and independence embodied. By utilizing the viewpoints of geoscience, agronomy and system science, this paper has built analytic logic to solve the above-mentioned problems. The paper holds: 1) for CLPE, the implications of task, technical routes and indices to evaluation all possess the feature of spatio-temporal scale. 2) Evaluation indices should be divided into two groups, of which one may directly indicate satisfaction degree of the crop with light, temperature, water and nutrients while the other may indirectly do. It is advisable to choose indices with stability and indirect evaluation indices for CLPE on large scales, which is characterized by long-term effectiveness and low spatial resolution and focus on exposing geographical

obstacle and resource constraints in utilizing cultivated land in a region For CLPE on small scales aiming at real-time status of cropland productivity with high spatial resolution, indices featuring instantaneity and directness are recommended. 3) Land-crop-management should be viewed as a holistic system and significances of the indices to cropland productivity should be dialectically analyzed since not only natural and management land conditions but also the match degree of land conditions and crop requirements vary with land system. And 4) the natural and artificial land conditions that jointly indicate nature of a certain aspect, e.g. light, temperature, water and nutrients, should be viewed as a whole, an integrated index, that should not be dissevered in the evaluation index system.

Key words Cultivated land productivity evaluation; Index system; Analytic logic

(责任编辑: 檀满枝)