

基于 GIS 的生物迁徙廊道构建方法探索及应用

孙道成, 杨立焜* (中规院(北京)规划设计公司, 北京 100044)

摘要 随着城市化步伐的加快, 持续扩张的城市建设用地导致物种栖息地不断流失, 生态廊道作用有限或受到挤占, 生境破碎化程度日益严重。利用图论中最短路径算法和 ArcGIS 的空间分析功能, 对生境中动物迁徙廊道的识别与构建进行研究; 在此基础上提出通过生物迁徙廊道构建生物栖息地的概念, 对区域的生物栖息地进行生态恢复与重建, 保持区域物种多样性起到关键作用。该方法为区域土地管理以及生态环境保护规划提供一定的科学依据。

关键词 生态阻力面模型; 生物迁徙廊道; 最短路径算法; 空间分析
中图分类号 TU 984 **文献标识码** A
文章编号 0517-6611(2020)16-0078-04
doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.16.021



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Exploration and Application of GIS-based Biological Migration Corridor Construction Method
SUN Dao-cheng, YANG Li-kun (CAUPD (Beijing) Planning and Design Company, Beijing 100044)

Abstract With the acceleration of urbanization, the continuous expansion of urban construction land has led to the continuous loss of species habitats, the role of ecological corridors has been limited or occupied, and the degree of habitat fragmentation has become increasingly serious. Using the shortest path algorithm in graph theory and the spatial analysis function of ArcGIS to study the identification and construction of animal migration corridors in habitats. On this basis, the concept of constructing biological habitats through biological migration corridors is proposed, and ecological restoration and reconstruction of biological habitats in the region are played to maintain the key role of regional species diversity. This method provides a certain scientific basis for regional land management and ecological environmental protection planning.

Key words Ecological resistance surface model; Biological migration corridor; Shortest path algorithm; Space analysis

生态安全格局是支持城市生态安全的关键性格局, 对保护城市生态系统结构和功能、保障城市的生态系统服务具有重要的作用^[1-2]。随着城市化进程的加快, 城市无序扩张导致植被、绿地被侵占或者破碎化, 对自然资源的大量开采, 引发了许多环境污染问题^[3], 生态安全格局也遭受了不同程度的破坏, 由此带来的直接后果就是物种栖息地的丧失, 生物多样性程度降低^[4]。但仅仅对栖息地的保护是不够的, 虽然保存了部分生境, 但客观上人为划定的保护区容易形成一个单独的生态孤岛, 不同栖息地之间物种群落难以维持正常的物质和能量流通, 物种多样性保持的效果有限^[5], 所以生态廊道在物种保持中的作用不能忽视^[6]。尽管越来越多的研究人员认识到了生态廊道的重要性, 但目前对生态廊道识别与提取的方法研究还较少^[7-8]。笔者利用 GIS 构建生态阻力面和最短路径算法思想, 以长治双休为实例, 对生态廊道识别与提取方法进行了初步探讨。

1 资料与方法

1.1 研究区域概况 研究区位于山西省的东南部、长治市的中部(图 1)。研究区由长治市的潞州区、屯留区、上党区和潞城区组成, 总土地面积约 2 630 km²。研究区域形态为南北向的“T”形, 东部毗邻为太行山区, 西部接近太岳山区, 中部区域为上党盆地。

1.2 数据来源 土地利用现状图、基本农田分布图、湿地和森林公园边界、地貌和路网等由地方政府部门提供。DEM 数据(30 m 分辨率)由地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)下载得到, 利用 ArcGIS 提取得到坡度数据。

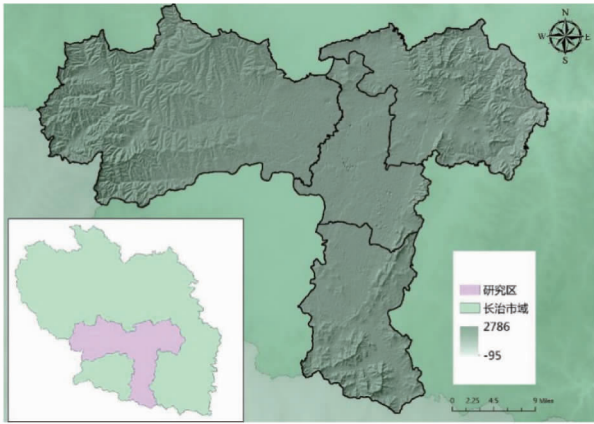


图 1 研究区示意图

Fig.1 Overview of the study area

1.3 研究方法 根据现有研究, 可以使用阻力的概念来表述生态过程对地面覆盖类型的响应和反馈^[9]。具体体现为动物穿越不同地面覆盖类型时, 其生态过程带有克服空间阻力的特性, 并可用费用距离、最小累积阻力等加以度量, 所有这些阻力的度量实际上均可视为空间距离和地面覆盖类型概念的扩展。根据动物趋利避害的本能, 往往会自发选择阻抗小的路径迁徙, 例如动物在迁徙过程中通过城镇和交通线时, 比通过森林和农田时面临更大的危险^[7]。基于这一思想, 建立生态廊道识别规则, 具体过程如下。

1.3.1 生态阻力面的构建方法。

1.3.1.1 生态廊道“源”的确定。“源”(source)是构建廊道向外扩散的起点和基地, 具有向四周扩张或吸引的能力, 扩张能力或吸引能力的大小与“源”的性质和四周传播媒体的性质有关^[10]。该研究所构建的生态阻力面模型中的源是现状山脉、水系、保护区等生态条件较好区域, 一般而言, 区位越

作者简介 孙道成(1985—), 男, 宁夏石嘴山人, 工程师, 硕士, 从事生态规划、系统修复研究。* 通信作者, 工程师, 博士, 从事生态规划、系统修复研究。

收稿日期 2020-01-20; **修回日期** 2020-02-28

远离市中心、人口密度越小、开发程度越低、生态条件越好的区域其迁徙扩展能力越好。

1.3.1.2 生态阻力面的构建。由于基面特性差异,动物迁徙过程中所受到的阻力是不同的,反映了动物迁徙的难易程度^[11]。该研究将基面阻力分为生态障碍和生态阻力 2 类。生态障碍可以包括城市建设区、村镇等各级各类阻碍动物迁徙区域,也可以根据政策调控的需要进行调整,一旦确定则构成动物迁徙的刚性约束,阻力系数最大,实际赋值过程中可将其设为足够大。生态阻力可以从相对高差、植被覆盖、土地覆盖、生态重要性以及与水系的关系 5 个方面建立评价体系。一般情况下,土地的相对高差越陡峻、植被覆盖度越低、生态重要性越低、离水系越远,越不利于动物迁徙,其阻力系数也越大。除此之外,不同土地覆盖类型的生态阻力也不相同。

1.3.2 最短路算法。生态廊道的关键在于确定动物迁移的最小累计阻力路径,其中确定最小累计阻力路径的方法最常见使用的是图论中的最短路算法^[12]。在计算机科学中图论得到广泛应用,尤其最短路算法作为重要的最优化算法之一得到较多关注,常用的算法包括 Dijkstra 算法、Warshall-Floyd 算法等^[13]。这类算法都需要建立所有节点邻接矩阵,当需要计算较多节点时,邻接矩阵会非常大,占用大量的内存空间,计算效率下降^[14]。该研究选用 ArcGIS 软件 Spatial Analyst 模块功能中计算基于栅格数据的最小累积阻力路径,该计算模块以图论为理论核心,处理数据类型为栅格。

1.3.3 生态廊道的识别。在 ArcGIS 软件空间分析模块计算最小累积阻力路径中,生态廊道通常理解为各“源”间的低累积阻力谷线,是两“源”间最容易联系的低阻力生态通道和“源”间生态流的高效通道与联系路径^[15]。在最小累积阻力模型中,廊道设定在“源”间低阻力最低的“谷线”附近,每一个“源”都有一条或多条穿过“谷线”的廊道与其他“源”相连接^[16]。

2 结果与分析

2.1 生态廊道构建实例应用

2.1.1 构建研究区生态阻力面。影响廊道分布和位置的因素较多,其中最主要的影响因素是土地利用和植被覆盖的空间格局。林地、农田、草地等绿色空间均可为物种迁徙提供场所,河流、干渠等蓝色空间也可物种迁徙提供场所,城市建成区则难以成为物种迁移运动的廊道;并且植被覆盖度越高、植被质量越好的区域越适宜物种的迁徙。根据这些原则,研究选取区域土地利用现状来建立区域景观阻抗表面,其中土地利用数据来自国土利用第二次调查数据。生态阻力面的具体计算步骤如下:①依据不同土地利用对物种迁徙的作用,将土地利用现状赋值因子,其中城市建设用地赋低值,草地、农田和林地则依次赋高值(表 1);②利用地理空间数据云下载 DEM 数据,用栅格计算工具计算区域相对高差数据,根据相对高差值越大,则坡度变化越大,阻抗值越大的原则,将研究区域分别赋值得到相对高差因子;③根据土地利用现状对建设用地和河流进行缓冲区分析,距离建设用地

越远、河流越近则有利于生物迁徙,反之则不利于生物迁徙;④将①~③中得到的 4 个因子数据重采样到 30 m 空间分辨率之后进行栅格求和,然后将求和结果归一化,得到最终的生态阻力面(图 2)。

表 1 各阻力因子的阻力值与权重值

评价因子 Evaluation factor	分类 Classification	分值 Score	权重 Weight
土地类型 Land type	林地	1	0.3
	草地	2	
	河流水面	3	
	基本农田	2	
	果园	5	
	滩涂水面、坑塘水面	6	
	水工用地	7	
	风景名胜特殊用地	4	
	其他	9	
	建成区、道路、采矿用地	10	
距建成区距离 Distance from built-up area//m	>300	0	0.2
	>200~300	4	
	0~200	8	
距水体距离 Distance from water//m	≤200	0	0.2
	>200~500	6	
	>500	9	
高程 Elevation	≤2	1	0.3
	>2~4	3	
	>4~8	5	
	>8~16	7	
	>16	9	

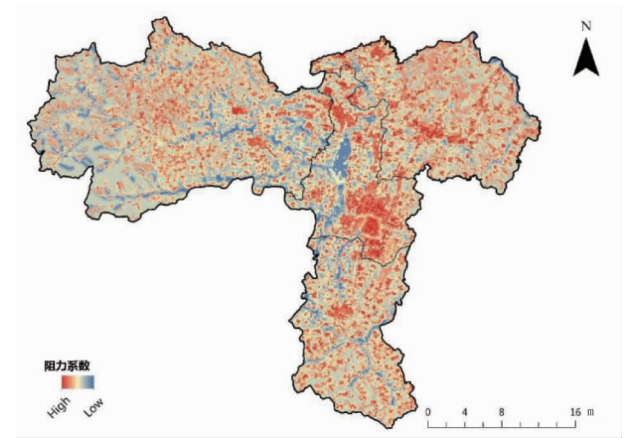


图 2 研究区生态阻力面

Fig.2 The ecological resistance surface of the research area

2.1.2 廊道的识别与提取。根据研究区中划定的禁止开发区,结合研究区域的生态资源现状,确定 11 处源地与目的地。将空间位置相邻、存在物种迁徙需求的栖息地配对,分别作为源地与目的地,运用“2.1.1”方法,计算提取配对栖息地之间的廊道(图 3)。

在计算中,综合考虑廊道长度和区域保护目标物种对廊道宽度的需求,提取两栖息地之间最小累积阻力路径(single path)面积 8 倍区域(按栅格数计)作为廊道,即廊道栅格数为最小累积阻力路径栅格数的 8 倍,当最小累积阻力路径上

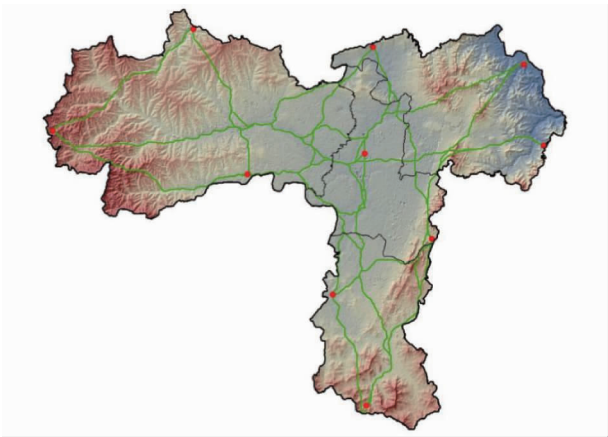


图 3 识别与提取的廊道

Fig.3 Identification and extracting corridor

所有栅格均满足四邻规则时,生态廊道平均宽度为 800 m;考虑景观基质的不均匀性,这一条件难以满足,因此廊道平均宽度小于 800 m,但基本满足 200~600 m 的廊道宽度要求;并且根据路径计算结果中的廊道生物迁徙成本数据进行赋值。除此之外考虑廊道冗余性,对冗余廊道的生物迁徙成本数据进行叠加(图 4),颜色越重表示生物迁徙通道重要性越高,具有较高的生态价值。

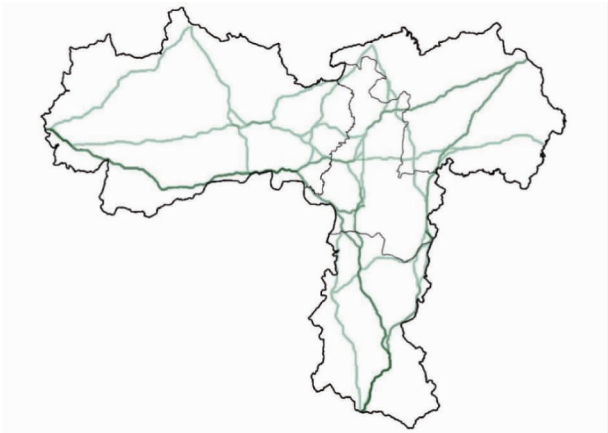


图 4 构建廊道权重

Fig.4 Weight of the constructed corridor

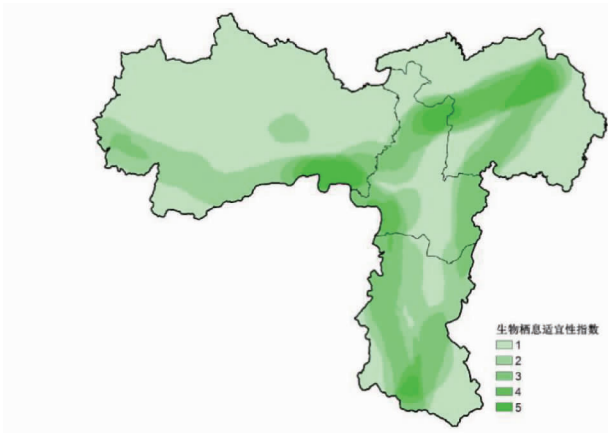


图 6 重要生态斑块识别和构建

Fig.6 Identification and construction of important ecological patches

2.2 生态破碎度分析 我国正处在城镇化加速发展时期,土地利用变化所引发的景观格局变化强烈,景观空间异质性显著^[17]。特别是在城市边缘区,随着城镇建设不断扩张和现代化交通运输网络的构建与发展,景观破碎化态势非常明显^[18]。研究区域内近 30 年的城镇化,建设用地无序侵占生态用地,破坏生态系统机理。使用生态形状破碎指数方法(FN)对研究区域内的生态破损度进行计算,结果见图 5。结果显示,面积越大、连续成片的生态斑块对生态系统的调节作用越强,也越稳定,更加应在城乡建设中得到保护;建设用地无序扩张,导致生态斑块破碎加剧,生态空间交流不畅,各个生态斑块之间的有效联系大大降低,生态系统的稳定性遭到破坏。

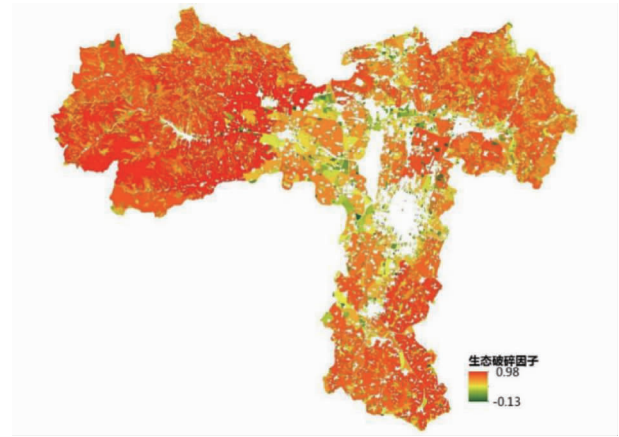
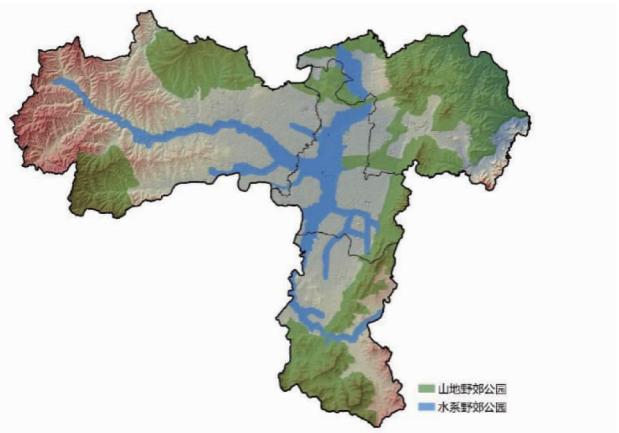


图 5 生态破碎度

Fig.5 Degree of the ecological fragmentation

2.3 生态斑块提取 由于区域内生态破碎度较高,并且生物迁徙廊道应具有一定的不确定性和空间冗余性,迁徙廊道的宽度随着物种、廊道结构、连接度、廊道所处基质的不同而不同。为了保证生态系统保护、生态宜居性提高和提升生态价值,需要对重要生态斑块进行识别。重要生态斑块的识别主要通过生物迁徙廊道空间位置和生物迁徙成本数据(计算方法和结果见“2.1.2”)进行插值,获得重要生态斑块(图 6)。依托城市山水资源,结合生态斑块,分别建设山地郊野公园和水系郊野公园,为市民提供绿色空间。



通过生物迁徙廊道和重要生态斑块的构建,形成生物廊道系统需要对植物合理进行配置。植物是系统的直接体现,研究区的植物搭配在选取、种植等方面需要根据具体的环境进行调整,从而完善其生态结构,以达成最终目的。①适地适树的综合搭配。适地适树原则是所有植物配置中的首要原则,配置过程中,考虑主要种植耐旱植物,使各个时间段内同样的地区均有植物存活,不至于使土壤大面积突然暴露而为水土流失埋下隐患。成年林会在一定程度上避免由于植物自身的缺陷导致林木大面积死亡或发生水土流失,但在新增林中则建议多增加不同种类的植物混交,从而避免出现类似问题^[19]。②适当增加地被植物选用量。地被植物覆盖于整个需要构建的地区范围,养护成本低,其绿化效果弱于大面积的林木^[20]。在河堤水岸部分,可采用地被大面积覆盖,减少地被灌溉成本同时对河堤起到固定作用,以此方式来配置依托河流存在的绿地廊道。

3 结论与讨论

生物迁徙廊道核心是对于自然生态环境的保护以及生物多样性的保护,充分表明了研究区域内生态环境的需要,并且在廊道构建需要多学科和多内容的共同协作,需要观念上的重视、政策上的扶植以及技术上的支持。

生态廊道为物种在不同生境间迁移提供了场所,是生态系统不可或缺的组成部分。在为保护物种多样性而划定自然保护区时,保护栖息地和觅食地,以及保护物种迁徙走廊,往往会事半功倍。生态走廊不是起点和终点累积迁移阻抗最小的最优路径,而是最优路径和一些次优路径的组合,且生态廊道应具有一定的冗余性和复杂性。通过生物迁徙廊道和重要生态斑块的构建,形成的生物廊道系统对降低生态破碎度、提高生态宜居性和提升生态价值有极重要的意义。

由于篇幅限制,该研究仅对城市空间发展规划中如何保持各重要生态源地的连通性进行了分析,并没针对某一具体物种进行分析。在后续研究中将进一步分析针对区域关键物种保护的生态廊道特性。

(上接第 41 页)

参考文献

[1] 咎凯,周青,张志民,等.灰色关联度和 DTOPSIS 法综合分析河南区域试验中大豆新品种(系)的农艺性状表现[J].大豆科学,2018,37(5): 664-671.

[2] 刘录祥,孙其信,王士芸.灰色系统理论应用于作物新品种综合评估初探[J].中国农业科学,1989,22(3): 22-27.

[3] 桃联安,经艳芬,董立华,等.云瑞 15 系列不同杂交途径甘蔗创新种质 DTOPSIS 综合评价[J].中国糖料,2020,42(1): 13-21.

[4] 吴玥,李威,马德志,等.基于熵值赋权的 DTOPSIS 法对不同玉米品种综合评价研究[J].玉米科学,2019,27(4): 32-41.

[5] 刘忠祥,寇思荣,何海军,等.玉米杂交组合产量与农艺性状的灰色关联度分析[J].湖南农业科学,2011(17): 5-8.

参考文献

[1] 林坚,乔治洋,叶子君.城市开发边界的“划”与“用”——我国 14 个大城市开发边界划定试点进展分析与思考[J].城市规划学刊,2017(2): 37-43.

[2] 刘博敏,侯逸康,赵书,等.从“水城分离”到“水城融合”的城市生态设计思考[C]//中国城市规划学会.共享与品质——2018 中国城市规划年会论文集(08 城市生态规划).北京:中国建筑工业出版社,2018.

[3] 刘孝富,舒俭民,张林波.最小累积阻力模型在城市土地生态适宜性评价中的应用:以厦门为例[J].生态学报,2010,30(2): 421-428.

[4] 赵清,郑国强,黄巧华.南京城市森林景观格局特征与空间结构优化[J].地理学报,2007,62(8): 870-878.

[5] 李素英,王计平,任慧君.城市绿地系统结构与功能研究综述[J].地理科学进展,2010,29(3): 377-385.

[6] 王云才.上海市城市景观生态网络连接度评价[J].地理研究,2009,28(2): 284-292.

[7] 彭建,贾靖雷,胡熠娜,等.基于地表湿润指数的农牧交错带地区生态安全格局构建:以内蒙古自治区杭锦旗为例[J].应用生态学报,2018,29(6): 1990-1998.

[8] 余亦奇,胡民锋,郑明,等.基于 MCR 模型的土地利用适宜性评价创新研究[C]//中国城市规划学会.共享与品质——2018 中国城市规划年会论文集(05 城市规划新技术应用).北京:中国建筑工业出版社,2018.

[9] 俞孔坚.景观生态战略点识别方法与理论地理学的表面模型[J].地理学报,1998,53(S1): 11-20.

[10] 李露露,曹玉红,刘崇,等.基于 MCR 模型的皖江城市带建设用地适宜性评价[J].安徽师范大学学报(自然科学版),2018,41(3): 280-286.

[11] 陈利顶,傅伯杰,赵文武.“源”“汇”景观理论及其生态学意义[J].生态学报,2006,26(5): 1444-1449.

[12] 马林兵,曹小曙.一种启发式 A* 算法和网格划分的空间可达性计算方法[J].地理研究,2008,27(1): 93-99,243.

[13] 王海英,黄强,李传涛,等.图论算法及其 matlab 实现[M].北京:北京航空航天大学出版社,2010: 12-36.

[14] 郭金来,胡鹏.网络最短路径的地图代数栅格算法[J].测绘科学,2007,32(1): 109-111,164.

[15] 傅昊,鲜明睿,徐雁南,等.城市潜在绿色廊道构建方法:以常州市为例[J].林业科学,2013,49(5): 92-100.

[16] 余凤生,戴菲,孙姝,等.武汉市绿地生态网络的分析与构建[J].园林,2019(6): 2-7.

[17] WU B, CI L J. Temporal and spatial patterns of landscape in the Mu Us Sandland, Northern China[J]. Acta ecologica sinica, 2001, 21(2): 191-196.

[18] 蔺琛,龚明昊,刘洋,等.基于优势种的生物多样性保护价值空间异质性研究:以长白山生态功能区为例[J].生态学报,2018,38(13): 4677-4683.

[19] 张璐.固原市绿地生态网络构建研究[D].苏州:苏州科技大学,2016.

[20] 李晓捷.六盘山林区主要森林群落物种多样性研究[D].兰州:兰州大学,2007.

[6] 陈丹,戴红燕,丁鑫,等.同异分析法对引进色稻在凉山州适应性评价[J].种子,2019,38(7): 85-90.

[7] 郭瑞林,杨春玲,关立,等.小麦品种区域试验的同异分析方法研究[J].麦类作物学报,2001,21(3): 60-63.

[8] 郭瑞林,刘亚飞,吴秋芳,等.小麦品种区域试验四种分析方法的比较研究[J].麦类作物学报,2011,31(4): 776-779.

[9] 闫向前,马文姬,何鑫.夏大豆品种区域试验 4 种分析方法的比较研究[J].安徽农业科学,2019,47(16): 43-45.

[10] 苏天增,任伟,侯乐新,等.青贮玉米杂交种 5 种评价方法的比较分析[J].江苏农业科学,2019,47(8): 79-81.

[11] 李彦平,李淑君,吴娟霞,等.DTOPSIS 法和灰色关联度法在新引烤烟新品种综合评价中的应用比较[J].中国烟草学报,2012,18(4): 35-40.

[12] 杨昆,吴才文,覃伟,等.DTOPSIS 法和灰色关联度法在甘蔗新品种综合评价中的应用比较[J].西南农业学报,2015,28(4): 1542-1547.