

# 基于 InVEST 模型的贵州喀斯特生态系统服务功能评估研究进展

柳嘉佳, 王普昶, 王志伟, 宋雪莲, 阮玺睿, 丁磊磊, 谢彩云, 张文\* (贵州省农业科学院草业研究所, 贵州贵阳 550025)

**摘要** 生态系统服务功能评估不仅是环境保护和生态系统稳定性评估的定性、定量研究手段, 同样其对人类生活的服务功能也具有重要作用。贵州是全国石漠化面积最大的省份, 生态环境异常脆弱。将多种具有生态系统服务功能的模型应用到贵州省, 是近年研究的一个热点。在国内外涌现出的各类生态服务评估模型中, InVEST 模型的开发应用更加成熟, 并且在国内生态系统服务功能评估中推广应用。基于上述原因, 通过详细阐述 InVEST 模型的基本内容和特点、应用现状以及该模型的应用局限性和发展趋势, 为该模型在贵州的应用与发展提供科学支持, 并为后续的石漠化地区生态系统服务功能模型相关研究提供部分理论依据和科学指导。

**关键词** 生态系统服务功能; InVEST 模型; 贵州省; 喀斯特地貌; 生态脆弱区; 评估

中图分类号 X 826 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)20-0025-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.20.007



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

## Research Progress of Guizhou Karst Ecosystem Service Function Evaluation Based on InVEST Model

LIU Jia-jia, WANG Pu-chang, WANG Zhi-wei et al (Grassland Research Institute, Guizhou Academy of Agricultural Sciences, Guiyang, Guizhou 550025)

**Abstract** Ecosystem service function evaluation is not only a qualitative and quantitative research method for environmental protection and ecosystem stability assessment, but also plays an important role in the service function of human life. Guizhou is the province with the largest area of rocky desertification in China, and its ecological environment is extremely fragile. In recent years, it is a hot topic to apply a variety of models with ecosystem services to Guizhou Province. Among all kinds of ecological service assessment models emerging at home and abroad, InVEST model is relatively mature and has been widely used in ecosystem service evaluation in China. Based on the above reasons, the basic content and characteristics of the InVEST model, the application status and the application limitations and development trends of the model were explained in detail, it provided scientific support for the application and development of the model in Guizhou, and provided part of the theoretical basis and scientific guidance for subsequent studies on the ecosystem service function model in rocky desertification areas.

**Key words** Ecosystem service function; InVEST model; Guizhou Province; Karst landform; Ecologically fragile area; Evaluation

生态系统服务功能(ecosystem services)的概念是由 Ehrlich 在 20 世纪 70 年代初期首次提出, 并逐渐得到公众和学术界的接受和广泛使用<sup>[1-2]</sup>。生态系统服务功能的定义也经历了一个不断演化的过程<sup>[3-7]</sup>, 千年生态系统评估报告<sup>[8]</sup>采用了 Costanza 的观点, 生态系统服务功能是指人类从生态系统及其生态过程中直接或间接获取的各项生态产品或服务, 并将生态系统服务功能分为支持(supporting)、调节(regulating)、供应(provisioning)和文化(cultural)服务四大类。

由于生态系统服务功能在种类数量及重要性上的空间异质性, 所以对生态系统提供的支持、调节、供应和文化服务进行定量评估的生态系统服务功能评价成为目前生态学、经济学研究的热点和前沿领域<sup>[9]</sup>。近年来, 随着遥感、GIS 技术及相关理论的迅猛发展, 以此为数据和技术支持的生态系统服务功能评估模型在评价生态系统服务功能价值及其空间分布中发挥着越来越重要的作用, 也为高效便捷地解决这一难题提供了有效途径和方法<sup>[10]</sup>。近年来, 根据不同类别生态系统功能价值评估需要, 出现了一些复杂程度和数据需求不同的生态系统服务功能评估模型, 主要有 InVEST(inte-

grated valuation of ecosystem services and trade-offs) 模型<sup>[11]</sup>、ARIES(artificial intelligence for ecosystem services) 模型<sup>[12]</sup>和 SolVES(social values for ecosystem services) 模型<sup>[13]</sup>。其中, InVEST 模型的开发应用也更加成熟, 在国内已有广泛的推广应用, 其空间分析功能、数据需求、模拟评估准确性、适用范围等方面, 相比于 ARIES、SolVES 等其他生态系统评估模型更具优势<sup>[14]</sup>。

贵州作为我国喀斯特面积最大的省份, 土壤和植被对外界反应敏感, 易遭破坏、极难恢复, 属典型的碳酸盐生态脆弱区<sup>[15]</sup>。因此, 基于 InVEST 模型的贵州喀斯特地区生态系统服务功能的研究, 不仅有助于贵州喀斯特地区石漠化治理, 同时也可以为决策部门实施生态补偿机制和保障利益分配的公平性提供理论依据。

### 1 InVEST 模型简介

InVEST 全称为生态系统服务功能综合估价和权衡得失评估模型<sup>[16]</sup>, 该模型是由美国斯坦福大学、世界自然基金会和大自然保护协会(TNC)联合研发出来的, 初衷是对生态系统服务功能进行准确的量化评估并以图表这种简单直观的方式表达量化评估的结果, 帮助政府提高在开展生态系统保护和恢复项目或计划时进行量化比较, 从而更加科学合理地决定投资的分配和使用<sup>[17]</sup>。但同时也有助于制定更加合理公平的自然资源价格体系, 进一步促进经济手段在自然资源管理中的应用以及生态补偿机制的实施和利益分配的公平性。生态系统服务功能评价不但有利于促进生态保护和恢复, 而且还可以为区域经济的协调发展和解决贫困问题带来新的思路。

**基金项目** 贵州省农业科学院 2021 年院基本科研业务发展专项(黔农科院青年科技基金[2021]31 号); 贵州省科技计划项目(黔科合支撑项目(2018)2371); 贵州省科研机构服务企业行动计划(黔科合企(2019)4010 号); 贵州省农业科学院 2017 年度学术新苗培养及创新探索专项(黔农科院青年基金[2018]91 号)。

**作者简介** 柳嘉佳(1992—), 男, 甘肃平凉人, 研究实习员, 硕士, 从事植物生态学研究。\* 通信作者, 副研究员, 硕士, 从事草业科学研究。

**收稿日期** 2021-06-17; **修回日期** 2021-06-25

**1.1 InVEST 模型评估内容** InVEST 从最初发布至今,经历了许多个版本,最新的 InVEST 版本为 3.8.4 版<sup>[18]</sup>。最初的 InVEST 1.0 版本的评估模块只有污染物控制和沉积物两大子模块,同时陆地生态系统模块下的相关评估项目缺乏科学的分类<sup>[19]</sup>。而最新的版本在之前版本的基础上对分类体系进行了升级,使整个生态系统服务功能与价值的评价更为完整、科学。在增加了海洋评估系统的同时,逐渐打破不同生态系统之间的界线,使得部分模块可以进行不同生态系统服务功能评估。目前版本的 InVEST 模型的生态系统服务功能评估主要是针对淡水、海洋和陆地三大生态系统的评估模块,每个模块由于生态系统功能不同又具体包含不同的评估项目<sup>[20]</sup>。其中淡水生态系统服务功能评估包括水力发电、水质、产水量、水土保持;海洋生态系统服务功能评估包括海岸保护、海洋水质、生境风险评估、美感评估、水产养殖、叠置分析、波能、风能评估;陆地生态系统服务功能评估包括生物多样性、碳储量、农作物授粉和木材生产量<sup>[21]</sup>。

**1.2 InVEST 模型评估特点** 由于 InVEST 模型具有多个不同的模块,且不同模块在开展生态系统服务功能评估时需要不同的数据以及不同复杂程度的算法,因此将 InVEST 模型分为 0 层、1 层、2 层和 3 层共 4 个层级模型<sup>[22-23]</sup>。0 层模型只可简单对生态系统服务功能的相对价值进行模拟评估,无法精确地对其经济价值进行量化,多用于关键区域的识别,但是 0 层模型所需要的数据量也是最少。1 层模型相比较 0 层模型可进行绝对价值的评估,特别是可以开展货币化价值评估,但是在输入的数据量上要多于 0 层模型。0、1 层级模型主要适用年平均和大范围的时空尺度数据,而 2、3 层级模型不仅适用日值或月值的动态序列数据,还可准确评估从小尺度到全球尺度的适当空间范围内的生态系统服务功能。2 层和 3 层模型还可开展不同尺度、不同情景下的分析以及不同生态系统服务功能模块间的耦合,而且评估结果的精确度更高。但是由于算法的复杂程度升级,因此对于数据的需求也更大,目前 2 层和 3 层模型的一些复杂程度更高、数据获取难度更大的项目则还有待进一步开发。

## 2 InVEST 模型的应用

**2.1 InVEST 模型在国外的应用** InVEST 模型自开发问世以来,便在全世界范围内获得高度关注,并被大范围的推广使用,如今在外碳储量、水体净化、产水量、生物多样性、土壤保持等生态系统服务功能评估中都有成功应用的案例。

Goldstein 等<sup>[24]</sup>使用 InVEST 模型对夏威夷 O'ahu 岛 7 个土地利用规划方案的生态服务价值进行评估,结果发现,在水质净化和碳储量两大情景设定下,在碳储存和水质之间以及在环境改善和财务回报之间进行权衡,从而对涉及私人利益和公共利益之间权衡取舍的当地土地使用决策提供参考依据。Benra 等<sup>[25]</sup>运用智利南部 224 个集水区 3 年(1998、2007 和 2013 年)水文监测记录对 InVEST 季节性水产量模型进行评估,表明观测值和模型值之间具有良好的匹配性,有助于应对近期的土地利用变化和气候变化。Nelson 等<sup>[26]</sup>基于 InVEST 模型对俄勒冈州威拉米特盆地的土地利用/土地

覆盖变化方案的生物多样性保护和商品生产水平的变化进行评估,结果发现关于生物多样性保护和生态系统服务功能的权衡比例太小,但是涉及较高的商品生产价值的方案更多,以至于生物多样性保护和生态系统服务的水平较低。因此,通过 InVEST 模型对生态系统服务功能的准确量化,并分析它们之间的权重关系,有助于制定更加有效、高效和合理的涉及自然资源处置的决策。Fisher 等<sup>[27]</sup>应用 InVEST 模型木材等多个模块对坦桑尼亚东部地区的森林生态系统进行了评估,以了解该地区生态系统的功能与政策变化之间的联系。

**2.2 InVEST 模型在国内的应用** 近年来,我国的一些学者、研究人员已经成功将 InVEST 模型应用于长江中下游地区<sup>[28]</sup>、洞庭湖地区<sup>[29]</sup>、疏勒河流域<sup>[30]</sup>、西南地区<sup>[31]</sup>生态系统服务功能的定量评估。刘家福等<sup>[32]</sup>基于 CA-Markov 与 InVEST 模型分析吉林省 2000—2024 年生态系统服务价值变化及生境质量时空演变特征,结果发现,吉林省森林的生态系统服务价值量最大,水文和气候调节是主要的生态服务功能,为吉林省生态环境保护与改善方针策略的制定提供理论依据;刘宥延等<sup>[33]</sup>运用 InVEST 模型评估了 2017 年的水源涵养功能及其空间分布特征,发现该区域水源涵养总量为  $11\ 900 \times 10^4\ \text{m}^3$ ,且在空间分布上呈由西南向东北逐渐减少特点;仲俊涛等<sup>[34]</sup>选取 InVEST 模型碳储存、土壤保持和水源涵养 3 项情景,对禁牧前后草地生态系统服务物质量进行精准评估,确定生态补偿标准。

贵州省地处喀斯特山区,该区具有石漠化现象严重、生态环境系统变异敏感度高、水土保持能力弱、自然灾害频发等特征,属典型的生态脆弱区<sup>[35]</sup>。因此,应用 InVEST 模型对贵州喀斯特山区的生态系统服务功能进行评估对促进石漠化区域的可持续发展具有重要的意义。郜红娟等<sup>[36]</sup>通过 InVEST 模型对贵州喀斯特山区丘陵、槽谷和峡谷 3 种典型地貌类型区域内的生态环境退化程度进行综合评估,结果表明由于地貌类型和坡度带的不同,其生态环境平均退化程度的变化趋势也各有不同;贾婉琳等<sup>[37]</sup>采用 InVEST 模型综合评估了赤水河流域的水源供给、土壤保持、碳存储和生境质量等生态系统服务功能,该流域产水量近年来略微增加,整体土壤侵蚀状况为微度侵蚀,流域碳储量呈降低趋势,生境质量整体呈改善趋势;张斯屿等<sup>[38]</sup>在 GIS 技术支持下,采用 InVEST 模型中的 3 大典型模块对贵州喀斯特典型地区晴隆县石墨化程度与生态系统服务功能评估结果进行相关性分析,发现该模型对于贵州喀斯特山区生态系统服务功能评估和促进石漠化治理具有重要的现实意义。

**2.3 InVEST 模型应用现状概述** 通过对 InVEST 模型应用案例的研究发现,目前该模型的应用主要集中在陆地生态系统模块的碳储量、生物多样性、土壤侵蚀和淡水生态系统模块的产水量方向,其余方向的研究较少。主要是由于随着全球气候变化,碳排放、水资源分布不均等问题受到的关注度愈来愈高,其次也是由于其他情景的研究数据收集困难,限制性较大,特别是美感评估等模块。同时该模型开始与其他生态模型以及 GIS 等手段相结合,针对不同典型区域的热点

环境问题进行研究。例如,孙蓉<sup>[39]</sup>选取江西省 38 处森林生态系统类型自然保护区,将 InVEST 模型与 MaxEnt 模型相结合,综合分析生境质量和物种丰富度格局后得到最佳生境区域和生境优化重点保护区,为自然保护区生境优化提供科学有效的评价依据。

目前利用 InVEST 模型针对贵州喀斯特山区的生态系统服务功能评估研究仍然略显不足。从评估模块来看,目前的研究仅涉及石漠化地区的水土保持、碳储量和部分流域的产水量等模块,其他模块的评估鲜有涉及;从评估范围来看,目前的生态系统服务功能评估仅涉及部分的流域以及典型的喀斯特地貌和石漠化比较严重的区域,截至 2021 年,贵州省森林覆盖率已经达到 60%,因此在贵州开展关于林地和草地这两类重要的土地利用方式的生态系统服务功能评估已是迫在眉睫。

### 3 展望

InVEST 模型凭借其数据获取方便,操作简单便捷,应用范围灵活,还可以输出专题图和权衡曲线等最直观的评估结果的优势,正广泛应用于生态环境保护和修复的决策中。在全球生态系统评价研究中,该模型具有广泛的应用空间及前景。但是该模型由于评估内容和数据获取门槛的问题,仍存在以下可以改进之处:首先是目前该模型的应用主要是在大尺度,针对中小尺度的应用较少,而聚焦聚落、田地的研究则亟待完善;其次由于生态系统自身的复杂性和相关数据获取具有较高难度,目前的应用模块研发和优化升级还需更进一步,将更多影响生态系统服务功能评估的因素纳入进来。由于生态系统本身的复杂性以及模型的结构和输入数据的精确性有待进一步提高,从而影响到准确地评估生态系统服务功能。因此,通过仔细全面地分析生态系统服务功能评估模型的不确定性及其形成原因,有针对性地采取有效措施提高模拟结果的精确性以及模型模拟结果的可靠性也是未来该模型需要考虑的重要问题。贵州作为我国石漠化面积最大的喀斯特生境脆弱区域,充分利用 InVEST 模型加强对不同情景下不同尺度和生态系统类型的生态系统服务功能进行评估,对于促进贵州石漠化治理、完善生态补偿制度以及政府制定合理的生态保护政策具有重要的参考价值。

### 参考文献

[1] EHRlich P R, EHRlich A H, HOLDREN J P. *Ecoscience: Population, resources, environment* [M]. San Francisco, CA: WH Freeman and Co, 1977.

[2] 李文华, 李飞. 中国森林资源研究 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1996.

[3] DAILY G C. *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystem* [M]. Washington, DC: Island Press, 1997.

[4] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, 387: 253-260.

[5] DE GROOT R S, WILSON M A, BOUMANS R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services [J]. *Ecological economics*, 2002, 41(3): 393-408.

[6] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价 [J]. *应用生态学报*, 1999, 10(5): 635-640.

[7] 谢高地, 张钰铨, 鲁春霞, 等. 中国自然草地生态系统服务价值 [J]. *自然资源学报*, 2001, 16(1): 47-53.

[8] Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well-being. Synthesis* [M]. Washington, DC: Island Press, 2005.

[9] 郭中伟, 甘雅玲. 关于生态系统服务功能的几个科学问题 [J]. *生物多样性*, 2003, 11(1): 63-69.

[10] NEMEC K T, RAUDSEPP-HEARNE C. The use of geographic information systems to map and assess ecosystem services [J]. *Biodiversity and conservation*, 2013, 22(1): 1-15.

[11] TALLIS H, RICKETTS T, GUERRY A, et al. *InVEST 2.2.4 user's guide* [M]. Stanford: The Natural Capital Project, 2011.

[12] VILLA F, CERONI M, BAGSTAD K, et al. *ARIES (Artificial Intelligence for Ecosystem Services): A new tool for ecosystem services assessment, planning, and valuation* [C] // Proceedings of the 11th Annual BIOECON Conference on Economic Instruments to Enhance the Conservation and Sustainable Use of Biodiversity. Venice, Italy: Centro Culturale Don Orione Artigianelli, 2009: 1-10.

[13] BROWN G, BRABYN L. The extrapolation of social landscape values to a national level in New Zealand using landscape character classification [J]. *Applied geography*, 2012, 35(1/2): 84-94.

[14] NELSON E, MENDOZA G, REGETZ J, et al. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales [J]. *Frontiers in ecology and the environment*, 2009, 7(1): 4-11.

[15] 苏维词. 贵州喀斯特山区生态环境脆弱性及其生态整治 [J]. *中国环境科学*, 2000, 20(6): 547-551.

[16] KAREIVA P, TALLIS H, RICKETTS T H, et al. *Natural capital: Theory and practice of mapping ecosystem services* [M]. Oxford: Oxford University Press, 2011.

[17] DOLAN K A. Names you need to know in 2011: Natural Capital Project [EB/OL]. (2010-11-01) [2021-03-25]. <http://www.forbes.com/sites/kerrydolan/2010/10/29/name-you-need-to-know-natural-capital-project/>.

[18] 吴哲, 陈歆, 刘贝贝, 等. InVEST 模型及其应用的研究进展 [J]. *热带农业科学*, 2013, 33(4): 58-62.

[19] TALLIS H, RICKETTS T. *InVEST 1.0 Beta User's Guide: Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs* [M]. Stanford (CA): The Natural Capital Project, 2011.

[20] TALLIS H, RICKETTS T. *InVEST 2.4.4 Beta User's Guide: Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs* [M]. Stanford (CA): The Natural Capital Project, 2011.

[21] 侯红艳, 戴尔阜, 张明庆. InVEST 模型应用研究进展 [J]. *首都师范大学学报(自然科学版)*, 2018, 39(4): 62-67.

[22] 唐尧, 祝炜平, 张慧, 等. InVEST 模型原理及其应用研究进展 [J]. *生态科学*, 2015, 34(3): 204-208.

[23] TALLIS H, RICKETTS T, GUERRY A, et al. *InVEST 2.5.5 User Guide: Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs* [R]. 2013.

[24] GOLDSTEIN J H, CALDARONE G, DUARTE T K, et al. Integrating ecosystem-service tradeoffs into land-use decisions [J]. *Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America*, 2012, 109(19): 7565-7570.

[25] BENRA F, DE FRUTOS A, GAGLIO M, et al. Mapping water ecosystem services: Evaluating InVEST model predictions in data scarce regions [J/OL]. *Environmental modelling and software*, 2021, 138 [2021-03-25]. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.104982>. DOI: 10.1016/J.ENVSOFT.2021.104982.

[26] NELSON E, MENDOZA G, REGETZ J, et al. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales [J]. *Frontiers in ecology and the environment*, 2009, 7(1): 4-11.

[27] FISHER B, TURNER R K, BURGESS N D, et al. Measuring, modeling and mapping ecosystem services in the Eastern Arc Mountains of Tanzania [J]. *Progress in physical geography: Earth and environment*, 2011, 35(5): 595-611.

[28] 李晴, 周勇, MARY ANN CUNNINGHAM, 等. 基于 InVEST 模型的 1980—2100 年长江中下游地区动植物生境质量时空变化研究 (英文) [J]. *Journal of resources and ecology*, 2021, 12(1): 43-55.

[29] 邓楚雄, 郭方圆, 黄栋良, 等. 基于 InVEST 模型的洞庭湖区土地利用景观格局对生境质量的影响研究 [J]. *生态科学*, 2021, 40(2): 99-109.

[30] 刘洋, 张军, 周冬梅, 等. 基于 InVEST 模型的疏勒河流域碳储量时空变化研究 [J]. *生态学报*, 2021, 41(10): 4052-4065.

[31] 刘纯军, 周国富, 黄启芬, 等. 基于 InVEST 模型的西南山地流域生境质量时空分异: 以贵州赤水河流域为例 [J/OL]. *人民长江*, 2021-02-05 [2021-04-16]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1202.TV.20210204.1836.002.html>.

表 3 3 个品系丝瓜产量性状

Table 3 Yield traits of three lines of *Luffa*

品种 Variety	单果重 Single fruit weight//g	单株产量 Yield per plant//g	化瓜率 Rate of sweet melon//%	小区产量 Plot yield kg
XT-6	160.82	723.69	37.50	27.95
LZ-6	202.85	946.63	44.44	37.87
徐绿 1 号	184.42	922.10	28.57	36.89

耐褐变品系,这与前期的调查结果一致。而经过杂交后,新配组徐绿 1 号褐变性鉴定 OD 值为 0.31,属中等褐变丝瓜品

系,这说明经过杂交,XT-6 的耐褐变性在一定程度上得到提升。在早熟性的表现上,始花期与根瓜采收期无很大差异,LZ-6 在根瓜采收期上明显晚于其他 2 个处理。在此次发病情况统计中,LZ-6 在霜霉病与白粉病上表现出较强的抗性,新配组也明显优于 XT-6,所以徐绿 1 号在抗病性自然发病中表现较好,一定程度上提高了徐简玉抗病性。

综上所述,新配组徐绿 1 号与 XT-6 和 LZ-6 相比,耐褐变性、早熟性、产量及抗病性等方面更为优异,适宜作为新品种进行推广种植。

表 4 3 个品系丝瓜白粉病发病率

Table 4 Incidence of powdery mildew in three lines of *Luffa*

品种 Variety	病株数 Number of diseased plants//株	调查株数 Number of investigated plants 株	发病率 Incidence rate %	病叶数量 Number of diseased leaves 片	调查叶片数 Number of leaves investigated//片	各级叶片数 Blade number at all levels//片						病情指数 Disease index
						0 级	1 级	3 级	5 级	7 级	9 级	
XT-6	10	10	100	242	316	74	40	9	89	48	56	47.54
LZ-6	10	10	100	204	292	88	25	21	63	52	43	43.91
徐绿 1 号	10	10	100	198	352	154	40	69	39	26	24	26.52

表 5 3 个品系丝瓜霜霉病发病率

Table 5 The incidence of downy mildew in three lines of *Luffa*

品种 Variety	病株数 Number of diseased plants//株	调查株数 Number of investigated plants 株	发病率 Incidence rate %	病叶数量 Number of diseased leaves 片	调查叶片数 Number of leaves investigated//片	各级叶片数 Blade number at all levels//片						病情指数 Disease index
						0 级	1 级	2 级	3 级	4 级	5 级	
XT-6	10	10	100	68	316	248	16	14	18	16	4	11.52
LZ-6	9	10	90	39	292	253	9	8	12	8	2	7.05
徐绿 1 号	9	10	90	33	352	319	3	11	10	8	1	5.23

参考文献

[1] 舒迪澜.主要瓜类蔬菜栽培简史[J].中国农史,1998,17(3):94-99.  
 [2] 王青青,王天文,高安辉.丝瓜种质资源与育种研究进展[J].现代园艺,2019(21):33-35.  
 [3] 颜国纲,郑振佳,时新刚,等.丝瓜的营养价值及其综合利用研究进展[J].中国果菜,2011,31(7):35-36.  
 [4] 戴澈,刘根新,许园园,等.丝瓜种质资源与遗传育种研究进展[J].黑龙江农业科学,2016(10):167-170.  
 [5] 冯英娜,巫建华,颜志明,等.丝瓜耐褐变性和种质资源分类的研究进展[J].江苏农业科学,2016,44(4):199-201.

[6] 陈铤,花秀凤,陈曦,等.丝瓜果肉褐变的基因型差异及不同生长期褐变规律[J].东南园艺,2019,7(6):30-32.  
 [7] 花秀凤,陈铤,黄斌斌.普通丝瓜果肉褐变的变异及低褐变品种的筛选[J].中国农学通报,2013,29(19):103-106.  
 [8] 李落叶,崔鸿文,张秉奎.春黄瓜杂种一代早熟性的综合评判[J].河北职业技术师范学院学报,2000,14(2):31-34.  
 [9] 莫云彬,王新斌,王娇阳,等.丝瓜育种过程中抗病性评价指标的初步探讨[J].中国农村小康科技,2010(5):50-51,53,66.  
 [10] 陈铤.丝瓜种质苗期对霜霉病的抗性鉴定[J].蔬菜,2018(7):54-58.  
 [11] 左洪波,张艳菊,秦智伟,等.黄瓜种质资源对霜霉病和白粉病的抗病性鉴定[J].东北农业大学学报,2010,41(8):24-27.

(上接第 27 页)

[32] 刘家福,席兰兰,张尧,等.基于 CA-Markov 与 InVEST 模型的吉林省生态系统服务价值模拟及预测[J].水土保持通报,2020,40(6):153-159.  
 [33] 刘宥廷,刘兴元,张博,等.基于 InVEST 模型的黄土高原丘陵陵区水源涵养功能空间特征分析[J].生态学报,2020,40(17):6161-6170.  
 [34] 仲俊涛,王蓓,米文宝,等.基于 InVEST 模型的宁夏盐池县禁牧草地生态补偿标准空间识别[J].地理科学,2020,40(6):1019-1028.  
 [35] 刘济明.贵州喀斯特地区小蓬竹生态特性研究[D].北京:北京林业大学,2010.

[36] 郜红娟,蔡广鹏,张朝琼,等.基于 InVEST 模型的贵州山区不同地貌区生境退化程度评估[J].西部林业科学,2016,45(4):90-94,106.  
 [37] 贾婉琳,吴赛男,陈昂.基于 InVEST 模型的赤水河流域生态系统服务功能评估研究[J].中国水利水电科学研究院学报,2020,18(4):313-320.  
 [38] 张斯屿,白晓永,王世杰,等.基于 InVEST 模型的典型石漠化地区生态系统服务评估:以晴隆县为例[J].地球环境学报,2014,5(5):328-338.  
 [39] 孙蓉.基于 InVEST 模型与 MaxEnt 模型在自然保护区中保护效益的评价[D].南昌:江西师范大学,2020.