

# 黑龙江省耕地土壤养分贫瘠化研究

杨厚翔,雷国平,徐 秋

(东北大学土地管理研究所,辽宁 沈阳 110004)

**摘 要:**在 Arcgis 空间分析功能和 SPSS 数理统计功能支持下,利用隶属度模型、层次分析法、综合指数模型、障碍度诊断模型、叠加法等方法,分析黑龙江省耕地土壤养分贫瘠化状况与区域生态问题,诊断识别耕地土壤养分障碍因子与最佳量化表征性指标,空间表达土壤养分障碍类型区。结果表明:(1)全省 70.58%耕地处于轻度及以上土壤养分贫瘠程度,从西南到东北逐渐减弱,其中重度贫瘠区主要分布在松嫩平原西部,占耕地面积的 2.95%,农田生态问题是土壤沙化严重,中度贫瘠区主要分布在松嫩平原中部构造上属于断陷的中央凹陷区、三江平原西北部处于山前平原向平原的过渡带,占耕地面积的 41.09%,农田生态共性问题为易积水,其中松嫩平原还存在土壤盐渍化问题,轻度贫瘠区主要分布在松嫩平原东部、东北和东南地区,少量分布在三江平原西部、西北和西南部,占耕地面积的 26.54%,农田生态问题是水土流失;(2)有机质和全氮是区域土壤养分贫瘠化的主要障碍因素,累积占比达 88.37%;(3)有机质是耕地土壤养分贫瘠化指数及养分因子含量最佳量化表征性指标;(4)区域 47.92%的耕地存在中度及以上障碍因子,障碍类型区共计 14 类,以双因素 MC-MN,三因素 MC-MN-MP、MC-MN-MK 占比最大,累积占比率为 39.84%。

**关键词:**土壤养分;贫瘠化指数;有机质;全氮;农田生态;障碍类型分区;黑龙江省

**中图分类号:**S158.2 **文献标志码:**A

## Study of soil nutrient depletion in cultivated land of Heilongjiang Province

YANG Hou-xiang, LEI Guo-ping, Xu Qiu

(Institute of land management, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110004, China)

**Abstract:** With the support of Arcgis spatial analysis function and SPSS mathematical statistics function, using the methods of membership model, analytic hierarchy process, comprehensive index model, obstacle degree diagnosis model, superposition method and so on, this study analyzed the status of soil nutrient depletion and regional ecological problems in the cultivated land of Heilongjiang Province, diagnosed and identified soil nutrient barrier factors and optimal quantification indicators, spatially expressed regions with soil nutrient obstacle. The results are as follows: (1) 70.58% of the whole province is in slight or above soil nutrient deficiency, which is gradually weakening from the southwestern to the northeastern regions, in that the severe barren area is mainly distributed in the west of Songnen Plain accounting for 2.95% of the cultivated land, and the ecological problem of farmland is the severe desertification of the soil. The moderate infertile area is mainly distributed in the central sag area of fault in the middle part of Songnen Plain. The northwestern Sanjiang Plain is located in the transitional zone from the Piedmont Plain to the Plain. This accounts for 41.09% of the cultivated land. Soil salinization also exists in the Songnen Plain, the mildly infertile areas are mainly distributed in the eastern, northeastern, and southeastern region of the Songnen Plain and a small portion is in the western area, northwest and southwest of Sanjiang Plain accounting for 26.54% of cultivated land in the region. The ecological problem of farmland is soil erosion; (2) Organic matter

收稿日期:2017-07-18

修回日期:2018-09-28

**基金项目:**国家自然科学基金项目“气候变化背景下饶力河流域耕地利用变化水土资源平衡效应研究”(41671520);黑龙江省国土资源科研项目“两大平原现代农业综合配套改革试验区土地管理制度创新研究”(201411);黑龙江省国土资源科研项目“基于二调成果的黑龙省耕地及后备资源调查评价与开发利用研究”(201414)

**作者简介:**杨厚翔(1986-),男,黑龙江哈尔滨人,工程师,主要研究方向为土地利用与规划。E-mail:634548011@qq.com

**通信作者:**雷国平(1963-),男,黑龙江青冈人,教授,主要从事土地利用规划与管理。E-mail:guopinglei@126.com

content and total nitrogen are the main limiting factors of soil nutrient depletion in the region that accounted for 88.37%; (3) Organic matter content is the best quantitative indicator of soil nutrient depletion and nutrient quantification index; (4) 47.92% of the cultivated land have moderate or greater obstacle factors, and 14 types of obstacle region were found. The factors of MC-MN-MP, MC-MN-MK and MC-MN accounted for the largest portion, 39.84%, of the areas.

**Keywords:** soil nutrients; infertility index; organic matter; total nitrogen; farmland ecology; obstacle type region; Heilongjiang Province

耕地质量关乎国计民生<sup>[1-3]</sup>,土壤肥力是耕地质量的重要组成部分<sup>[4,5]</sup>,用于衡量土壤提供作物生长所需各种养分的能力<sup>[4-7]</sup>,土壤养分是肥力的构成要素,是比较容易控制的。Pay D 等<sup>[8]</sup>指出世界上尤其是撒哈拉以南的非洲国家耕地土壤养分贫瘠化会越发严重;张桃林<sup>[9]</sup>指出中国大部分地区土壤均出现不同程度的肥力退化现象。赵其国、韩光中等<sup>[10-11]</sup>指出土壤养分贫瘠化已经成为土壤退化的原因之一。

土壤养分贫瘠化是指土壤养分补给不足以弥补农作物对其的损耗,造成土壤养分元素亏缺,导致土壤肥力下降<sup>[12]</sup>。土壤养分贫瘠化研究目的是掌握土壤养分区域分布特征,诊断并指出区域土壤资源开发利用中可能出现的养分问题<sup>[13]</sup>,为更好地利用土地资源,为施肥、作物布局调整以及土地开发整理提供科学的依据,对提高耕地质量、保证粮食安全、实现土地资源的可持续利用具有重要意义<sup>[14]</sup>。

近年来,土壤养分贫瘠化相关研究已取得较多成果,主要集中在评价体系构建,以及评价方法选择方面,研究越发趋于定量化和标准化,评价结果也更为准确、客观<sup>[13,15-17]</sup>。钱乐祥等<sup>[15]</sup>基于 ArcGIS 平台,利用多元数理统计分析原理,构建了土壤养分贫瘠化综合评价模型,开展了土壤养分贫瘠化区域分异特征分析;孙波等<sup>[16]</sup>运用模糊数学和多元数理统计分析原理,建立了一个综合评价土壤养分贫瘠化的方法,对我国东南丘陵山区土壤养分贫瘠化现状进行了综合评价;刘金山<sup>[17]</sup>采用最小数据集和模糊数学法对湖北省水旱轮作区域土壤肥力质量进行评价;卢树昌<sup>[18]</sup>通过调查和土壤样品采集测定法对天津市 23685 块农田土壤肥力质量状况及变化进行了研究;杨奇勇等<sup>[13]</sup>在 GIS 技术支持下,综合利用采样点养分要素和空间信息数据,利用层次分析(AHP)等方法改进灰色关联等级评价模型,实现了土壤养分贫瘠化评价定量化,引入障碍因子诊断模型诊断了禹城市土壤养分贫瘠化障碍因子;董杰等<sup>[19]</sup>通过野外调查和室内分析相结

合,利用土地特性系列比较法对三峡库区紫色土坡地土壤贫瘠化特征进行了研究。以上研究丰富了土壤贫瘠化研究体系,但仍有不足。一是研究多基于土壤本身,忽视了土壤与农田生态系统的联动关系,并未从土壤形成的历史与所处环境等因素来全面定位与诊断贫瘠化问题;二是研究或为土壤养分贫瘠综合性评价,或为单因子贫瘠化诊断,并未反映土壤养分贫瘠化的地域性和差别化,不利于以土壤养分管理为核心的精准农业战略的实施。

基于以上认识,本文以黑龙江为例,在 GIS 和 SPSS 支持下,开展土壤养分贫瘠化研究,评价分析耕地土壤养分贫瘠化状况与区域生态问题,诊断识别耕地土壤养分障碍因子与最佳量化表征性指标,空间表达土壤养分障碍类型区,并在此基础上统筹考虑区域宏观生态问题与微观养分亏缺情况,开展耕地土壤养分贫瘠治理措施的讨论,为土壤养分贫瘠障碍因子消除、土壤培肥及土壤资源的可持续利用提供参考依据。

## 1 评价过程与方法

### 1.1 评价指标的选取

评价指标选取直接影响到评价的真实性、合理性和科学性<sup>[20]</sup>,因此参评指标既要兼顾养分指标的全面性、重要性,还要符合最小数据集、指标易获取性等原则。已有文献表明,土壤养分因素很多,但与植物生长关系最大的主要是 C、N、P、K 这 4 种大量元素<sup>[15]</sup>,主要包括有机质、全氮、碱解氮、全钾、速效钾、全磷和有效磷。有机质是土壤重要组成成分,能为植物生长提供长效、稳定和全面的营养,还关系到土壤物理构型,保肥能力和缓冲性能<sup>[21-22]</sup>;氮元素是蛋白质、核酸、叶绿素、酶和一些激素的重要构成元素,直接影响作物的品质和产量,主要包括全氮和碱解氮,全氮含量代表着土壤氮素的总贮量和供氮潜力,碱解氮反映土壤近期内氮素供应情况<sup>[22]</sup>,但易受土壤水热条件和生物活动影响而发生变化<sup>[23]</sup>;磷元素是植物细胞核的重要组成成分,对植物细胞分裂、器官组织分化发育和植物体内生理

代谢均具有重要作用,主要包括全磷和有效磷,全磷含量只表明土壤磷元素的储备,并不能作为土壤磷素供应的指标,植物直接或间接吸收利用的是有效磷部分<sup>[22]</sup>;钾元素可促进碳水化合物的转变、蛋白质的合成和细胞的分裂,减少蒸腾作用,调节植物组织中的水分平衡,增强植物的抗性,主要包括全钾和速效钾,全钾反映土壤钾元素的总储量,但其 90%~98%为无效态钾<sup>[22]</sup>。综上,本研究选择土壤有机质、全氮、有效磷、速效钾作为土壤养分评价参评指标(表 1)。

1.2 土壤养分初始化

根据土壤各种养分元素与作物生长效应曲线建立相应的隶属函数计算其隶属度。已有研究表明土壤中 C、N、P、K 四种元素作物效应曲线为 S 型<sup>[7,13,16]</sup>,所以有机质含量、全氮、有效磷和速效钾的隶属函数也为 S 型。研究以黑龙江省土壤养分分级表为依据,将 2 级养分低值端点作为养分丰富端点值,将 4 级区间中值作为贫瘠转折点(表 1)。由于土壤中不可能没有养分元素,故将隶属函数的最小值定为 0.1。相应的隶属函数:

$$N(x) = \begin{cases} 0.1 & x \leq u_i \\ 0.1 + 0.9 \times (x - u_i) / (u_l - u_i) & u_i < x \leq u_l \\ 1.0 & x > u_l \end{cases}$$

其中, $N(x)$  为评价指标隶属度; $u_i$  为评价指标贫瘠(差)水平下限养分含量; $u_l$  为评价指标丰富(优)水平上限养分含量。

1.3 指标权重的确定

土壤养分构成的灰色系统里,各养分因子之间有着复杂关系,它们对土壤养分贫瘠化状况的作用是不同的,因此指标权重的确定非常重要。目前确定权重的方法很多,主要有:特尔斐法、熵权法、因素成对比较法、灰色关联度法、层次分析法、主成分分析法、回归分析法等。本研究统筹考虑主客观方法确定权重的优势与劣势,最终选取专家咨询结合层次分析的方法,通过层次分析法科学量化专家经验,使指标权重更趋于实际。具体步骤为:(1)构建

表 1 耕地土壤养分贫瘠化评价指标、转折点及权重

Table 1 Indexes of soil infertility, turning point, and weight

| 评价指标<br>Evaluation index   | 转折点<br>Turning point |       | 指标权重<br>Index weight |
|----------------------------|----------------------|-------|----------------------|
|                            | $u_i$                | $u_l$ |                      |
| 有机质 Organic matter         | 25                   | 40    | 0.3905               |
| 全氮 Total nitrogen          | 1.25                 | 2     | 0.2761               |
| 有效磷 Available phosphorus   | 15                   | 30    | 0.1953               |
| 速效钾 Quick-acting potassium | 75                   | 150   | 0.1381               |

层次决策树,包括目标层、准则层、指标层;(2)构建参评指标重要性决策矩阵;(3)明确规则,两者比较相对重要程度分为 7 级,专家以两两比较的方式确定相对重要级别;(4)参考已有文献及有关部门各专家的意见统计分析专家打分方案,形成综合方案;(5)优化调整确定方案;(6)yaahp 测算权重;(7)进行一致性检验,一致性检验结果<0.1,则通过检验,表明权重测算结果可用。

经测算有机质为 0.3905,全氮为 0.2761,有效磷为 0.1953,速效钾为 0.1381,经检验一致性比率为 0.0454<0.1,具体见表 1。

1.4 评价方法

1.4.1 综合指数模型 耕地土壤养分贫瘠化指数采用综合指数法。相互交叉的同类指标间应采用加法进行合成。研究提出一个反映耕地土壤养分贫瘠化状况的综合性指标值 INDI (Integrated Nutrient Depletion Index),其计算公式如下:  $INDI = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij} W_j$ ,  $P_{ij} = 1 - N_{ij}$ 。其中, $P_{ij}$  表示土壤养分单因子的贫瘠化状况, $P_{ij}$  取值在 0~1 之间,取值越大则表示耕地土壤越贫瘠; $N_{ij}$  表示第  $i$  个单元第  $j$  个指标隶属度值, $W_j$  表示第  $j$  个指标权重。

1.4.2 障碍度诊断模型 土壤养分贫瘠化综合评价的目的不但在于对区域耕地土壤养分贫瘠化现状水平进行评价,更重要的是寻找引起土壤养分贫瘠化的主要障碍因素,以便于有目的有针对性地在土壤改良过程中消除障碍因子,提高耕地土壤质量。参考已有的研究,引入障碍度诊断模型,并对其面积加权修正,对研究区域耕地土壤养分贫瘠化障碍因子进行定量分析。其诊断模型如下:

$$OF_{ij} = P_{ij} \times W_j; OF_j = (\sum_{i=1}^n OF_{ij} \times S_i) / (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m OF_{ij} \times S_i)$$

其中, $OF_j$  为研究区第  $j$  个指标的平均障碍度,其大小排序可以确定区域耕地土壤养分贫瘠化障碍因素的主次关系和各障碍因素对土壤养分贫瘠化综合指数的影响程度; $OF_{ij}$  为第  $i$  个单元第  $j$  个指标的障碍度; $P_{ij}$  表示土壤养分单因子的贫瘠化状况; $W_j$  表示第  $j$  个指标对总体的贡献率,即该因子的权重; $S_i$  为第  $i$  个单元的面积。

1.4.3 叠加整合分析法 耕地土壤养分贫瘠化障碍类型采用叠加整合分析法。叠加整合分析法是一种基本的土地评价方法,是指在统一空间参考系统下,通过对不同数据进行一系列集合运算,产生新的空间关系和属性特征关系,以此发现多层数据间的相互差异、联系和变化等特征的分析方法。

## 2 研究区概况与数据来源

### 2.1 研究区概况

黑龙江省位于中国东北部,介于北纬 $43^{\circ}26'$ ~ $53^{\circ}33'$ ,东经 $121^{\circ}11'$ ~ $135^{\circ}05'$ 之间,是中国位置最北、纬度最高的省份。全省土壤分9个土纲、13个亚纲、17个土类、49个亚类、127个土属、254个土种;全省耕地1590多万 $\text{hm}^2$ ,占土地总面积的33.86%;建国以来累计为国家提供商品粮4500多亿 $\text{kg}$ ,承担着我国粮食安全重任,被称为中国“战略粮仓”,但由于耕作方式不合理、森林过度采伐、草原过度放牧和盲目开垦等原因,全省有相当一部分耕地长期处于超负荷利用状态,有机质含量下降,土壤肥力退化。2012年3月4日国务院批复的《东北振兴“十二五”规划》明确提出,“十二五”时期东北振兴的重点任务是保障国家粮食安全。《高标准基本农田建设规范》中的建设内容部分可以概括为“田、水、路、林”四项建设,旨在通过改善农业生产环境,提高土地生产率,但在具体执行过程中,因工程与地力脱节,土壤肥力退化无明显改善。

### 2.2 数据来源与基础数据库建立

土壤类型数据来源为中国土壤数据库;土壤养分数据来源为《东北黑土区耕地质量主要性状数据集》,该成果依据全国耕地地力调查与质量评价技术规程的多点混合的方法采集表层土壤样品34652个,样品风干后,剔除未分解的植物根系及残体、昆虫尸体、石块等杂物,磨碎、碾细,取足量装入纸质小袋测定其有机质、全氮、有效磷、速效钾。有机质采用重铬酸钾氧化-外加加热法,全氮采用半微量凯氏法,有效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法,速效钾采用乙酸铵浸提-火焰光度法;耕地数据、行政区划来源、矢量数据来源为黑龙江省农用地分等成果。

利用Arcgis的Clip和Identity功能处理中国土壤数据库、行政区划矢量图层、农地分等数据耕地图斑,形成黑龙江省耕地土壤数据库;借助Arcgis平台,依据《东北黑土区耕地质量主要性状数据集》,对照土壤数据说明中的土壤类型代码表,对各土壤类型进行属性字段添加与赋值,赋值内容包括有机质、全氮、有效磷和速效钾,形成黑龙江省耕地土壤养分数据库。

## 3 结果与分析

### 3.1 耕地土壤养分贫瘠化状况及生态问题分析

根据土壤养分贫瘠化综合指数公式计算出土壤养分贫瘠化的综合性指标值,研究区土壤贫瘠化综合评价指数范围为0.00~0.79,研究把土壤养分

的贫瘠化状况划分成不贫瘠(0.00~0.05)、轻度贫瘠(0.05~0.35)、中度贫瘠(0.35~0.60)、重度贫瘠(0.60~1.00)四级,利用ArcGIS9.3中的地统计模块和空间分析功能绘制土壤养分贫瘠化状况评价图(图1),对贫瘠化水平进行数理统计(表2),图中空白部分为非耕地地类,不属于研究范围。

由图1、表2可以看出,黑龙江省土壤养分贫瘠化程度总体上呈现从西南到东北逐渐减弱的趋势,全省70.58%处于轻度贫瘠及以上程度。其中,耕地土壤养分重度贫瘠区主要分布在松嫩平原西部,面积为0.47万 $\text{km}^2$ ,占耕地面积的2.95%,该区域存在的农田生态问题是土壤沙化严重、土壤养分易流失。中度贫瘠区主要分布在松嫩平原中部及三江平原西北部,面积为6.55万 $\text{km}^2$ ,占耕地面积的41.09%,其中松嫩平原中部构造上属于断陷的中央凹陷区,地势低洼,地下水位较高,主要农田生态问题是易积水且土壤盐渍化风险较大,三江平原西北部处于山前平原向平原过渡带,坡降由急变缓,变化幅度较大,主要生态问题是易积水,土壤养分增加缓慢;轻度贫瘠区主要分布在松嫩平原东部、东北和东南地区,少量分布在三江平原西部、西北和西南部,面积为4.23万 $\text{km}^2$ ,占耕地面积的26.54%,该区为波状起伏的山前平台,属于温带半湿润气候,年降水量在450 $\text{mm}$ ,土壤母质为黄土状亚黏土,发育后形成肥力高、养分足的黑土,主要生态问题是因不合理的开发利用,造成水土流失等土壤侵蚀问题,使得区域土壤养分有所降低;不贫瘠区主要分布在三江平原东北部和东部地区,面积为4.69万 $\text{km}^2$ ,占区域耕地面积的29.42%。

### 3.2 土壤贫瘠化养分障碍因子诊断与最佳量化表征性指标识别

3.2.1 障碍因子诊断 利用障碍因子诊断模型计算各单项因素的障碍度,其中有机质障碍度为0.5787,全氮为0.3050,有效磷为0.0603,速效钾为0.0559。土壤养分障碍因素的由主到次排序为有机质、全氮、有效磷、速效钾,其中有机质和全氮为主要障碍因素,占比达88.37%。

3.2.2 最佳量化表征性指标识别 借助SPSS相关分析功能,对贫瘠化指数与有机质、全氮、有效磷和速效钾含量进行相关性分析。分析表明,贫瘠化指数与土壤养分因子在0.01水平上均呈显著负相关,其中与有机质相关性为-0.960,全氮为-0.930,有效磷为-0.460,速效钾为-0.688,按照相关性大小进行排序由大到小依次为有机质、全氮、速效钾、有效磷,可见有机质是耕地土壤养分贫瘠化最佳量化表征性指标。

为了进一步分析土壤养分因子之间最佳表征性指标,研究借助 SPSS 相关分析功能对有机质、全氮、有效磷、速效钾进行相关性分析,结果见表 3。通过表 3 可以看出,有机质含量与全氮、有效磷和速

效钾含量相关性最好,相关系数分别为 0.984、0.333、0.672,因此有机质作为全氮、有效磷、速效钾最佳量化表征性指标最为合适。

3.3 土壤养分贫瘠化障碍类型划分

依据表 1 黑龙江省土壤养分贫瘠化划分标准,评价指标数值在(0,ui)区间的为贫瘠等级,在[ui,ut)区间的为较贫瘠等级。借助 Arcgis 平台的属性字段计算功能,对有机质、全氮、有效磷和速效钾贫瘠化状况进行分级,利用叠加分析功能划分,绘制土壤养分障碍类型区分布图(图 2),图中空白部分为非耕地地类,不属于研究范围;借助 Excel 建立黑龙江省耕地土壤养分贫瘠化障碍类型雷达图(图 3)。

表 3 土壤养分因子含量相关性

| Table 3 Correlation of soil nutrient components |                       |                      |                             |                               |
|-------------------------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 土壤养分因子<br>Soil nutrient                         | 有机质<br>Organic matter | 全氮<br>Total nitrogen | 有效磷<br>Available phosphorus | 速效钾<br>Quick-acting potassium |
| 有机质<br>Organic matter                           | 1                     |                      |                             |                               |
| 全氮<br>Total nitrogen                            | 0.984 **              | 1                    |                             |                               |
| 有效磷<br>Available phosphorus                     | 0.333 **              | 0.241 **             | 1                           |                               |
| 速效钾<br>Quick-acting potassium                   | 0.672 **              | 0.611 **             | 0.176 **                    | 1                             |

注: \*\* 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。  
Note: \*\* indicates that the correlation is significant at  $P=0.01$ .

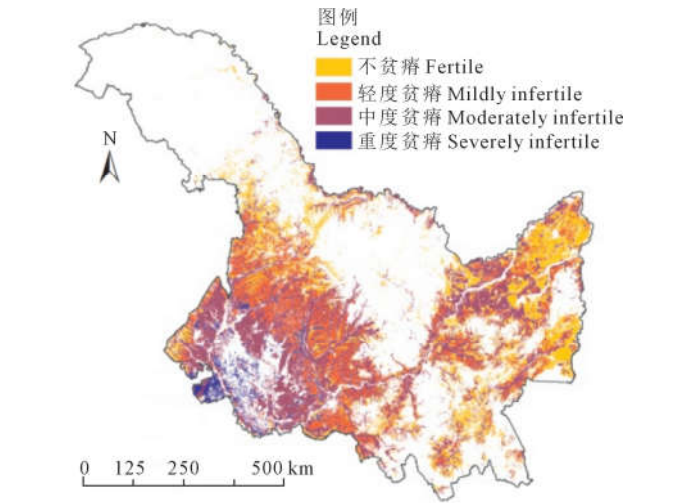


图 1 土壤养分综合贫瘠化状况  
Fig.1 Depletion of soil nutrients

表 2 土壤养分综合贫瘠化状况  
Table 2 Depletion of soil nutrients

| 贫瘠化水平<br>Depletion level  | 贫瘠化指数<br>INDI | 面积 Area<br>/10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> | 比例 Ratio<br>/% |
|---------------------------|---------------|---------------------------------------------|----------------|
| 不贫瘠 Fertile               | 0.00~0.05     | 4.69                                        | 29.42          |
| 轻度贫瘠 Mildly infertile     | 0.05~0.35     | 4.23                                        | 26.54          |
| 中度贫瘠 Moderately infertile | 0.35~0.60     | 6.55                                        | 41.09          |
| 重度贫瘠 Severely infertile   | 0.60~1.00     | 0.47                                        | 2.95           |

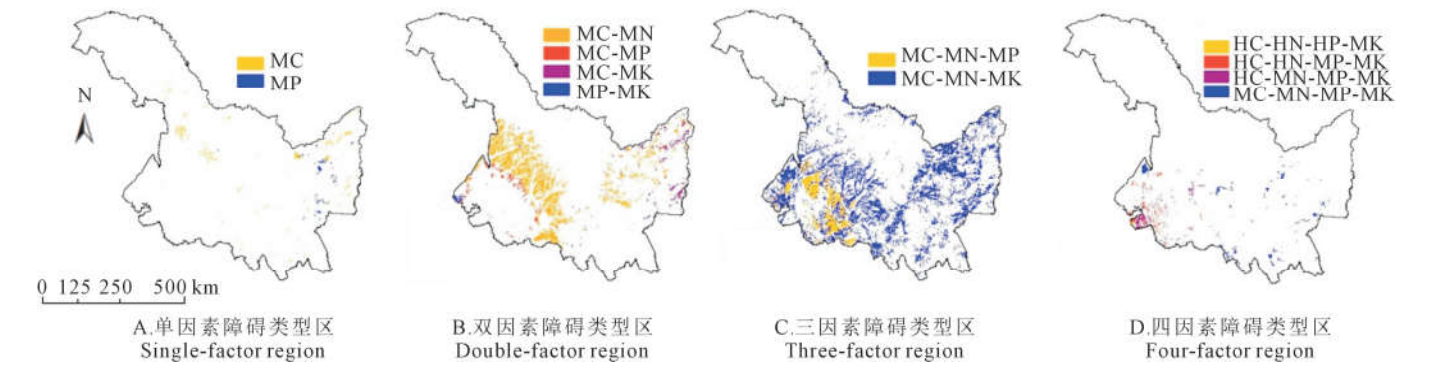


图 2 黑龙江省耕地土壤养分贫瘠化障碍类型分布图  
Fig.2 Obstacle type distribution pattern of soil nutrient depletion in cultivated land of Heilongjiang Province

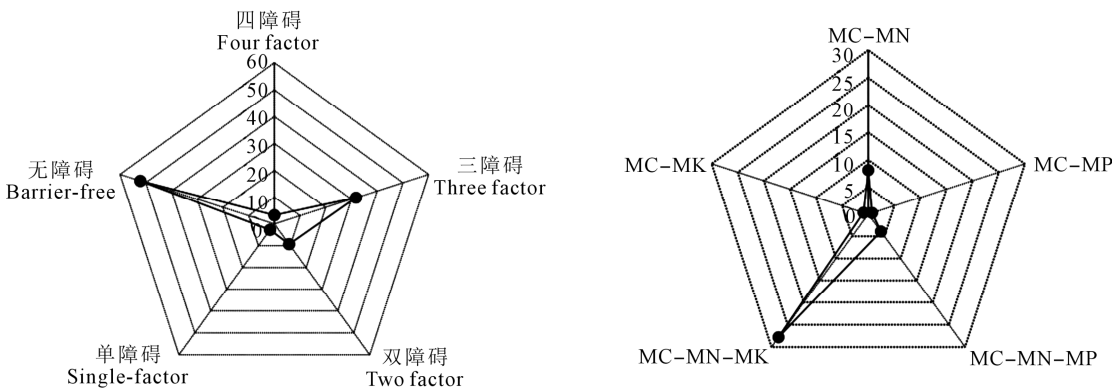


图 3 黑龙江省耕地土壤养分贫瘠化障碍类型雷达图  
Fig.3 Obstacle type radar chart of soil nutrients depletion in cultivated land of Heilongjiang Province

全氮用 N,有效磷用 P,速效钾用 K 代替。

由图 2、图 3 可以看出,黑龙江省半数以上耕地土壤养分因子处于轻度或无障碍状况,占耕地面积的 52.08%,其余 47.92%耕地存在中度及以上贫瘠化障碍因子,经进一步分析可知,耕地土壤养分障碍类型共计 14 种,其中以双因素 MC-MN,三因素 MC-MN-MP、MC-MN-MK 为主,其中 MC-MN 集中分布在松嫩平原东北、东部、东南地区;MC-MN-MP 分布在松嫩平原中部低洼区;MC-MN-MK 分布在松嫩平原东北、东部、东南丘陵谷地,松嫩平原西北部,三江平原西北部地区。由此可以看出,障碍类型区在空间上具有区域特性,内部表现为一定的自集聚性。

## 4 结论与讨论

研究选取有机质、全氮、有效磷和速效钾作为评价指标,利用专家经验法定性确定参评因子重要程度,借助层次分析法确定参评因子权重,利用隶属度模型对指标进行标准化,在 Arcgis 空间分析功能和 SPSS 数理统计功能支持下,进行黑龙江省耕地土壤养分贫瘠化评价与生态问题分析、障碍因子诊断与最佳量化表征性指标识别以及土壤养分障碍类型区空间表达。

(1)区域土壤养分贫瘠化程度总体上呈现从西南到东北逐渐减弱的趋势,全省 70.58%耕地处于轻度贫瘠及以上程度,其中重度贫瘠区主要分布在松嫩平原西部,占耕地面积的 2.95%,农田生态问题是土壤沙化严重;中度贫瘠区主要分布在松嫩平原中部构造上属于断陷的中央凹陷区、三江平原西北部处于山前平原向平原过渡带,占耕地面积的 41.09%,农田生态共性问题为易积水,其中松嫩平原还存在土壤盐渍化问题;轻度贫瘠区主要分布在松嫩平原东部、东北和东南地区,少量分布在三江平原西部、西北和西南部,占耕地面积的 26.54%,农田生态问题是水土流失。区域主要障碍因子是有机质和全氮,两者累积障碍度达到 88.37%。有机质是耕地土壤养分贫瘠化指数及养分因子含量最佳量化表征性指标,对耕地土壤养分贫瘠化状况及土壤养分因子含量具有很好的“指示”作用。区域 47.92%的耕地存在中度及以上障碍因子,障碍类型区共计 14 类,以双因素 MC-MN,三因素 MC-MN-MP、MC-MN-MK 占比最大,累积占比率为 39.84%,各障碍类型区在空间具有一定的区域性,内部表现为一定的自集聚性。

(2)研究成果具有很好的应用价值。土壤肥力主要取决于土壤及其相应的生态环境,农田生态环境直接影响土壤肥力的保持与发挥。因此,就耕地土壤养分贫瘠化治理而言,不应仅针对养分缺失的表象问题,还应从改变区域宏观农田生态环境入手,结合养分补给来治理。研究从较宏观与较微观两个层面开展耕地土壤养分贫瘠化研究,较宏观层面是对耕地土壤养分综合评价及生态问题分析,反映贫瘠化程度、区域分布和区域农田生态问题,即相对宏观的水土流失、土壤沙化、土壤盐渍化和积水等耕地退化问题;较微观层面是对耕地土壤养分贫瘠类型进行划分,反映较微观的耕地土壤养分贫瘠具体情况。因此对耕地土壤养分贫瘠化进行治理,要从较宏观层面采取工程措施对区域存在的水土流失、土壤沙化、土壤盐渍化和积水等耕地问题进行治理,以改变外部生态环境,还要从较微观层面针对养分贫瘠具体情况开展精准合理的地力培肥措施。

## 参考文献:

- [1] 卫新东,王锦妮,负学锋,等.陕西省耕地质量时空变化特征及其分异规律[J]. 农业工程学报,2018,34(3):240-248.
- [2] Cao Y G, Bai Z K, Zhou W, et al. Forces driving changes in cultivated land and management countermeasures in the Three Gorges Reservoir Area, China[J]. Journal of Mountain Science, 2013, 10(01): 149-162.
- [3] 叶回春,张世文,黄元仿,等.北京延庆盆地农田表层土壤肥力评价及其空间变异[J]. 中国农业科学,2013,46(15):3151-3160.
- [4] 焉莉,王寅,冯国忠,等.吉林省农田土壤肥力现状及变化特征[J]. 中国农业科学,2015,48(23):4800-4810.
- [5] 许仙菊,马洪波,陈杰,等.基于养分丰缺诊断和主成分分析相结合的桑园土壤肥力评价[J]. 土壤,2013,(3):470-476.
- [6] Sardiana I K, Susila D, Supadma A A, et al. Soil fertility evaluation and land management of dryland farming at tegallalang Sub-District, Gianyar Regency, Bali, Indonesia[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017, 98(1):012-043.
- [7] 叶回春,张世文,黄元仿,等.粗糙集理论在土壤肥力评价指标权重确定中的应用[J]. 中国农业科学,2014,47(04):710-717.
- [8] Pay D, Dagnar K, Frits P V. Soil nutrient depletion and population growth in Sub-Saharan Africa: A Malthusian Nexus[J]. Population and Environment, 2001, 22(4):411-424.
- [9] 张桃林,王兴祥.土壤退化研究的进展与趋向[J]. 自然资源学报,2000,15(3):280-284.
- [10] 赵其国. 我国红壤的退化问题[J]. 土壤,1995,27(6):281-285.
- [11] 韩光中,王德彩,谢贤健.土壤退化时间序列的构建及其在我国土壤退化研究中的意义[J]. 土壤,2015,47(6):1015-102.