

郭利刚,武文婷.基于主成分分析法的县级耕地质量定级研究[J].江苏农业科学,2020,48(18):269-274.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.18.052

基于主成分分析法的县级耕地质量定级研究

郭利刚,武文婷

(太原师范学院管理系,山西晋中 030619)

摘要:耕地占补平衡是实施耕地保护的重要制度,开展补充耕地质量的分等定级,是耕地保护由数量保护向数量、质量、生态“三位一体”保护的重要措施。依据山西省耕地质量现状,结合相关规程从土壤、地貌、水利三方面选取了 11 个因子作为山西省县级耕地质量定级的影响因子,采用主成分分析法将多个因子的结构简化,最终将复杂的因子总结为 2 个主成分,分析各因子综合作用的特性,以及在不同程度上综合反映出的影响耕地质量定级的信息,最终得出各因子权重,建立各因子特征值与分值对应表,综合判断山西省县级耕地质量的优劣。

关键词:主成分分析;耕地质量;定级;山西

中图分类号: F323.211 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2020)18-0269-05

随着自然资源部的成立,国土空间规划和山水田林湖草综合整治有序推进、社会资本参与土地整治项目陆续开展,跨省域补充耕地国家统筹和城乡建设用地增减挂钩节余指标跨省域调剂等多项新规大政实施,全国耕地质量统一管理势在必行^[1]。虽然耕地质量等别更新工作正有序进行,但耕地质量级别评定工作却滞后于耕地质量等别评定,加之建设占用、灾害损毁、农业结构调整、生态退耕、耕地开发、土地整治等活动,耕地的数量、质量、权属状况随时都在变化。通过年度耕地质量等别更新评价,能掌握耕地数量、权属、质量的变化状况,但在山西省内要做到耕地质量等级具有可比性、耕地分等结果和定级结果有效衔接,耕地质量定级工作是必不可少的^[2]。康宇通过分析山西省目前的耕地质量状况,指出了影响耕地质量的原因^[3];马瑞明等对省级耕地质量等级及评价体系进行了研究^[4];张紫妍等经过对现有耕地质量评价体系的剖析,提出了土壤酶活性对耕地质量影响的可能性^[5];许晓婷等采用特尔菲法建立农用地定级因素指标体系并确定各定级因素权重^[6];高星将耕地质量分为自然质量、工程质量、管理质量 3 种类型^[7]。

山西省地处黄土高原,普遍存在水土流失以及煤炭开采引起的地表塌陷等现象。本文以《农用地

定级规程》中影响耕地定级的相关指标作为依据,选取影响耕地质量的因子,即土壤、地貌、水利 3 个方面作为评价指标,运用主成分分析法对山西省的耕地质量影响因子进行简化,通过 2 个主成分构建山西省县级耕地质量定级的评价体系,以期对山西省耕地质量年度更新监测评价提供依据,为山西省土地整治项目补充耕地的质量分等定级提供参考。

1 《农用地定级规程》中的相关指标

1.1 耕地自然条件

根据农用地定级规程选取影响耕地质量的相关自然因素,选取了气候、水文、地貌、土壤、农田基本建设 5 个因素如表 1 所示。

1.2 农用地利用条件

相关指标为主要农作物的单产量、总产量以及面积、样点土地利用状况、农业生产实测数据、农业技术实验数据等统计数据。

1.3 耕地经济条件

相关指标为人均耕地、亩均纯收入、亩均资金投入、农民平均收入、乡村道路的分布状况、道路级别、距区域经济核心的间隔、耕作间隔以及田块的分散水平等。

2 山西省县级耕地质量定级影响因子选择及体系构建

2.1 山西省耕地质量现状

山西省土地面积合计 156 806.05 km²,其中耕地面积 48 036.48 km²,占全省土地总面积的 30.6%。

收稿日期:2019-10-10

基金项目:山西省耕地质量等别年度监测评价(山西省土地整理中心)项目。

作者简介:郭利刚(1981—),男,山西壶关人,博士,讲师,主要研究方向为土地整治与生态修复。E-mail:529181676@qq.com。

表 1 影响耕地质量的自然指标

因素	具体指标
气候	平均温度、降水量、水分蒸发量、无霜期、灾害气候等
水文	水源类型、水量、水质等；
地貌	地貌类型、海拔、坡度、坡向、坡型、地形部位
土壤	土壤类型、土壤有机质含量、表层土壤质地、有效土层厚度、土地盐碱情况、剖面构型、土壤侵蚀情况、土壤污染情况、土壤保水供水情况等
农田基本建设	灌溉条件、排水条件、田间道路条件、田块大小、平整度、破碎程度等

山西省现有耕地中,旱地占比较大,占全省耕地面积的 80% 左右;在旱地中,坡耕地面积占比较大,占全省旱地总面积的 43.66%;在现有坡耕地中,自然坡面坡度低于 6° 的坡耕地面积为 22.1%,自然坡面坡度大于 6° 的坡耕地面积为 77.9%。全省高产田 102 933 hm²,占耕地面积的 25.34%;中低产田面积为 30 322.73 km²,占耕地面积的 74.65%^[8]。

山西省耕地质量基础薄弱,水土流失严重,且人们在土地利用方面只用不养、粗放经营,致使土壤有机质、土壤养分含量、土壤蓄水能力下降,而土地综合整治项目新增耕地不断增加,各种因子综合作用造成了山西省的耕地质量等级不一,各地农作物产量皆有不同。

2.2 因子选择

2.2.1 土壤因素 结合山西省耕地情况,土壤因素主要选取了表层土壤质地(壤土、黏土、沙土、砾质土)、盐渍化程度(无、轻度、中度、重度)、土壤有机质含量(<5、5~<10、10~<20、20~<25、25~<30、≥30 g/kg)、有效土层厚度(<30、30~<60、60~<100、100~<150、≥150 cm)、土壤污染程度(轻微、轻度、中度、重度)、水土流失状况(无、轻度、中度、重度),其中增加了水土流失状况作为山西省耕地质量定级的特殊因子。

表层土壤质地是衡量耕地质量的一个重要评价因子,土壤质地一般分为 4 类:壤土、黏土、沙土、砾质土^[9]。土壤质地过沙或过黏都不利于农作物的生长,农作物只有在适合的土壤上才能茁壮成长,农作物的产量和土地利用效率才能有效提高。土壤盐渍化是土地退化、耕地质量降低的一种表现,是影响现代耕地质量的关键^[10]。

盐渍化会影响耕地的质量,从而影响农作物生存,能决定农作物产量的多少。土壤有机质是农作物的营养来源,对农作物生长至关重要,农作物生长情况也可体现出耕地质量的情况^[11]。不同地区土壤有机质含量不同,一般来说,耕地的土壤有机

质含量在 5% 以上,在森林中含量相对较高,在荒漠土、风沙土中含量相对较低^[12]。盐渍化主要有 4 个程度:无、轻度、中度、重度。

有效土层厚度指作物根系所能到达的深度,也就是可利用的表层土壤厚度。土壤厚度对农作物生长较为重要,一般土层越厚,作物扎根越深,可获得的营养也越多,该地的耕地质量相对较好。

土壤污染造成耕地土壤环境质量下降,使土地可持续利用受到较大威胁,这也会在不同程度上影响农产品的安全。在耕地的利用中,人类活动不可避免地造成不同程度的土壤污染,从而引起了耕地质量的下降,这不仅会降低农作物产量,也使农产品无法安心食用,让人们粮食安全产生质疑。

山西省位于黄土高原,土质松散,加上年降水量少而不均,夏日暴雨集中,使得该地区土壤极易被侵蚀^[13]。此外,由于部分地区植被覆盖率低,使大量的地面裸露在外。而人类活动减少了植被覆盖,如人工林的过度种植会造成深层土壤水分损失过大,使区域内生态系统连续遭到破坏,而且由于复原期较长,不能及时恢复,从而影响耕地质量。

2.2.2 地貌因素 山西省地貌形态多样,本研究选择地形坡度作为耕地质量的影响因子。地形坡度是影响土地质量的重要因子,不同坡度下,耕地质量及农作物生长的状况不同。根据相关资料,将耕地坡度划分为 5 个级别,即 <2°、2°~<6°、6°~<15°、15°~<25°、≥25°^[14]。耕地的坡度越大,越难保持土壤水分、养分含量,影响农作物产量。

山西省的煤炭业发达,在自然或人为条件的作用下,开采煤炭可能导致地表塌陷、土地损毁等,这些对耕地质量造成重大破坏,也会使区域经济不能稳定发展^[15]。地表塌陷多发生在采矿地区,塌陷分为不同程度,主要是无塌陷、轻度塌陷、中度塌陷、重度塌陷、完全破坏 5 种^[16]。

2.2.3 水利因素 水分对耕地质量、农作物的生存生长十分关键,不同农作物对水分的需求不同。因

此,注重水利在耕地定级中的影响是十分有必要的。作为影响因子(表 2)。

的。本文选择了灌溉水源、灌溉保证率、排水条件

表 2 水利因素

灌溉水源	灌溉保证率	排水条件
用地表水灌溉	充分满足,包括水田、菜地和可随时灌溉的水浇地	有健全的干、支、斗、农排水沟道(包括抽排),无洪涝灾害
用浅层地下水灌溉	基本满足,有良好的灌溉系统,在关键需水生长季节有保证灌溉的水浇地	排水体系(包括抽排)基本健全,丰水年暴雨后有短期洪涝发生(田面积水时间 1 ~ <2 d)
用深层地下水灌溉	一般满足,有灌溉系统,但在大旱年不能保证灌溉的水浇地	排水体系(包括抽排)一般,丰水年大雨后有洪涝发生(田面积水时间 2 ~ <3 d)
	无灌溉条件,包括旱地与望天田	无排水体系(包括抽排),一般年份在大雨后发生洪涝(田面积水时间 ≥3 d)

灌溉水源是指耕地浇灌的用水来源,将地表水和地下水用作农用地浇灌。地表水包括河川径流、湖泊等地表径流,地下水主要是浅层地下水。灌溉保证率是指提前计划的灌溉用水量能够保证的土壤灌溉,能满足作物茁壮成长的需要,也影响耕地的质量。不同地域地形的排水系统不同,对雨后地表积水的排解能力也有差别,一般坡地和高地的排水条件较好。在局部多雨、低洼地区,易出现洪涝灾害,如果没有较为完善的排水系统,农作物很容易遭到破坏,因此排水条件对耕地质量产生着重大影响。

2.3 体系构建

2.3.1 研究方法 在山西省县级耕地质量定级的因子选择上,为求信息的全面与完整,在定级过程中收集了很多的相关变量;为了简化复杂变量又不造成信息流失,在因子分析过程中选择主成分分析法。使用该方法把选取的 11 个因子合成为几个综合指标,即提取出几个主成分,其中每个主成分都能在不同程度上综合反映出影响耕地质量定级的绝大部分信息,而且包含的信息彼此不重复。结合山西省的耕地质量现状,本文选取的 11 个变量都在不同水平上反映出耕地质量的定级信息,在各个变量之间也存在一定的关联性。

累积方差贡献率是提取主成分的关键,累积方差贡献率是方差贡献率的累加。方差贡献率可表现各主成分中各指标在影响耕地质量定级的能力大小。此外,原则上要求所选各变量的公因子方差尽可能接近,若某一变量与其他变量的公因子方差相比数值过小,就说明这个变量在提取过程中丢失了过多信息,可以适当增加主成分的数量^[17]。

2.3.2 权重确定 运用 SPSS 19.0 对各因子进行分析,提取相关信息。将选取的 11 个变量分析之后,得到了解释总方差(表 3)、成分矩阵(表 4),最终得出各因素权重(表 5)。

从表 3 可以看出,成分 2 的初始特征值大于 1,且累积方差贡献率达 91.857%,大于 80%,说明能较好地表达所研究问题的信息,可以用前 2 个成分来代替本来的 11 个指标。从表 4 可知,主成分 1 解释了灌溉保证率、排水条件、土壤表层质地、水土流失状况、土壤盐渍化程度、土壤污染程度 6 个变量,可解释为耕地地表状况,即地表土壤情况对耕地质量的影响能力,由于土壤与耕地质量密不可分,将直接影响作物产量,能直接体现耕地好坏;主成分 2 解释了有效土层厚度、地表塌陷程度、地形坡度,将其解释为耕地自然状况,主要反映地形、作物根系能到达地下的距离对耕地质量的影响能力。

表 3 解释的总方差

成分	初始特征值			提取平方和载入			旋转平方和载入		
	合计	方差贡献率 (%)	累积方差贡献率 (%)	合计	方差贡献率 (%)	累积方差贡献率 (%)	合计	方差贡献率 (%)	累积方差贡献率 (%)
成分 1	8.7	79.091	79.091	8.7	79.091	79.091	6.048	54.986	54.986
成分 2	1.404	12.766	91.857	1.404	12.766	91.857	4.056	36.872	91.857
成分 3	0.553	5.031	96.888						
成分 4	0.342	3.112	100						

表 4 成分矩阵

成分	载荷										
	土壤表层质地	盐渍化程度	土壤有机质含量	有效土层厚度	土壤污染程度	水土流失状况	地形坡度	地表塌陷程度	灌溉水源	灌溉保证率	排水条件
成分 1	0.965	0.965	0.684	0.860	0.965	0.965	0.860	0.860	0.655	0.965	0.965
成分 2	-0.246	-0.246	0.523	0.481	-0.246	-0.246	0.481	0.481	-0.271	-0.246	-0.246

表 5 县级耕地质量定级指标体系权重

因素	权重
土壤表层质地	0.095
盐渍化程度	0.095
土壤有机质含量	0.080
有效土层厚度	0.097
土壤污染程度	0.095
水土流失状况	0.095
地形坡度	0.097
地表塌陷程度	0.097
灌溉水源	0.059
灌溉保证率	0.095
排水条件	0.095

根据表 3 和表 4,先确定主成分在各线性组合中的系数,再确定各因素在综合得分模型中的系数,最后确定出各因子的权重,结果见表 5。

2.3.3 耕地质量定级指数的计算 根据各因子权重进行赋分,得到特征值与分值对应表,如表 6 所示。

结合《农用地定级规程》,山西省耕地质量定级可采用统一指标因素法,通过加权计算耕地定级指数,计算公式如下:

$$H_i = \sum w_j \times f_{ij} (i = 1, 2, \cdots, p; j = 1, 2, \cdots, n)。(1)$$

式中: H_i 为第 i 个定级单元的定级指数; i 为定级单元编号; j 为定级因素编号; w_i 为第 j 个定级因素的权重; f_{ij} 为第 i 个定级单元内第 j 个定级因子的分值。

表 6 因子特征值与分值

因素	评分标准
土壤表层质地	壤土 = 100,黏土 = 80,沙土 = 65,砾质土 = 40
土壤有机质含量(g/kg)	$\geq 30 = 100, 25 \sim < 30 = 90, 20 \sim < 25 = 80, 10 \sim < 20 = 60, 5 \sim < 10 = 45, < 5 = 30$
有效土层厚度(cm)	$\geq 150 = 100, 100 \sim < 150 = 90, 60 \sim < 100 = 70, 30 \sim < 60 = 60, < 30 = 30$
地形坡度(°)	$< 2 = 100, 2 \sim < 6 = 90, 6 \sim < 15 = 60, 15 \sim < 25 = 30, \geq 25 = 20$
盐渍化程度	无 = 100,轻度 = 90,中度 = 70,重度 = 40
土壤污染程度	轻微 = 100,轻度 = 80,中度 = 60,重度 = 40
水土流失状况	无 = 100,轻度 = 80,中度 = 60,重度 = 30
灌溉水源	地表水灌溉 = 100,浅层地下水灌溉 = 80,深层地下水灌溉 = 60
地表塌陷程度	无 = 100,轻度 = 90,中度 = 60,重度 = 30,完全破坏 = 20
灌溉保证率	充分满足,包括水田、菜地和可随时灌溉的水浇地 = 100;基本满足,优良好的灌溉系统,在关键需水生长季节有灌溉保证的水浇地 = 90;一般满足,有灌溉系统,但在大旱年不能保证灌溉的水浇地 = 60;无灌溉条件,包括旱地与望天田 = 30
排水条件	有健全的干、支、斗、农排水沟道(包括抽排),无洪涝灾害 = 100;排水体系(包括抽排)基本健全,丰水年暴雨后有短期洪涝发生(田面积水 $1 \sim < 2\text{ d}$) = 90;排水体系(包括抽排)一般,丰水年大雨后有洪涝发生(田面积水 $2 \sim < 3\text{ d}$) = 70;无排水体系(包括抽排),一般年份在大雨后发生洪涝(田面积水 $\geq 3\text{ d}$) = 50

2.3.4 耕地质量级别确定 本文选取山西省耕地质量定级评价试点县(市)阳泉市郊区作为研究对象,采用主成分分析法进行耕地质量定级分析,阳泉市郊区耕地质量定级指数最大为 98.99,最小值为 65.00,运用总分频率曲线法对定级指数进行频率统计,选择频率曲线突变处作为级别界限,将阳泉市郊区耕地级别数定为 5 级,从 1 级到 5 级,耕地

质量依次下降,1 级地为最优级别,5 级地为最劣级别(表 7)。

如表 8 所示,阳泉市郊区耕地质量级别分为 5 级,1 级地级别最高,质量好,5 级地级别最低,质量差。大多数耕地质量为 2 级、3 级,其中 2 级地面积最大,达到 7 019.32 hm²,占比 56%,其次是 3 级,面积为 3 378.38 hm²,面积较小的为 4 级、1 级和 5

表 7 阳泉市郊区耕地级别总分值区间

耕地级别	定级指数区间
1 级	65.00 ~ 70.99
2 级	71.00 ~ 76.99
3 级	77.00 ~ 82.99
4 级	83.00 ~ 88.99
5 级	89.00 ~ 98.99

表 8 阳泉市郊区耕地质量分级面积统计

乡镇	面积(hm ²)					
	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	总计
开发区	0.00	11.23	8.42	2.59	1.58	23.83
河底镇	63.59	1 713.99	673.06	197.01	43.79	2 691.44
平坦镇	71.78	801.27	567.26	221.67	48.95	1 710.93
义井镇	61.75	312.98	203.78	66.48	16.32	661.31
荫营镇	103.11	1 881.02	847.60	169.83	17.76	3 019.32
西南昇乡	125.93	1 151.32	503.83	197.74	312.20	2 291.02
杨家庄乡	35.74	561.26	242.18	46.77	2.42	888.36
旧街乡	17.66	391.71	245.66	138.69	46.58	840.30
李家庄乡	54.61	194.53	86.60	15.84	1.37	352.96
总计	534.18	7 019.32	3 378.38	1 056.62	490.97	12 479.47
比例(%)	5	56	27	8	4	100

一部分耕地质量较低,而西南昇乡的 5 级耕地相对来说面积较大。

3 结论与讨论

山西省部分地区有水土流失现象,这些地区煤炭开采较多,容易出现地表塌陷,结合农用地规程中的相关指标和山西省历年来耕地定级的实际情况,本研究最初选取了 11 个影响因子,运用主成分分析法,对所选取的因子进行分析,得到影响山西省耕地定级的 2 个主成分,通过主成分的解释总方差和成份矩阵表,计算出各因子的权重,从而确定各因子特征值与分值表,科学地构建山西省县级耕地质量定级评价体系,为山西省县级耕地质量的定级工作提供 1 个较为科学的依据。

本研究根据山西省的特殊情况,增加了水土流失和地表塌陷因子,但是这 2 个因子在山西省南北部的县级耕地质量定级中影响不同。水土流失状况存在于山西省部分地区,它对于山西省南部的耕地质量定级相对于东北部来说影响较小。山西省的煤炭开采主要集中在山西北部,因此地表塌陷情况多出现在山西北部地区,这个因子对于山西南部的耕地质量定级影响也相对较小。而影响山西省

级地。

运用主成分分析法对阳泉市郊区耕地质量进行定级,定级结果能科学客观反映耕地质量的优劣。荫营镇大多土壤质地为壤土,土壤有机质含量较高,土壤基本无污染,耕地质量相对较高,而从表 8 可以看出荫营镇 2、3 级耕地面积最大;西南昇乡部分地区地形坡度较大,水土流失容易发生,会有

耕地质量的因素众多,在实际定级和实践过程中,是否还有其他影响山西省耕地质量定级的因子,有待进一步讨论分析,本研究构建的耕地质量定级体系还有很大的完善空间。

参考文献:

- [1]牛建中,薄江宏,张文琴. 基于新形势下的耕地质量分等定级研究[J]. 国土资源科技管理,2018,35(4):116-122.
- [2]詹波. 基于 GIS 的连城县耕地质量分等定级研究[J]. 湖南农业科学,2016(6):49-51,54.
- [3]康宇. 浅谈山西省耕地质量现状及对策[J]. 山西农经,2016(5):45-46.
- [4]马瑞明,马仁会,韩冬梅,等. 基于多层次指标的省域耕地质量评价体系构建[J]. 农业工程学报,2018,34(16):249-257.
- [5]张紫妍,苏友波,字春光,等. 耕地质量评价体系研究进展[J]. 安徽农业科学,2018,46(31):1-3,7.
- [6]许晓婷,隋立春,李芹芳,等. 基于 GIS 的山区农用地定级方法研究[J]. 测绘通报,2014,(11):46-49.
- [7]高星. 耕地质量等级提升的土地整治项目设计关键技术研究[D]. 北京:中国地质大学,2016:27-28.
- [8]山西省自然资源厅. 山西省土地资源概况[EB/OL]. (2015-07-14)[2019-10-01]. http://landchina.mlr.gov.cn/zygk/201507/t20150714_1358915.html.
- [9]彭要培. 长安区影响耕地质量的障碍因子分析及耕地生产潜力研究[D]. 西安:长安大学,2017:20-21.

王惠贞,李 丹,吴瑞芬,等. 1961—2017 年内蒙古霜冻时空分布特征及演变趋势[J]. 江苏农业科学,2020,48(18):274-282.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.18.053

1961—2017 年内蒙古霜冻时空分布特征及演变趋势

王惠贞,李 丹,吴瑞芬,吴向东

(内蒙古生态与农业气象中心,内蒙古呼和浩特 010051)

摘要:为深入研究内蒙古霜冻发生的演变规律,提高防霜减灾能力,促进气候资源合理开发利用,以 1961—2017 年内蒙古 107 个气象站的逐日最低地温资料为基础,根据霜冻气候指标统计霜冻日数,并采用线性倾向估计法、旋转正交经验函数(EOF)分析法及 M-K 突变检验等方法分析内蒙古霜冻日数的时空变化特征和突变情况。结果表明,(1)内蒙古地区平均霜冻日数呈明显下降趋势,且变化程度与海拔高度呈显著负相关关系。(2)从内蒙古各地区霜冻日数近 57 年的平均值分布特征来看,东北部地区霜冻日数最多、西部和东南部地区略少。(3)自 20 世纪 60 年代以来,内蒙古年平均霜冻日数发生突变的时间为 1987 年。(4)通过经验正交函数分解(EOF)和 EOF 分析可知,内蒙古霜冻日数空间变化特征受气候因素、地形等因素影响,分为中西部地区、东北部地区和东南部地区等 3 个区域,中西部地区霜冻日数减少趋势最为明显,随着全球气候变化加剧,该地区可能成为霜冻脆弱区。

关键词:霜冻日数;年际变化;突变;EOF;EOF

中图分类号:S425 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2020)18-0274-09

目前,全球变暖已是不争的事实,联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第 5 次评估报告指出,近 130 年(1880—2012 年),全球地表温度增高 0.85℃,不同区域气候变暖的范围和幅度各异,我国 1951—2017 年地表年平均气温平均每 10 年升高 0.24℃^[1-3]。在全球变暖的气候背景下,极端气候特征也出现一系列的变化,其中,霜冻的发生受温度变化的控制,是影响农业生产的重要因素之

一^[4]。近年来,国内外众多学者围绕霜冻的分布特征和气候变化特征及霜冻灾害评估等方面进行了系统的研究,结果表明,北欧和北美霜冻日数呈减少趋势,且变化趋势有明显的地域差异^[5-7],20 世纪 90 年代以后我国大部地区霜冻日数呈缩短趋势^[8],且霜冻日数的变化具有明显的区域特征^[9]。影响我国宁夏、西藏、贵州等地区霜冻日数变化特征的因素较多,时空变化规律有区域性和季节性等差异^[10-14],且霜冻日期的变化与极涡、副热带高压所处的位置及变动有直接关系^[15]。

内蒙古地形和气候复杂多样,霜冻主要出现在秋季和春季,是影响内蒙古地区玉米、马铃薯、大豆等农作物生产的主要因素之一^[16]。目前针对内蒙古霜冻的研究较多,包括对初霜冻日期、终霜冻日期及作物霜冻临界温度等方面的研究^[17-19],但霜冻日数的变化特征尚不清楚。本研究以日最低气温 <0℃ 的日数作为霜冻指标,揭示近 57 年内蒙古

收稿日期:2019-09-03

基金项目:内蒙古自治区自然科学基金(编号:2017MS0411);内蒙古自治区气象局科技创新项目(编号:nmqxkjex201915);中国气象局气候变化专项(编号:CCSF202025)。

作者简介:王惠贞(1988—),女,内蒙古呼和浩特人,硕士,工程师,主要从事应用气象与农业气象灾害防御研究。E-mail:1695920285@qq.com。

通信作者:李 丹,硕士,工程师,主要从事生态气象学研究。E-mail:40342051@qq.com。

[10]王 宏. 基于土地利用/覆盖类型的土壤盐渍化敏感性研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学,2011:6-7.

[11]王芳芳,吴世新,乔木等. 基于 3S 技术的新疆耕地盐渍化状况调查与分析[J]. 干旱区研究,2009,26(3):366-371.

[12]段茂庆. 抬田措施对水稻土有机碳和养分的含量影响及评价[D]. 南昌:南昌工程学院,2016:2.

[13]魏 童,谭军利,马中昇. 黄土高原地区水土保持措施对土壤水分影响研究综述[J]. 节水灌溉,2018(10):97-99,103.

[14]庞珊珊. 公安县耕地多目标适宜性评价及潜力研究[D]. 武汉:华中师范大学,2014:23-25.

[15]王必英. 山西采煤塌陷对土地的破坏及防治对策探讨[J]. 环境与可持续发展,2013(5):97-99.

[16]魏婷婷. 基于 SWAT 模型的采煤塌陷对泗河流域径流的影响研究[D]. 北京:中国矿业大学,2015:15-16.

[17]冯长春,侯玉亭. 城镇土地评价中主成分分析法的应用[J]. 中国国土资源经济,2007(7):27-31,47.