

PSR 框架下的黑龙江省海伦市耕地质量评价

王建华^{1,3}, 陶培峰², 袁 月², 李志忠^{3,4}, 杨佳佳^{3,4}

1. 中国科学院 遥感与数字地球研究所, 北京 100094; 2. 重庆市地理信息和遥感应用中心, 重庆 401147;
3. 国际黑土地协会, 辽宁 沈阳 110034; 4. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心, 辽宁 沈阳 110034

摘 要: 为科学评价现有耕地质量水平, 利用环境卫星、Landsat8 遥感影像以及地球化学调查等数据, 提取了土壤肥力、水分、重金属污染等多种指标信息, 采用与土壤含水量相关性更强的 TVDI 代替传统的 DVI 方法, 建立了基于压力-状态-响应模型(PSR)的土壤质量评价方法。运用层次分析法(AHP)为各评价指标赋予权重, 结合专家评分与线性内插法实现评价因子的定量评价, 最终将各评价因子进行空间权重叠加获得地块评价单元。评价结果表明: 海伦市一级耕地占 28.75%, 二级耕地占 71.17%, 三级及以下耕地占 0.08%, 耕地质量总体较高。通过对不同等级耕地空间分布的结果分析, 提出了针对性的耕地改良建议。

关键词: 耕地质量评价; PSR; 遥感; 地球化学; 海伦市; 黑龙江省

开放科学标志码(OSID):

DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2020.06.004



PSR-BASED EVALUATION OF THE CULTIVATED LAND QUALITY IN HAILUN CITY OF HEILONGJIANG PROVINCE

WANG Jian-hua^{1,3}, TAO Pei-feng², YUAN Yue², LI Zhi-zhong^{3,4}, YANG Jia-jia^{3,4}

1. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, CAS, Beijing 100094, China;

2. Chongqing Geographic Information and Remote Sensing Application Center, Chongqing 401147, China;

3. International Black Land Association, Shenyang 110034, China;

4. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China

Abstract: To scientifically evaluate the quality level of existing cultivated land in Hailun City, Heilongjiang Province, the environmental satellite image, Landsat8 remote sensing image and geochemical survey data are used to extract the information of soil fertility, water content, heavy metal pollution and other indexes. The temperature vegetation dryness index (TVDI) which has a stronger correlation with soil water content, replacing the traditional difference vegetation index (DVI), is applied to establish a soil quality evaluation method based on pressure-state-response (PSR) model. The analytic hierarchy process (AHP) is used to assign weights to each evaluation index, combined with expert scoring and linear interpolation, to realize the quantitative evaluation of evaluation factors and obtain the minimum evaluation units by spatial weight superposition of all evaluation factors. The results show that the first-grade cultivated land accounts for 28.75%, with 71.17% of second-grade, 0.08% of third-grade and below, and the quality of cultivated land is generally high in Hailun City. Finally, some suggestions for improving cultivated land

收稿日期: 2020-08-27; 修回日期: 2020-11-17. 编辑: 黄欣、张哲.

基金项目: 国际地学对比计划项目“全球黑土地关键带土地资源演化与可持续利用”(IGCP 665); 中国地质调查局“兴凯湖平原及松辽平原西部土地质量地球化学调查”项目(DD20190520).

作者简介: 王建华(1979—), 男, 硕士, 国际黑土地协会秘书长, 主要从事遥感在土壤信息提取、评价中的应用工作, 通信地址 北京市朝阳区大屯路甲 20 号, E-mail://wangjh@aircas.ac.cn

通信作者: 陶培峰(1995—), 男, 硕士, 从事遥感信息技术及地学应用研究工作, 通信地址 重庆市渝北区龙山大道 339 号, E-mail://tpf@dl023.net

are put forward by analyzing the spatial distribution of cultivated land of different grades.

Key words: cultivated land quality evaluation; PSR; remote sensing; geochemistry; Hailun City; Heilongjiang Province

0 引言

耕地是人类生存的基础,也是农业生产最宝贵的自然资源。近年来,我国耕地面积不断减少,据自然资源部统计,仅 2011~2015 年间,我国耕地面积净减少 $23.99 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[1]。同时,长期以来超负荷的粮食生产和掠夺式的土地开发经营给耕地带来了巨大的压力,加之化肥农药的过度使用和气候环境的变化,导致我国耕地出现了土壤侵蚀、土壤盐渍化以及土壤污染等土壤退化问题^[2-3]。提高耕地质量对加强生态文明建设,保障国家粮食安全具有重要的现实意义。为此,农业部制定了《耕地质量保护与提升行动方案》,着力提高耕地内在质量,实现“藏粮于地”,夯实国家粮食安全基础^[4]。耕地质量等级调查评价能有针对性地指导土壤改良和治理修复工作,促进耕地质量提升和资源可持续利用。

随着农业生产力的发展和人们对耕地研究的深入,当前主要存在基于耕地自然属性、自然-经济双重属性和多重属性 3 种耕地质量观,它们既存在先后演化关系,又同时并存、互有区别^[5]。由于对耕地认识的差异以及耕地评价目的的不同,耕地质量评价方法与评价手段多样。20 世纪 90 年代起,地理信息系统和遥感技术开始应用在耕地质量评价研究中,如戴旭^[6]将 ARC/INFO 软件应用于农业土地资源评价中。耕地作为一个典型的自然-经济-社会复合系统,为了对其进行更全面综合的评价,冷疏影等^[7]将 PSR 模型引入耕地质量评价中。此后,聂艳等^[8]将 GIS 和 PSR 模型结合进行农用地资源评价,方琳娜^[9]基于 PSR 模型用 SPOT 影像进行耕地质量评价。PSR 框架下的耕地质量评价方法不断发展,并且融合了特尔菲法、层次分析法、主成分分析法等方法,共同推动了土地评价工作向客观、科学、定量、综合的方向发展。

本研究依托 GIS 和 RS,在 PSR 框架下结合当前最新调查的地球化学数据,运用主成分分析和层次分析等方法,构建较为完善的海伦市耕地质量评价体系,旨在为当前黑土地的保护以及合理利用提供依据。

1 研究区概况

海伦市位于黑龙江省中部,绥化市北部,地处松嫩平原东北端,小兴安岭西麓,北纬 $48^\circ 58' \sim 47^\circ 52'$,东经 $126^\circ 14' \sim 127^\circ 45'$ 之间。地势东北高西南低,平均海拔 239 m。总面积 $4\,667 \text{ km}^2$,其中耕地面积 $2\,940 \text{ km}^2$,占土地总面积的 63%。海伦市位于典型黑土区,全市广泛分布有黑土、暗棕壤、草甸土、白浆土等,适宜作物生长,主要作物种类包括水稻、玉米、大豆等,是国家重要的商品粮基地之一。

2 方法与数据

2.1 研究方法

本文选用压力-状态-响应(PSR)模型构建耕地质量评价体系。该模型以因果关系为基础,反映人类活动与自然环境之间相互影响、相互制约的关系,即人类活动对自然环境施加一定压力,自然环境就会改变其原有的性质或状态来影响人类社会经济活动,人类则会采取措施防止环境退化^[10]。本研究在中国地质调查局沈阳地质调查中心最新的海伦市 1:5 万地球化学调查成果基础上,利用遥感技术提取评价指标信息,运用层次分析法(AHP)为各个评价因子赋予权重,通过专家评分和线性内插的方法对评价因子进行定量计算,并与地球化学调查数据进行空间权重叠加,最终获得地块评价单元,并划分等级。

2.2 数据来源

本研究选取了研究区内 3 景环境卫星影像、1 景 Landsat8 影像以及 DEM 数据、土壤有效层厚度实测数据、1:5 万地球化学数据、行政区划图、土壤类型图、土地利用类型图等。环境卫星影像数据来源于中国资源卫星应用中心;DEM 和 Landsat 数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台;其他野外调查资料及基础图件数据均来源于中国地质调查局沈阳地质调查中心,其中 1:5 万地球化学调查元素包括砷、镉、铬、铅、汞、锌、铜、镍 8 种重金属污染元素以及有机质、pH 值、硒含量。

2.3 数据处理

本研究对遥感影像数据进行了辐射定标、大气校正、几何校正、裁剪、图像增强等处理。根据研究需求,利用整个生长期的影像结合农业部农时查询系统解译出海伦市玉米、大豆、水稻 3 类主要农作物种类。通过 ArcGIS 中的空间分析功能将 DEM 转化为坡度图,并将野外实测的土壤厚度和地球化学分析数据在 Excel 中录入坐标信息后以矢量点的格式导入 ArcGIS 中,利用 Kriging 法生成面文件,再通过分区统计工具计算出每个地块的均值,生成各评价因子分布图。

3 评价体系及指标

3.1 构建评价体系

耕地质量评价体系的科学性、综合性和可行性很大程度上取决于评价指标的选择。耕地质量是众多因素的综合表现,要充分考虑自然条件和人为活动等多种因素。此外,还要考虑各指标间的相关性和可操作性,保证评价因子的独立性和模型的适用性。

选用 PSR 模型,将包括耕地环境压力、耕地现状质量条件以及土地利用类型在内的多种指标整合成一个综合评价指标体系,从多个角度描述耕地质量。压力指标描述人为活动对土地资源造成的压力,状态指标描述土地资源的自然环境本底和土地质量现状,响应指标描述社会对造成土地质量状态变化的压力的响应。依据该模型,从生产压力指数(PPI)、耕地状态指数(LSI)以及社会响应指数(SRI) 3 个层次来建立耕地质量评价框架(表 1)。

表 1 海伦市耕地质量评价框架

Table 1 Evaluation framework of the cultivated land quality in Hailun City

目标层	准则层	指标	评价因子
耕地质量指数	生产压力指数	坡度	坡度
		重金属指数	砷、镉、铬、铅、汞、锌、铜、镍
	耕地状态指数	土壤肥力指数	NDVI
		土壤质量指数	土壤类型、有效土层厚度、酸碱度、硒含量、有机质含量
		土壤水分指数	TVDI
	社会响应指数	土地利用程度	水田、旱地、果园、林地、草地、其他土地

3.2 评价指标提取

3.2.1 坡度

坡度是土壤侵蚀评价的重要指标,在降水作用下不仅对产流量和产沙量有影响,还会造成土壤养分和有机质的显著流失^[11-12],使土壤肥力下降,对耕地质量存在较大影响。海伦市地形以丘陵、漫岗为主,坡度对东北部的山区林场影响较为强烈。利用 ArcGIS 的表面分析工具提取 GDEM V2 高程数据中的坡度信息,并参考不同坡度对耕地质量的影响进行分级,最终生成栅格格式的海伦市坡度分级图(图 1)。

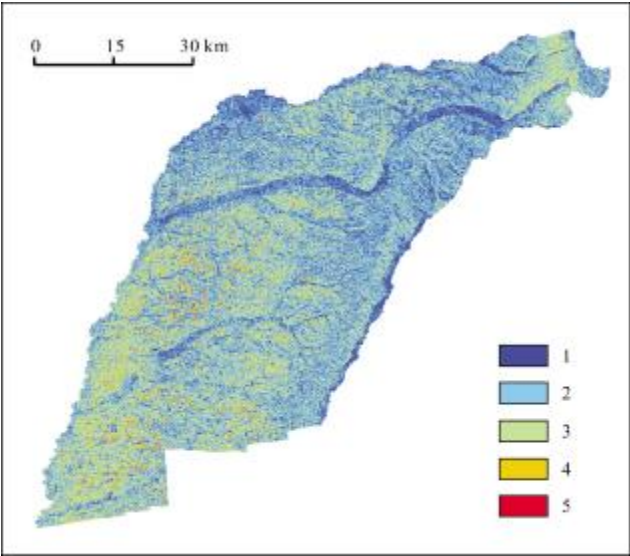


图 1 海伦市地表坡度分级图

Fig. 1 Grading map of surface slope in Hailun City
1— ≤2°; 2— 2~5°; 3— 5~15°; 4— 15~25°; 5— ≥25°

3.2.2 重金属指数(HMI)

土壤重金属污染是由化肥过度使用、污水灌溉等人为因素造成的土壤重金属含量明显高于自然背景值的现象。重金属污染不但会破坏土壤结构、造成环境质量恶化,而且会通过食物链危害人类健康^[13]。本研究对砷、镉、铬、铅、汞、锌、铜、镍 8 种重金属元素进行主成分分析,发现铜与锌、镍与铬均具有明显相关性,相关系数分别达到 0.501 和 0.718。同时 KMO 检验系数为 0.667,说明锌和镍可以被其他因子代替。为确保各因子间的独立性,最终选用砷、镉、铬、铅、汞、铜作为重金属指数评价指标。

将研究区范围内 15 608 个采样点进行插值生成各评价因子栅格图,采用单因子指数法和内梅罗指数法综合评估土壤污染状况^[14],计算出每个地块的内梅

罗指数均值,并按标准分级生成重金属污染分级图(图2)。计算公式如下:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

$$P_n = \sqrt{\frac{P_{i\max}^2 + P_{i\text{ave}}^2}{2}} \quad (2)$$

式中: P_n 为内梅罗指数; P_i 为单因子指数; C_i 为元素 i 的实测值(10^{-6}); S_i 为元素 i 的标准值(10^{-6}); $P_{i\max}$ 为各重金属元素单因子指数的最大值; $P_{i\text{ave}}$ 为各重金属元素单因子指数的平均值。标准值遵照 GB15618—2018《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》确定。

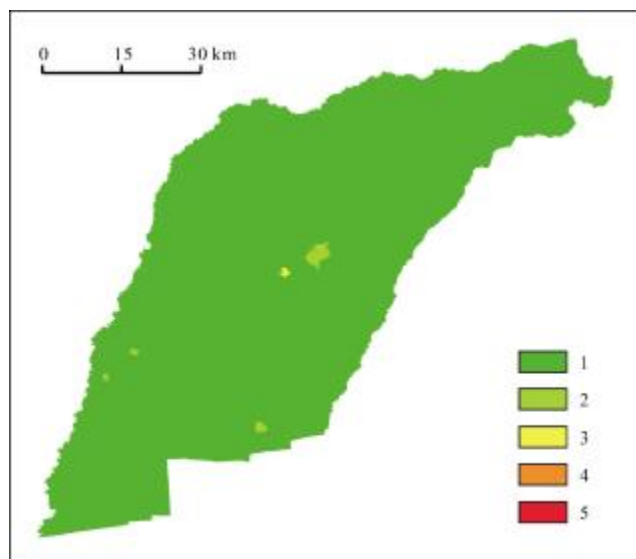


图2 海伦市土壤重金属污染分级图

Fig. 2 Grading map of soil heavy metal pollution in Hailun City
1—清洁(clean); 2—轻微污染(slight pollution); 3—轻度污染(light pollution); 4—中度污染(moderate pollution); 5—重度污染(heavy pollution)

3.2.3 土壤肥力指数(SFI)

土壤肥力的衡量因素众多,包括全氮、全磷、速效钾等,但这些因素受人工施肥影响较大,在植被生长期很难获取土壤肥力的自然背景值,而植被的生长状况是土壤肥力的直接体现。归一化植被指数(NDVI)对绿色植被表现敏感,能准确反映植被覆盖程度,因此选用NDVI来表征土壤肥力。计算公式如下:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (3)$$

式中: NIR 为近红外波段反射率, R 为红色波段反射率。

利用3期作物生长阶段的环境卫星影像分别计算NDVI后取平均值。为消除作物类型间植被指数的差异,按解译的3种作物范围进行NDVI统计和分级。NDVI值越大,代表该区域植被覆盖度越高,土壤肥力也越好,分级结果如图3所示。

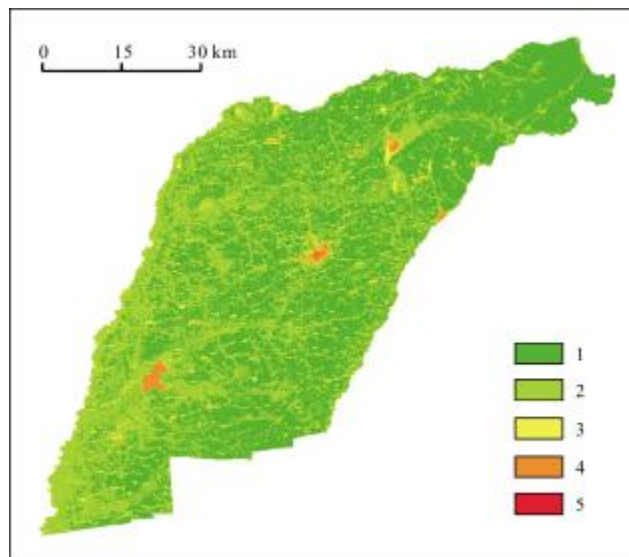


图3 海伦市土壤肥力NDVI分级图

Fig. 3 NDVI grading map of soil fertility in Hailun City
1—>0.8; 2—0.6~0.8; 3—0.4~0.6; 4—0.2~0.4; 5—≤0.2

3.2.4 土壤质量指数(SQI)

土壤质量含义丰富,美国土壤学会(1995)把土壤质量定义为:土壤在生态系统的范围内,维持生物的生产力、保护环境质量以及促进动植物健康的能力。目前土壤质量指数一般基于土壤物理指标、化学指标、生物学指标3个方面展开分析。土壤物理指标用来表述土壤的物理状况,包括土壤质地、粒径、土层厚度、渗水性等;化学指标描述土壤成分中养分和污染物的存在形态和浓度;生物学指标主要考虑土壤微生物对土壤产生的影响^[15-16]。考虑到数据的可获取性以及模型各指标间的独立性,结合现有数据选取了土壤类型(ST)、有效土层厚度(EST)、酸碱度(pH)、硒含量(Se)、有机质含量(SOM)这5个代表性因子对土壤质量进行评价。其中有效土层厚度是指能供作物生长的实际土层厚度。为消除各因子间的重复信息,采用主成分分析法确定相应的权重,得到SQI公式(4)。评价结果如图4所示,分值越高,代表土壤质量越好。

$$SQI = 0.16 \times ST + 0.25 \times EST + 0.14 \times pH + 0.06 \times Se + 0.39 \times SOM \quad (4)$$

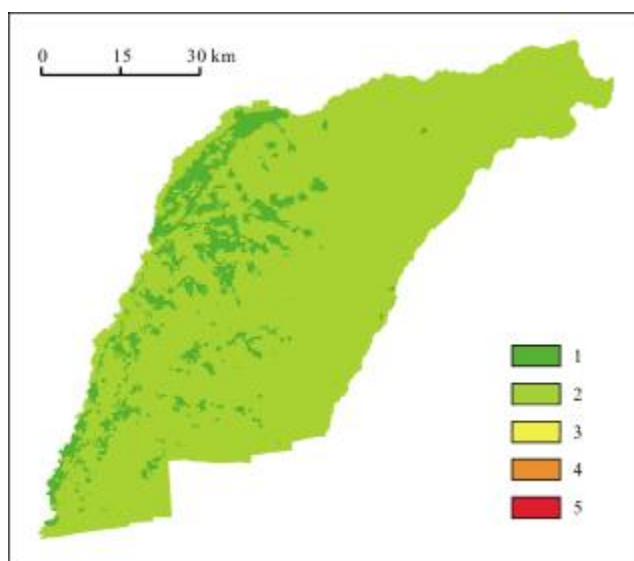


图4 海伦市土壤质量分级图

Fig. 4 Grading map of soil quality in Hailun City

1—80~100; 2—60~80; 3—40~60; 4—20~40; 5—0~20

3.2.5 土壤水分指数(SMI)

土壤水分是作物赖以生存的必要条件. 土壤含水量会直接影响植物根冠发育, 同时土壤水分的变化会直接引起植物内部的生理变化, 经过一系列信号传导, 最终表现在形态建成和产量上, 因此土壤含水量是耕地质量评价不可缺少的指标. 研究发现, 遥感红外波段对水分较为敏感. 方琳娜^[9]通过对植被差值指数(DVI)与土壤含水量进行相关分析发现二者相关指数达0.553 ($p < 0.05$), 传统评价方法大多应用DVI反映土壤含水量信息, 而本文采用与土壤含水量相关性更强的温度植被干旱指数(TVDI)来反映土壤相对湿度^[17-18]. 计算方法如下:

$$TVDI = \frac{T_s - f(VI)_{\min}}{f(VI)_{\max} - f(VI)_{\min}} \quad (5)$$

$$f(VI)_{\max} = a_{\max} + b_{\max} \times VI \quad (6)$$

$$f(VI)_{\min} = a_{\min} + b_{\min} \times VI \quad (7)$$

式中, T_s 为像元的地表温度, VI 为像元的植被指数, $a_{\max}$ 和 $b_{\max}$ 为干边的线性拟合参数, $a_{\min}$ 和 $b_{\min}$ 为湿边的线性拟合参数.

本文利用 Landsat8 TIRS 影像采用大气校正法反演地表温度, 提取一定宽度范围内值所对应的最大值和最小值, 采用最小二乘法拟合干、湿边方程, 最终计算各像元 TVDI 值. TVDI 值越小, 则土壤相对湿度越大. TVDI 分级图如图 5 所示.

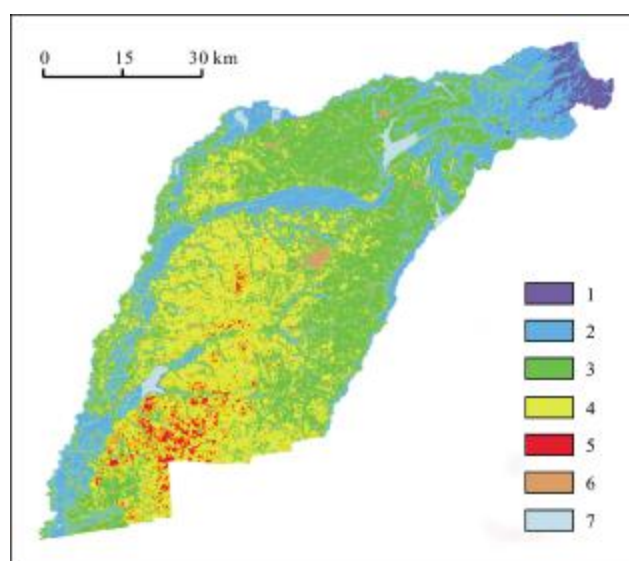


图5 海伦市土壤湿度 TVDI 分级图

Fig. 5 TVDI grading map of soil humidity in Hailun City

1— ≤ 0.2 ; 2—0.2~0.4; 3—0.4~0.6; 4—0.6~0.8; 5— > 0.8 ; 6—建设用地(construction land); 7—水体(water body)

3.2.6 土地利用程度指数(LUD)

由于生产活动的需要, 人类对土地有着不同程度的开发和利用. 土地的利用方式和管理水平导致土壤的成分和性质存在较大差异, 很大程度上影响了土地的质量^[19]. 因此本研究选用土地利用程度来描述人类活动对耕地质量的影响. 本文选用的是海伦市第二次全国土地调查数据, 在该数据的基础上通过遥感影像人机交互解译的方式对土地利用变化区域进行更新, 得到海伦市土地利用现状图(图6). 选用耕地类型包括: 水田、旱地、果园、林地、草地和其他土地.

3.3 数据标准化

参考耕地地力等级划分标准及专家意见^[9, 11, 14, 17, 20], 对单指标进行分级, 分级标准如表2所示. 设置[0, 100]之间的分级阈值, 利用线型内插方法对每一个级别的观测值再赋予分值, 保证每一个级别内分数的连续性. 线型内插方法公式如下:

$$y = \frac{d-c}{b-a} \times x + c - \frac{d-c}{b-a} \times a \quad (8)$$

式中, x 为观测值, a 为最小观测值, b 为最大观测值; y 为赋予的分值, c 为最小分值, d 为最大分值.

3.4 确定权重

本文采用层次分析法(AHP)计算权重. 层次分析法能很好地契合 PSR 模型, 将复杂的多准则问题化为

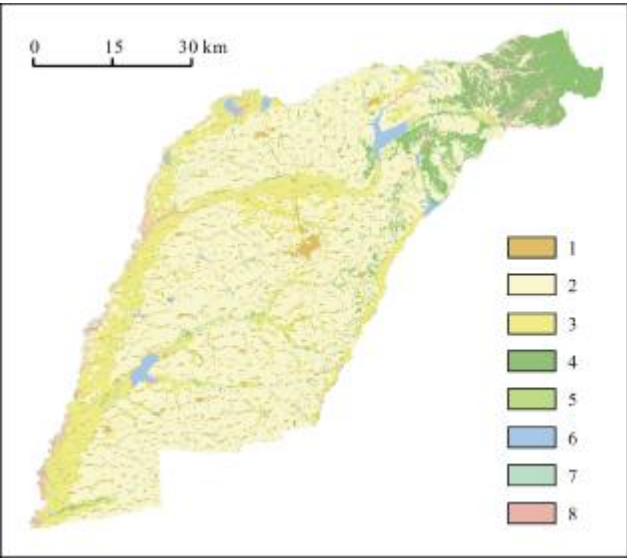


图 6 海门市土地利用现状图

Fig. 6 Land use status map of Hailun City

1—建设用地 (construction land); 2—旱地 (dry farmland); 3—水田 (paddy field); 4—林地 (forest land); 5—草地 (grass land); 6—水体 (water body); 7—果园 (orchard); 8—其他土地 (other land)

多层次单目标问题,再通过一致性检验,将定性方法与定量方法有机地结合起来.

在计算评价因素权重时,首先按照专家意见将各指标按重要程度赋予不同的分值,对准则层和指标层要素两两对比,即根据本层要素对上一层要素的重要程度(即绝对重要、十分重要、比较重要、稍微重要、同等重要)构造判断矩阵,取值范围在 1~9 及其倒数之间,通过计算随机一致性比率 CR,对建立的判断矩阵进行一致性检验^[21]. $CR=CI/RI$, CI 为判断矩阵的一致性指标, RI 为平均随机一致性指标. 阶数>2 时,当 $CR<0.1$,可认为判断矩阵的一致性符合要求;否则,应重新进行判断并构建新的判断矩阵,使其最终满足一致性检验的要求. 经过计算,耕地质量评价模型的指标权重如表 2 所示.

3.5 结果分析

按上述构建的耕地质量评价模型计算,并将耕地评价结果分为 5 个等级(表 3),评价分布如图 7 所示.

表 2 评价指标分级与权重表

Table 2 Grading and weight of evaluation indexes

坡度/(°)	权重	分级	≤2	>2~5	>5~15	>15~25	>25
	0.09	分值	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20
重金属指数(HMI)	权重	分级	清洁	轻微污染	轻度污染	中度污染	重度污染
	0.13	分值	100	80	60	40	0
归一化植被指数(NDVI)	权重	分级	>0.8	>0.6~0.8	>0.4~0.6	>0.2~0.4	≤0.2
	0.08	分值	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20
温度植被干旱指数(TVDI)	权重	分级	≤0.2	>0.2~0.4	>0.4~0.6	>0.6~0.8	>0.8
	0.12	分值	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20
土壤类型(ST)	权重	分级	黑土	草甸土	水稻土	暗棕壤	白浆土
	0.08	分值	100	90	80	70	60
有效土层厚度(EST)/cm	权重	分级	>100	70~100	50~70	30~50	≤30
	0.13	分值	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20
酸碱度(pH)	权重	分级	≤5	>5~6.5	>6.5~7.5	>7.5~9	>9
	0.07	分值	0~40	40~80	80~100	40~80	0~40
硒含量(Se)/10 ⁻⁶	权重	分级	≤0.125	>0.125~0.4	>0.4~0.6	0.6~3	>3
	0.03	分值	0~40	40~80	80~100	40~80	0~40
有机质含量(SOM)/%	权重	分级	>8	>6~8	>4~6	>2~4	≤2
	0.20	分值	80~100	60~80	40~60	20~40	0~20
土地利用类型(LUD)	权重	分级	水田	果园	林地	旱地	草地
	0.07	分值	100	90	80	70	60

海伦市耕地质量总体达到优良水平,中等及以下耕地占比小于 0.1%。

表 3 海伦市耕地质量评价结果表
Table 3 Evaluation results of cultivated land quality in Hailun City

等级	分值	面积/km ²	占比
一级	>80	1195.68	28.75%
二级	(60,80]	2959.80	71.17%
三、四、五级	≤60	3.45	0.08%

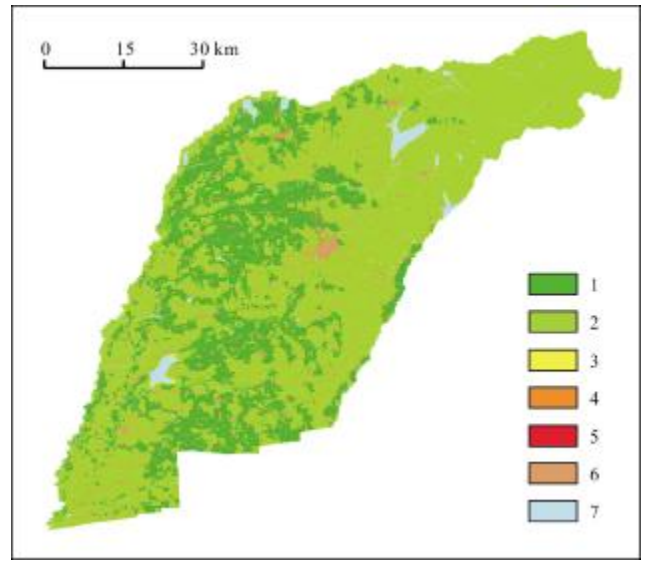


图 7 海伦市耕地质量评价结果图

Fig. 7 Grading map of cultivated land quality in Hailun City
1— 一级(first grade); 2—二级(second grade); 3—三级(third grade);
4—四级(fourth grade); 5—五级(fifth grade); 6—建设用地(construction
land); 7—水体(water body)

一级耕地占 28.75%, 主要分布在海伦中西部地区,覆盖爱民乡、向荣乡、长发乡、福民乡等绝大多数耕地,多处于通肯河、扎音河、克音河及海伦河流域的平原地区,水肥充足,土壤清洁无污染,且硒含量丰富。土壤类型以黑土、草甸土为主,作物长势优良,是生态有机农产品的优质生产基地。

二级耕地占 71.17%,是整个研究区面积最多的区域,主要分布在海伦东部和西南地区。东部地区为平原-丘陵过渡地带,地势略有起伏,土壤类型以暗棕壤、草甸土为主,局部分布有黑土和白浆土。主要用地类型为林地、旱地,耕层厚度变薄,土壤偏酸性,养分有效性降低。可通过正确施肥、施用石灰来改良土壤养

分和酸碱度,同时在丘陵漫岗地区改顺坡种植为机械起垄横向种植保持水土。西南地区二级耕地主要分布在伦河镇和永富乡,以及联发乡、百祥乡的部分区域。造成地力下降的主要原因是土壤有机质含量明显降低,NDVI 值也低于平均水平,这表明土壤肥力低是制约该地区耕地质量提升的关键。可以采用秸秆还田、增施有机肥、合理轮作等方式培肥地力,改善土地质量。

三级及以下耕地占比 0.08%,零散分布于东北部丘陵地区,多为林间裸地,存在一定坡度,土壤保水保肥能力较差,有水土流失的风险,且土壤呈酸性,不适宜植被生长。对于该类土地应做好水土保持工作,增加植被覆盖度,因地制宜种植耐酸性作物,通过整地管理使土壤活化,逐年改善土壤酸度。

4 结论

本研究运用压力-状态-响应(PSR)模型,基于遥感影像数据和地球化学调查成果,引入指标评价函数进行指标分析,利用层次分析法进行权重计算,将评价体系与数学模型相结合,对海伦市耕地质量进行了评价。PSR 模型能准确反映人类活动和自然环境之间相互作用的关系,以此构建的耕地质量评价体系具有系统性、科学性和可靠性。

本次评价将海伦市耕地分为 5 个等级,并提出了针对性的耕地改良建议。海伦市作为我国重要的商品粮生产基地,耕地资源整体质量优良,土壤环境清洁,得天独厚的黑土资源富含丰富的有机质,本底条件较好,但黑土退化导致的土壤肥力下降问题也急需引起重视。研究成果可为及时有效地了解目前耕地质量水平和改善耕地质量,促进土地资源的可持续利用提供参考,同时也为日后定期开展大范围的耕地质量评价和变化研究,以及黑土退化的过程研究提供了依据。与传统地球化学调查方法相比,将遥感技术引入耕地质量评价中,可以快速、准确获取土壤基础数据,提取评价指标,这为探索动态、定量、快速的耕地质量评价方法进行了有益尝试。

参考文献:

[1] 中华人民共和国自然资源部. 2016 中国国土资源公报[EB/OL].
http://cn.chinagate.cn/reports/2017-08/02/content_41332031.htm, 2017.

- [2]党进谦,张新和,李靖. 水土保持与耕地资源持续利用[J]. 农业工程学报,2003,19(6):285-288.
- [3]杨佳佳,白磊,吴嵩. 黑龙江典型黑土区土壤侵蚀遥感监测技术研究[J]. 地质与资源,2019,28(2):193-199,183.
- [4]中华人民共和国农业部. 耕地质量保护与提升行动方案[EB/OL]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2015/shiyiqi/201712/t20171219_6103894.htm,2015-10-28.
- [5]杜国明,刘彦随,于凤荣,等. 耕地质量观的演变与再认识[J]. 农业工程学报,2016,32(14):243-249.
- [6]戴旭. ARC/INFO 软件系统在农业土地资源评价中的应用[J]. 自然资源学报,1988,3(1):69-77.
- [7]冷疏影,李秀彬. 土地质量指标体系国际研究的新进展[J]. 地理学报,1999,54(2):177-185.
- [8]聂艳,周勇,朱海燕. 基于 GIS 和 PSR 模型的农用地资源评价研究[J]. 水土保持学报,2004,18(2):92-96.
- [9]方琳娜. 基于 SPOT 多光谱影像和 GIS 的耕地质量评价研究——以山东省即墨市为例[D]. 泰安:山东农业大学,2007.
- [10]张锐,郑华伟,刘友兆. 基于 PSR 模型的耕地生态安全元分析评价[J]. 生态学报,2013,33(16):5090-5100.
- [11]赵龙山,侯瑞,吴发启,等. 坡度对农业耕作措施水土保持作用的影响[J]. 水土保持学报,2017,31(3):69-72,78.
- [12]潘忠成,袁溪,李敏. 降雨强度和坡度对土壤氮素流失的影响[J]. 水土保持学报,2016,30(1):9-13.
- [13]陈卫平,杨阳,谢天,等. 中国农田土壤重金属污染防治挑战与对策[J]. 土壤学报,2018,55(2):261-272.
- [14]薛志斌,李玲,张少凯,等. 内梅罗指数法和复合指数法在土壤重金属污染风险评估中的对比研究[J]. 中国水土保持科学,2018,16(2):119-125.
- [15]张华,张甘霖. 土壤质量指标和评价方法[J]. 土壤,2001,33(6):326-330,333.
- [16]赵其国,孙波. 土壤质量与持续环境:I. 土壤质量的定义及评价方法[J]. 土壤,1997,29(3):113-120.
- [17]姚春生,张增祥,汪潇. 使用温度植被干旱指数法(TVDI)反演新疆土壤湿度[J]. 遥感技术与应用,2004,19(6):473-478.
- [18]齐述华,王长耀,牛铮. 利用温度植被旱情指数(TVDI)进行全国旱情监测研究[J]. 遥感学报,2003,7(5):420-427.
- [19]马芊红,张光辉,耿韧,等. 黄土高原纸坊沟流域不同土地利用类型土壤质量评价[J]. 水土保持研究,2018,25(4):30-35,42.
- [20]易晨,李德成,张甘霖,等. 土壤厚度的划分标准与案例研究[J]. 土壤学报,2015,52(1):220-227.
- [21]邓雪,李家铭,曾浩健,等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究[J]. 数学的实践与认识,2012,42(7):93-100.

(上接第 509 页/Continued from Page 509)

- [33]戴慧敏,赵君,刘国栋,等. 东北黑土地质量调查成果[J]. 地质与资源,2020,29(3):299.
- [34]魏丹,匡恩俊,迟凤琴,等. 东北黑土资源现状与保护策略[J]. 黑龙江农业科学,2016(1):158-161.
- [35]陆继龙. 我国黑土的退化问题及可持续农业[J]. 水土保持学报,2001,15(2):53-55,67.
- [36]段美惠,时小翠,王钰萱,等. 有效遏制黑土地退化的方法[J]. 黑龙江科学,2018,9(16):60-61.
- [37]曹志洪,周健民. 土壤质量演变规律与持续利用[J]. 中国科学院院刊,2002(1):45-46.
- [38]解宏图,郑立臣,何红波,等. 东北黑土有机碳、全氮空间分布特征[J]. 土壤通报,2006,37(6):1058-1061.
- [39]宋运红,刘凯,戴慧敏,等. 东北松辽平原 35 年来耕地土壤全氮时空变化最新报道[J/OL]. 中国地质. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20191225.1612.004.html>.
- [40]宋运红,刘凯,戴慧敏,等. 东北松辽平原典型黑土-古土壤剖面 AMS 14C 年龄首次报道[J]. 中国地质. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1167.P.20191225.1615.006.html>.
- [41]戴慧敏,宫传东,董北,等. 东北平原土壤硒分布特征及影响因素[J]. 土壤学报,2015,52(6):1356-1364.
- [42]http://m.cgs.gov.cn/cgkx/201906/t20190625_485094.html.
- [43]http://www.cas.cn/cm/201607/t20160720_4569120.html.
- [44]http://gi.mnr.gov.cn/202001/t20200121_2498502.html.