中国科学: 生命科学 2021 年 第 51 卷 第 3 期: 219 ~ 228
SCIENTIA SINICA Vitae lifecn.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

评 述 中国植被生态学专辑

中国植被图编研历史与展望

王乐[1], 董雷[1], 胡天宇[1,2], 郭柯[1,2*]

1. 中国科学院植物研究所, 植被与环境变化国家重点实验室, 北京 100093;
2. 中国科学院大学, 北京 100049
* 联系人, E-mail: guoke@ibcas.ac.cn

收稿日期: 2020-07-28; 接受日期: 2020-09-06; 网络版发表日期: 2020-12-24
生物多样性调查评估项目(批准号: 2019HJ2096001006)和中国科学院战略性先导科技专项(A类)(批准号: XDA19050402)资助

摘要 植被图是描绘植被类型及其空间分布格局的植被生态学专业图件, 既是植被调查和研究的成果, 也是进一步揭示植被资源、植被分布规律的重要基础资料, 还是生态学和地理学等相关学科研究和农林牧业发展与生态建设的重要参考. 本文概述了植被图编研的起源与发展, 回顾了中国全国性及地方植被图的编制历史和部分成果. 中国植被制图始于20世纪50年代, 1960年出版的1:800万中国植被图首次表现了全国129个群系级植被类型, 随后相继出版了1:400万、1:100万等全国植被图和多种比例尺的省区及地方的区域性植被图. 未来的植被图编制需要充分依托现代科学技术, 以充足的野外调查资料和植被生态学研究为基础, 利用多源多时相的遥感资料和生态地理信息大数据, 并结合深度学习等人工智能分类方法.

关键词 植被类型图, 植被分布格局, 植被分类系统, 制图方法

植被是陆地生态系统中最重要的组分之一, 既是一种自然条件, 又是一种重要资源, 具有不可替代的生产和生态功能, 如保育生物多样性、涵养水源、调节水分、保持水土、调节气候、固碳生氧、形成土壤、疗养保健、风景美化和培育文化等[1].

植被的地理分布可以通过植被图直观地展示. 广义上的植被图包含植被类型图、植被区划图、植被资源图等, 其中植被类型图最为基础、重要, 是通常狭义上所指的植被图[2,3]. 植被类型图展示植被类型的分布状况, 展现植被的地理格局和分布规律, 揭示植被与地区气候、水文、地形、地貌、地质和土壤的关系. 因此, 植被图也是植被区划、农业区划、林业区划和综合自然地理区划等的重要基础[2].

通过植被图可以了解植物资源以及植被分布的特点, 可以对区域及更大范围内的植被资源合理利用和生态修复起到指导作用. 因此, 植被图的编研是生态学与地理学研究和指导农林牧业发展与生态建设的重要基础性工作.

1 植被图编研的起源与发展

1.1 植被图的起源与早期发展

1967年出版的*Vegetation Mapping*中对植被图的早期起源与发展做了全面的论述[4]. 该书将植被制图

引用格式: 王乐, 董雷, 胡天宇, 等. 中国植被图编研历史与展望. 中国科学: 生命科学, 2021, 51: 219–228
Wang L, Dong L, Hu T Y, et al. History and prospect of vegetation map compilation in China (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2021, 51: 219–228, doi: 10.1360/SSV-2020-0184

© 2020 《中国科学》杂志社

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的起源追溯到15世纪，认为早期的植被图是用森林填补地图上的空白图斑．到了16世纪，森林开始频繁且精确地绘制于地图上．1599年同年出版的三幅地图均出现了一定程度的发展：德国的纽伦堡地图中除了有森林以外还出现了一些耕地；俄罗斯的莫斯科地图中将森林与草原分开表示；捷克的波西米亚地图中用不同符号将森林分为栎(*Quercus*)林、鹅耳枥(*Carpinus*)林、桦树(*Betula*)林及柳树(*Salix*)林[4]．到17世纪，相关图件表述的内容越来越多，随之植被制图的符号系统也初步建立，并随着高精度地形图的出现日趋完善，对植被的表现也更为精确且详尽[5]．18世纪末，Cassini绘制的1:80000地形图是这一时期的优秀代表．然而，尽管植被种类越来越多，地形图始终不能称为现代科学意义上的植被图．学术界认可的第一张真正的植被图是1854年由德国植物学家Sendtner绘制的“spagnetum with *Pinus pumilio*”[3~5]．尽管该图范围非常有限，但是它展示了某一植被类型的地理分布，是第一张以植被类型分布为目的的地图．1898年，德国植物学家Schimper绘图展示了全球15个主要植被类型，该图为第一张具有现代意义的世界植被图，为植被图的编制揭开新的篇章[3~5]．从19世纪中期至20世纪20年代，美国植被制图发展迅速，领先于世并取得重大成就，先后编制了其东部18个州的多种比例尺植被图，20世纪早期先后多次出版小比例尺全国性植被图．20世纪20年代到1945年，苏联取代美国，植被制图发展最为迅速，编制了多幅百万分之一级及其他比例尺的植被图．这一时期出版的植被图的图例愈发详细，开始需要用到数十种颜色、阿拉伯数字或字母代号来区分表示[6]．第二次世界大战后，随着科学技术的革新，世界植被制图快速发展，法国、日本、德国、澳大利亚等国的植被制图都取得较大发展．20世纪60年代法国就完成了法国和摩洛哥的1:20万和1:100万植被图．比利时及荷兰这样国土面积较小的国家，全国植被图的比例尺为1:20万[7]．2007年出版的《中国植被及其地理格局》对这期间出现的代表性植被图有较为详尽的论述[6]．

1.2 植被制图方法的发展

植被制图的方法主要经历了三个发展阶段：(ⅰ)单纯地实地填绘与编辑阶段；(ⅱ)结合航空像片应用阶段；(ⅲ)结合多种遥感方法应用阶段[8]．早期的植被制图主要是专业人员依靠实地植被调查资料和文献记载的描述，并基于植被的分布规律，以地形图为底图直接进行植被类型的勾绘．二次世界大战以后，随着航空事业的发展，开始出现利用黑白全色航空照片等手段，以地物的影像、色调和形态结构为依据辅助植被制图[9]．20世纪60年代以后，航空测量大量采用彩色照片，使得植被制图更为便捷．这一时期雷达测量技术也开始被广泛应用．到20世纪70年代，随着植被的遥感光谱信息与计算机的处理能力相结合，植被制图进入到崭新的一页[10,11]．不同植被类型波谱特征不一，同一植被类型不同季节波谱特征也不一，这两点构成遥感技术编制植被图的理论基础[12~15]．接下来的数十年，尽管制图方法依旧是结合多种遥感方法为主，但是具体科学技术的应用日新月异、数据资料的获取愈发多元和便捷，使得植被制图更加容易．众多遥感卫星的陆续发射对植被制图意义重大，诸如美国资源卫星Landsat系列、美国Terra和Aqua卫星、法国遥感卫星SPOT、美国IKONOS卫星、美国Quick Bird卫星、欧洲航天局的哨兵影像(Sentinel)卫星、中国-巴西的中巴地球资源卫星(CBERS)及中国高分系列卫星等，在植被图的编制中被广泛应用[10~16]．这些卫星搭载的传感器可以提供不同精度的光谱等信息，其波段的分辨率从1000 m到30 m、再到1 m甚至优于1 m，使不同尺度和精度的植被图绘制成为可能．2016年底，World-View-4卫星的发射则将空间分辨率进一步提高至0.3 m[17]．毫无疑问，遥感技术的发展是近些年植被制图方法发展的重要推动力．

2 中国植被图编制的历史与主要成果

2.1 中国植被图编研的早期发展

我国的植被制图学起步较晚但发展较快．1956年，侯学煜与马溶之[18]编绘出版了《中国植被-土壤分区挂图》(1:400万)，将全国划分为12个植被-土壤区、36个植被-土壤省，这是我国出版的第一幅具有科学内容的全国性植被图．在1957年的《中华人民共和国地图集》中出版了吴征镒和陈昌笃编制的1:1800万中国植被图，将我国的植被划分为针叶林、针叶落叶阔叶混交林、夏绿林等13个图例(相当于植被型组)[19]．1960年，由侯学煜[20]主编的“中国植被图”(1:800万)在《中国的植被》一书中出版，将我国自然植被分为23个植被型、129个群系组，将栽培植被分为2个一级群落、

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

7个二级群落, 这是第一张内容比较详细的中国植被类型图. 20世纪60年代, 我国已较普遍地利用航空像片编绘主要林区森林分布图和区域性植被图. 1965年, 由侯学煜、胡式之等绘制的1:1000万“中国植被图”, 比较清楚地展现了我国主要植被类型及三向地带性分布规律, 并在一定程度上表达了植被分布与地貌、土壤的关系[20]. 20世纪70至90年代, 是我国植被制图事业高速发展的时期. 这期间出版的两幅全国植被图对推动我国植被制图的发展起到了极其重要的作用. 其中一幅是1979年侯学煜主编出版的1:400万“中华人民共和国植被图”, 另一幅是1980年出版的1:1000万“中国植被图”(《中国植被》的附图之一)(表1)[21,22].

2.2　1:100万中国植被图

中国1:100万植被图编制任务于1978年10月由国家立项, 1979年成立以侯学煜为主编的编委会筹委会, 1983年正式确定编委会组成人员, 1985年制订工作规范和全国的植被图例, 成立全国6个协作区且每省区均成立协作组. 1980~1988年, 编研团队在以往植被研究的基础上, 对大部分省区进行了进一步植被考察并根据1:50万卫星假彩色照片作了“植被调绘”. 1988年后进入总结编研阶段, 先后有97位研究人员执笔制图和编写说明书[23]. 在总结编研阶段, 绘制好的省区植被图在协作区内通过省际间接边拼幅, 形成按国际统一分幅编号的植被图原稿, 最后经编委会主编、副主编及协同人员进行全部图幅和图例的统编工作. 1:100万中国植被图于2001年出版了阶段成果《1:1000000中国植被图集》, 最终成果于2007年出版[23,24]. 该图件根据中国植被及其生态地理特点, 采用了以植被群落外貌(即建群植物生活型)、优势种类成分及其生态地理特征为原则的植被分类标准. 其植被类型图为现状植被图, 反映了20世纪80至90年代中期以前的植被状况, 表示了全国11个植被型组、55个植被型、960个植被群系和亚群系, 以及2000多个群落优势种、主要农作物和经济作物的地理分布, 并反映出许多植被单位与土壤和地表基质、浅层地下水的关系[23]. 该图件是我国3代植物生态学家历时30年的艰苦努力完成的巨型植被图件, 在我国植物生态学和植被制图学研究上是里程碑式的成果, 使世界首部大型电子“数字植被”专业图件由概念走向应用, 是迄今为止世界上最大和最完备的植被图件.

2.3　新一代中国植被图编研

近年来, 新一代中国植被图编研采用的“众源采集-变化检测-遥感分类-专家审核”的制图策略呈现出全新的发展势头, 其以海量的人工实地调查数据为植被制图的基础, 动员了全国三十余个省、市、自治区的50余位知名生态学家参与最终的成图审核工作, 并首次尝试了对1:100万中国植被图现实性更新. 更新后的植被图包含12个植被型组、55个植被型与植被亚型、866个群系与亚群系, 且各精度在植被型组、植被(亚)型和(亚)群系水平上分别为64.8%、61%和40%, 较上一代植被图有了10%~15%的提升, 而在植被类型发生变化的区域, 精度提升达20%~35%[24].

2.4　地方植被图编研的发展

自20世纪七八十年代以来, 全国各地方的植被制图事业蓬勃发展, 各省、市、自治区相继出版了区域性植被图, 多以中、小比例尺为主, 主要成果有: 1976年广东省植物研究所编绘的1:250万《广东省植被类型图》; 1978年中国科学院新疆综合考察队及中国科学院植物研究所调查绘制的1:400万《新疆植被类型图》; 1980年出版的《四川1:300万植被图》; 1981年安徽省植被协作组出版的1:50万《安徽省植被图》; 何妙光、王献溥于1981年编绘的1:250万《广西植被图》; 天津市农业区划委员会植被专业组于1984年编制的1:60万《天津植被图》; 1985年中国科学院内蒙古宁夏综合考察队调查编制的1:400万《内蒙古植被图》; 1986年周兴民等人出版的《青海省1:300万植被图》; 1987年李景信与田永圻等人编制的1:100万《绥化地区植被图》; 1987年吴征镒等人编制的1:200万《云南植被图》; 1988年中国科学院青藏高原综合科学考察队编制的1:300万《西藏植被图》; 1990年周立华与孙世洲等人编制的1:100万《青海省植被图(1:100万)》; 1991年白玉光与祝廷成编制的1:50万《吉林省植被类型图》; 1991年蔡壬侯编制的1:50万《浙江省植被类型图》; 1993年黄威廉编制的1:200万《台湾省植被图》; 1996年河北省植被编辑委员会河北省农业区划委员会办公室编制的1:50万《河北省植被图》; 1999年雷明德等人编制的1:100万《陕西植被类型图》; 2000年王仁卿与周光裕编制的1:100万《山东省植被类型图》; 2001年马子清编制的1:200万《山西植

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 1 中国植被图编制简况

Table 1 Brief introduction to vegetation mapping in China

专著名称	出版年	植被图作者	比例尺	图例
中国植被-土壤分区挂图	1956	侯学煜, 马溶之	1:400万	12个一级单位(植被-土壤区), 36个二级单位(植被-土壤省).
中华人民共和国地图集	1957	吴征镒, 陈昌笃	1:1800万	13个图例(相当于植被型组), 针叶林、针叶落叶阔叶混交林、夏绿林等.
中国的植被(附图)	1960	侯学煜, 胡式之等	1:800万	23个植被型、129个群系组(自然植被), 栽培植被的2个一级群落、7个二级群落.
中华人民共和国自然地图集	1965	侯学煜, 胡式之	1:1000万	28个植被型、60个群系组(自然植被), 另含5个栽培植被类型.
中华人民共和国地图集	1979	中国科学院植物研究所	1:1400万	6个植被型组、39个植被型、72个群系组(自然植被), 另含13个农业植被类型.
中华人民共和国植被图	1979	侯学煜, 孙世洲等	1:400万	6个植被型组、43个群系纲、89个群系组及184个群系(自然植被), 5个耕作制度类型共14个农业植被类型.
中国植被(附图)	1980	侯学煜, 赵大昌等	1:1000万	7个植被型组、28个植被型、69个群系组(自然植被), 另含5个栽培植被类型.
中华人民共和国植被图	1982	侯学煜, 孙世洲等	1:400万	6个植被型组、43个群系纲、89个群系组及184个群系(自然植被), 5个耕作制度类型共14个农业植被类型.
中华人民共和国地图集	1984	中国科学院植物研究所	1:1850万	6个植被型组、39个植被型、72个群系组(自然植被), 另含13个农业植被类型.
1:100万中国植被图集	2001	侯学煜等	1:100万	11个植被类型组、54个植被类型、833个群系和亚群系(包括自然植被和栽培植被).
中国植被及其地理格局(附图)	2007	张新时等	1:100万	11个植被类型组、55个植被类型、960个群系和亚群系(包括自然植被和栽培植被).
An updated Vegetation Map of China (1:1000000)	2020	苏艳军, 郭庆华等	1:100万	12个植被型组、55个植被型与植被亚型、866个群系与亚群系.

被类型图》; 2007年欧晓昆、彭明春编制的1:200万《云南省植被现状图》; 2011年董厚德编制的1:150万《辽宁省植被类型图》等, 以及在中国植被编辑委员会的指导下编绘的其他省、自治区的1:100万植被图(网络版附录1)[25~45]. 此外, 2011年台湾林务局出版的《台湾现生天然植群图》达到1:5万的精度, 但其图例类型的植被分类单位等级较高, 大约相当于《中国植被》分类系统中植被亚型[46]. 2014年出版的《澳门陆生自然植被图》则精确到了群丛水平[47].

此外, 学者还编制了我国一些重要山脉河川区域的植被图, 例如, 1987年张文仲、张德军和严仲铠等人编制的1:50万《图们江流域(左岸)现生植被图》, 1990年杜庆与孙世洲编制的1:50万《柴达木盆地植被图》, 1991年池宏康与孙世洲等人编制的1:50万《黄土高原地区植被图》, 1991年周以良等编制的1:150万《中国大兴安岭植被图》, 1994年于子成与陈昌笃编制的《玛纳斯湖周围地区植被图(1:10万)》, 1994年周以良等人编制的1:100万《中国小兴安岭植被图》, 2003年东北师范大学草地研究所编制的1:100万《东北农牧交错区景观结构与土地利用图》, 2006年欧晓昆等人编制的1:5万《梅里雪山核心区植被图》, 2012年梁存柱等人编制的1:25万《贺兰山植被图》, 2018年张晓龙等人发表的1:10万《黑河流域植被图》及2020年本课题组编制的《太行山生物多样性保护优先区京津冀地区(1:20万)植被图》等(网络版附录1)[48~54].

其他更小区域的植被图比例尺更为精细, 如雷福光等人1984年编制的1:5万《西双版纳自然保护区植被图》, 1986年肖育檀等人编制的1:5万《城步南山植被图》, 1986年周厚诚等人编制的1:2万《鼎湖山自然保护区植被图》, 1993年郑文教等人编制的1:1万~1:5万比例尺不等的《厦门市主要海岛植被图》, 2000年余世孝等人编制的1:1万《黑石顶自然保护区群系分布图》等(网络版附录1)[55~59]. 另外, 还有很多地方林业部门及保护区和自然保护地等也编制了很好的植被图, 为地方农林经济发展、政策制定以及科研教学等提供了重要的参考.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3　展望

3.1　植被制图方法的展望

植被制图离不开野外调查. 无论制图方法如何发展, 野外的植被调查资料都是植被制图的根本基础. 详实的植被调查资料是了解研究区植被类型的基础, 是掌握区域内植被分布格局的重要依托, 还可以作为植被图准确性的验证参考. 随着科学技术的发展, 野外调查手段也开始更加丰富, 如户外终端设备——手机、平板电脑等, 其集合精确地理定位、离线地图浏览、随时书写记录、拍摄高清影像等多种功能于一体, 一定程度上使得野外调查工作更加便捷. 其装载的户外调查应用程序, 可以直接进行详实的样点记录、轨迹记录等, 还可以分享他人、导入ArcGIS等软件. 另外, 集合庞大后台数据库的户外植物识别软件也可以在一定程度上帮助调查人员识别植物物种. 最后, 无人机也开始成为野外植被调查的重要手段, 其可以帮助调查人员快速飞去数公里外进行远距离调查, 可以代替调查人员在悬崖峭壁等高危环境调查, 还可以在高空拍摄高清的群落照片. 以上这些调查手段一定程度上丰富和简化了野外调查方法, 将会更多地应用到传统的野外调查中.

现代的植被制图基本离不开对遥感影像等资料的收集. 通过典型植被样点对遥感影像建立“判读标志”, 从而使用遥感影像来判读和勾绘整个区域的植被图, 是现代植被制图的理论基础. 随着遥感技术的发展, 获取同一地区多种遥感数据愈发便捷. 植被遥感分类已由传统的单源分类发展到多源分类——以卫星遥感数据为主的多源信息融合的植被分类, 常常包含了具有丰富光谱信息(多光谱、高光谱、超高光谱)的光学遥感、包含地面纹理信息的合成孔径雷达(synthetic Aperture Radar, SAR)与激光雷达(light detection and ranging, LiDAR)及诸如海拔、坡向、坡度、温度、降水、土壤类型等其他与植被分布相关的非遥感数据的多种组合[10,60~62]. 根据分类单元的不同, 可分为基于像元的分类方法和基于对象的分类方法, 前者目前已广泛应用于多个领域, 后者则解决了分类太过细碎的数据冗余问题. 随着人工智能的发展, 深度学习在处理复杂数据信息方面的优势被应用到了遥感影像分类当中, 为传统的植被分类方法提供了新的机遇[63~65].

植被图的编制离不开科学的植被分类系统. 统一标准的植被分类系统是多团队、大范围统一制图的重要保障. 《中国的植被》首次提出了中国植被分类的“植物群落学-生态学”原则和分类系统草案, 确定了植被型、群系、群丛三级为中国植被分类的主要单位, 加入群系组和群丛组两个辅助级[20]. 1980年出版的《中国植被》、2011年发表的《对中国植被分类系统的认知和建议》、2014年出版的《中国植物区系与植被地理》及2020年发表的《中国植被分类系统修订方案》, 都对原有的植被分类系统进行了一定的调整和修订[22,66~68]. 制定植被分类系统须考虑如何与国际上主要植被分类系统的衔接, 以方便国际间的学术交流及区域之间的植被比较与分析. “植物群落学-生态学”原则是中国植被的分类方法的基础, 虽不完美, 但已广泛应用于生态学等学科领域, 并被大多数的专家学者所熟悉和接受[68]. 《中华人民共和国植被图(1:1000000)》作为中国植被图的重要成果, 其图例包含11个植被类型组、55个植被类型、960个群系和亚群系(包括自然植被和栽培植被). 王璇等人[69]在此基础上搜集中国植被研究的相关文献, 新增了1475个森林和灌丛群系, 为新一代中国植被图的编研提供了基础数据. 中国植被图正朝着精细化、标准化不断发展.

植被制图方法是图例与比例尺的协调统一. 图例的设定除了要考虑制图目的、制图面积的大小, 还要考虑是否能够反映一定细节(详细程度)的植物群落分级情况[70]. 比如, 面积较小的自然保护区可以编制大比例尺的植物群丛图, 而对于国家层面来讲, 植被图图例通常只到群系或者群系组水平. 此外, 植被图图例在一定条件下须适度包容多级别的分类单位共存. 比如, 1:20万的比例尺之下, 图例系统常以群系类型为主, 其植被图上1 mm即为现实中200 m的长度, 而一些地区的植被即使在植被图最小的图斑中也常出现多种群系类型混生的情况, 难以再细化为更小的图斑. 这种情况下, 为了更好、更准确地表达, 应当允许群系类型的图例中使用更高级别的分类单位(如群系组等类型). 此外, 尽管遥感技术不断发展且广泛应用于当今的植被制图, 但仍存在以下问题难以解决. 例如, 不同群系类型的针茅草原通过遥感影像难以精确判别; 生活型高大但分布稀疏与生活型矮小但分布集中的群系类型存在误判. 这些问题的解决, 需要制图专家制作图例、比例尺时能够更加灵活、包容, 同时也依赖科学技术

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

的进一步发展.

最后, 植被制图方法的发展离不开科学技术的进步. 以航天卫星为例, 多光谱传感器只有不到10个波段, 高光谱传感器有10~20个波段, 超光谱传感器通常包含上百个波段. 另外, 早期成像系统的动态范围为256:1(8位形式存储), 而现代成像系统的动态范围已提升至2048:1(11位)和16384:1(14位)之间. 技术的发展提高了影像分辨率, 从而大幅提高了图像信息量, 使得识别植物群系、群丛更加容易, 甚至将来能做到对植株个体的有效识别, 分辨乔木、灌丛单株的形状、大小以及高度等信息. 同时, 高分辨率的卫星影像还有助于提高植被图绘制过程中计算机自动提取和分类的能力. 总之, 科学技术的不断发展为更加精细的植被图编制带来新的挑战和更大的契机.

3.2 中国植被图编制的发展方向

随着中国近些年的城市化建设与发展以及全球气候变化的不断加剧, 一些区域的土地覆盖类型发生了变化, 更多的区域植被则随着时间的推移与人类的干扰发生着向前或向后的演替过程, 并造成全国植被类型的变化, 这就要求人们尽快掌握植被情况、了解植被变化趋势, 而传统的植被图编制方法存在一定的滞后性, 难以满足当前经济社会发展的需求. 因此, 借助全国范围内较新编制的植被图资料, 或者新的制图方法, 结合气候的变化趋势和对人类干扰的影响, 更准确地预测植被的演替方向及潜在的植被分布规律是当前植被制图的重要任务.

早期的中国植被图的编制主要是基于实际考察资料、野外经验并结合植被图地理分布规律, 同时参照地形图、地质、土壤、森林、土地类型等专题图件手动编制而成, 例如, 1979年出版的1:400万植被图和2007年出版的中国1:100万植被图[6,21]. 随着遥感技术的出现, 卫星影像和航片成为植被图编制的重要数据并逐渐融入到遥感制图中. 早在20世纪80年代, 部分地区的植被图也采用了卫星或航空遥感数据, 但受限于当时的数据源、分类算法、计算机算力等限制, 该技术并未完全应用于国家级别植被图的绘制[71]. 目前, 随着对地观测技术和遥感分类方法的发展, 卫星数据获取越来越便捷, 影像的时空分辨率越来越高, 识别的植被类型更加精细, 因此利用遥感技术开展全国尺度的植被图编制成为可能. 但是, 中国植被类型丰富, 地形和气候复杂, 单纯遥感技术难以实现群系级别的中国植被图编制. 为此, 新一代中国植被图编制方法在传统植被图调查方法上, 引入植被类型众源采集的理念构建海量植被样点数据, 依靠野外大量的基础植物群落信息, 在此数据基础上结合深度学习的分类方法来编制中国植被图. 同时, 结合各省专家的理论知识和野外经验进行众源数据审核及制图校正, 从而保证中国植被图的准确编制[72]. 在大数据时代的背景下, 中国植被图的编制呼吁更加科学的数据平台建设和更为广泛的数据共享.

3.3 未来植被图的应用

针对不同的研究要求, 配合其他专题图(土壤图、地质图、地貌图、气候图、水文图、第四纪沉积物图、冻土图)的植被图, 揭示植物群落复杂的生态、地理联系, 是新一代植被图的重要发展方向. 植被图可以直观地反映植被分布的位置及范围, 有助于掌握植被的分布规律. 不同的土壤、地质、地貌、气候、水文等条件下, 植被分布出现明显分异[73]. 比如, 干旱区的荒漠与湿润地区的雨林是生境条件的客观展示, 同时, 它们也可以反映其所处自然生境的特点. 所以, 通过阅读植被图, 可以预测和揭示植被所处生境的特点.

植被图的编制在未来对生物多样性及生态系统的保护意义会愈来愈大. 首先, 植被图可以直观展示植被的多样性. 而多种多样的植被类型可以包容更多种类的植物, 可以支持更多种类的动物栖息、取食. 大数据日趋强大, 使得伴有植物群落物种组成及结构信息的超大信息量电子植被图成为可能, 再辅以动物、土壤等基础数据, 为科研工作人员研究整个生态系统带来更大的便捷. 另外, 由于动物对于不同植被类型具有偏好性, 植被图可以帮助科研人员更加精确地设计动物迁徙的生态廊道, 能够更好地保护野生动物及整个生态系统.

植被图对于自然资源的管理意义重大. 从前人将农业植被与自然植被区分开来在地图上展现时起, 植被图对于指导人类农业生产、自然资源管理就起到了重要作用. 植被图可用于划分农牧区、景观观赏区等功能性区划, 也可以辅助旅游观光路线的设计. 通过掌握植被的分布规律, 可以更加有效地进行植被恢复与生境治理. 最后, 不同时间序列的植被图, 可以展示时间尺度上植被的变化. 通过分析植被变化的原因, 可

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

以预测植被可能的演变方向, 便于更好地管理, 也有助于研究如何解决气候变化对全球产生的影响.

随着科学技术的进步, LiDAR、三维立体打印、虚拟现实(virtual reality, VR)等技术手段的推广应用, 逼真的三维立体植被图可以更加直观地呈现出来. 甚至可以预见, 未来人们在家里带上VR眼镜, 就可以徜徉在大兴安岭的森林之中, 真实模拟的植物群落都清晰地展现在眼前, 实时收录的虫鸣鸟叫萦绕于耳. 相信在科研人员的不懈努力之下, 这些在不久的将来都会实现.

参考文献

1 Jorgensen S E. Ecosystem Ecology. Cambridge: Academic press, 2009. 24–33

2 Tian L S. Vegetation Mapping (in Chinese). Xi'an: Xi'an Map Publishing House, 1993. 172 [田连恕. 植被制图. 西安: 西安地图出版社, 1993. 172]

3 Zhang C P, Niu J M, Dong J J, et al. Vegetation mapping and its development (in Chinese). Acta Sci Nat Univ Sunyatseni, 2005, 44: 245–249 [张翠萍, 牛建明, 董建军, 等. 植被制图的发展与现状. 中山大学学报(自然科学版) , 2005, 44: 245–249]

4 Küchler A W, Zonneveld I S. Vegetation Mapping. New York: Ronald Press Co, 1967. 3–12

5 Pan D Y. The advances in vegetation mapping (in Chinese). Chin Bull Bot, 1994, 11: 44–48+52 [潘代远. 植被制图学进展. 植物学通报, 1994, 11: 44–48+52]

6 The Editorial Committee of Vegetation Map of China, Chinese Academy of Sciences. Vegetation Map of China and its Geographical Pattern (in Chinese). Beijing: Geological Publishing House, 2007. 1228 [中国科学院中国植被图编辑委员会. 中国植被及其地理格局. 北京: 地质出版社, 2007. 1228]

7 Сочава В Б, Chen L Z. The task of geobotanical cartography and its significance to the development of the national economy (in Chinese). Acta Bot Sin, 1959, 8: 106–117 [В Б. 索恰瓦, 陈灵芝. 地植物学制图学的任务及其对国民经济发展的意义. 植物学报, 1959, 8: 106–117]

8 Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. Application of remote sensing method in vegetation mapping (in Chinese). Agric Region, 1980, 1: 46–52 [中国科学院植物研究所. 遥感方法在植被制图中的应用. 农业区划, 1980, 1: 46–52]

9 Deng Y, Chen S P. Application of black and white panchromatic aerial photographs in vegetation mapping (in Chinese). Ecol Sci, 1983, 1: 119–120 [邓义, 陈树培. 黑白全色航空像片在植被制图中的应用. 生态科学, 1983, 1: 119–120]

10 Wright R. Remote sensing techniques in vegetation mapping—A review of some uses and limitations. Trans Bot Soc Edinburgh, 1973, 42: 69–81

11 Malan O G, Westfall R H. A new strategy for vegetation mapping with the aid of Landsat MSS data. Adv Space Res, 1987, 7: 97–103

12 Xu C X, Kuang S S, Li F Q, et al. Applied research of remote sensing technology to compile vegetation map (1:250000) of Henan Province (in Chinese). Region Res Dev, 1989, 8: 61–62 [徐粹新, 邝生舜, 李发启, 等. 遥感技术在编绘河南省植被图(1:25万)中的应用研究. 地域研究与开发, 1989, 8: 61–62]

13 de Colstoun E C B, Story M H, Thompson C, et al. National Park vegetation mapping using multitemporal Landsat 7 data and a decision tree classifier. Remote Sens Environ, 2003, 85: 316–327

14 Rodriguez-Galiano V F, Chica-Olmo M, Abarca-Hernandez F, et al. Random Forest classification of Mediterranean land cover using multi-seasonal imagery and multi-seasonal texture. Remote Sens Environ, 2012, 121: 93–107

15 Xie Y, Sha Z, Yu M. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. J Plant Ecol, 2008, 1: 9–23

16 Wang H, Wang C, Wu H. Using GF-2 imagery and the conditional random field model for urban forest cover mapping. Remote Sens Lett, 2016, 7: 378–387

17 Yun F. WorldView-4 satellite (in Chinese). Satellite Appl, 2016, 11: 81 [云菲. WorldView-4卫星. 卫星应用. 2016, 11: 81]

18 Hou X Y, Ma R Z. Partition Wall Map of Vegetation—Soil in China (1:4000000) (in Chinese). Beijing: SinoMaps Press, 1956 [侯学煜, 马溶之. 中国植被-土壤分区挂图(1:400万). 北京: 地图出版社, 1956]

19 Wu Z Y, Chen C D. Vegetation map of china (1:18000000) (in Chinese). In: Atlas of the People's Republic of China. Beijing: SinoMaps Press, 1957 [吴征镒, 陈昌笃. 1:1800万"中国植被图". 见: 中华人民共和国地图集. 北京: 地图出版社, 1957]

20 Hou X Y. Vegetation of China (in Chinese). Beijing: People's Education Press, 1960. 210 [侯学煜. 中国的植被. 北京: 人民教育出版社, 1960. 210]

21 Hou X Y, Sun S Z, He M G, et al. Vegetation Map of the People's Republic of China (1:4000000) (in Chinese). Beijing: SinoMaps Press, 1979

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

[侯学煜, 孙世洲, 何妙光, 等. 中国植被图(1:400万). 北京: 地图出版社, 1979]

22 Editorial Committee for Vegetation in China. Vegetation in China (in Chinese). Beijing: Science Press, 1980, 1375 [中国植被编辑委员会. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980. 1375]

23 Hou X Y. Vegetation Atlas of China (1:1000000) (in Chinese). Beijing: Science Press, 2001. 129–132 [侯学煜. 1:1000000中国植被图集. 北京: 科学出版社, 2001. 129–132]

24 Su Y, Guo Q, Hu T, et al. An updated vegetation map of China (1:1000000). Sci Bull, 2020, 65: 1125–1136

25 Guangdong Institute of Botany. Vegetation of Guangdong (in Chinese). Beijing: Science Press, 1976. 341 [广东省植物研究所. 广东植被. 北京: 科学出版社, 1976. 341]

26 Xinjiang Comprehensive Investigation Team and Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences. Vegetation in Xinjiang and Its Utilization (in Chinese). Beijing: Science Press, 1978. 378 [中国科学院新疆综合考察队, 中国科学院植物研究所. 新疆植被及其利用. 北京: 科学出版社, 1978. 378]

27 The Collaboration Team on Sichuan Vegetation. Vegetation of Sichuan (in Chinese). Chengdu: Sichuan People's Publishing House, 1980. 465 [四川植被协作组. 四川植被. 成都: 四川人民出版社, 1980. 465]

28 The Collaboration Team on Anhui Vegetation. Vegetation of Anhui (in Chinese). Hefei: Anhui Science & Technology Press, 1983 [安徽省植被协作组. 安徽植被. 合肥: 安徽省科学技术出版社, 1983]

29 Vegetation Professional Team of Tianjin Agricultural Division Committee. Vegetation of Tianjin (in Chinese). Tianjin People's Publishing House, 1984. 56 [天津市农业区划委员会植被专业组. 天津植被. 天津人民出版社, 1984. 56]

30 Comprehensive Investigation Team of Inner Mongolia and Ningxia, Chinese Academy of Sciences. Vegetation of Inner Mongolia (in Chinese). Beijing: Science Press, 1985. 884 [中国科学院内蒙古宁夏综合考察队. 内蒙古植被. 北京:科学出版社, 1985. 884]

31 Zhou X M, Wang Z B, Du Q. Vegetation of Qinghai (in Chinese). Xi'ning: Qinghai People's Publishing House, 1986. 199 [周兴民, 王质彬, 杜庆. 青海植被. 西宁: 青海人民出版社, 1986. 199]

32 Li J X, Tian Y Q, Yang S A. Study on vegetation in Suihua region of Heilongjiang Province (in Chinese). Nat Sci J Harbin Norm Univ, 1987, 3: 91–105+112 [李景信, 田永圻, 杨树安. 黑龙江省绥化地区植被的研究(附植被图). 哈尔滨师范大学自然科学学报, 1987, 3: 91–105+112]

33 Wu Z Y, Zhu Y C. Vegetation of Yunnan (in Chinese). Beijing: Science Press, 1987. 1024 [吴征镒, 朱彦丞. 云南植被. 北京: 科学出版社, 1987. 1024]

34 Comprehensive Investigation Team of Qinghai-Tibet Plateau, Chinese Academy of Sciences. Vegetation of Xizang (in Chinese). Beijing: Science Press, 1988. 589 [中国科学院青藏高原综合考察队. 西藏植被. 北京:科学出版社, 1988. 589]

35 Zhou L H, Sun S Z. Vegetation Map of Qinghai Province (1:1000000) (in Chinese). Beijing: China Science and Technology Press, 1990 [周立华, 孙世洲. 青海省植被图(1:1000000). 北京: 中国科学技术出版社, 1990]

36 Bai Y G, Zhu T C. Compilation of "Vegetation Type Map of Jilin Province (1:50000)" using Landsat images (in Chinese). Sci Geogr Sin, 1991, 11: 67–75+100 [白玉光, 祝廷成. 利用卫星影像编制吉林省植被类型图(1:50万). 地理科学. 1991, 11: 67–75+100]

37 Cai R H. The Vegetation types and 1/1000000 vegetation map of Zhejiang Province (in Chinese). J Zhejiang Univ (Sci Ed) , 1991, 18: 83–87 [蔡壬侯. 浙江省植被类型及百万分之一植被图. 浙江大学学报(理学版), 1991, 18: 83–87]

38 Huang W L. Vegetation of Taiwan (in Chinese). Beijing: China Environmental Science Press, 1993. 294 [黄威廉. 台湾植被. 北京: 中国环境科学出版社, 1993. 294]

39 Editorial Committee for Vegetation of Hebei and Agricultural Division Committee of Hebei Province. Vegetation of Hebei (in Chinese). Beijing: Science Press, 1996. 364 [河北植被编辑委员会, 河北省农业区划委员会. 河北植被. 北京: 科学出版社, 1996. 364]

40 Lei M D. Vegetation of Shaanxi (in Chinese). Beijing: Science Press, 1999. 669 [雷明德. 陕西植被. 北京: 科学出版社, 1999. 669]

41 Wang R Q, Zhou G Y. Vegetation of Shandong (in Chinese). Ji'nan: Shandong Science and Technology Press, 2000. 373 [王仁卿, 周光裕. 山东植被. 济南: 山东科学技术出版社, 2000. 373]

42 Ma Z Q. Vegetation of Shanxi (in Chinese). Beijing: Science and Technology of China Press, 2001. 303 [马子清. 山西植被. 北京: 中国科学技术出版社, 2001. 303]

43 Huang W L, Tu Y L, Yang L. Vegetation of Guizhou (in Chinese). Guiyang: Guizhou People's Publishing House, 1988. 502 [黄威廉, 屠玉麟, 杨龙. 贵州植被. 贵阳: 贵州人民出版社, 1988. 502]

44 Lin P. Vegetation of Fujian (in Chinese). Fuzhou: Fujian Science & Technology Publishing House, 1990. 350 [林鹏. 福建植被. 福州: 福建科学技术出版社, 1990. 350]

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

45 Qi C J. Vegetation of Hunan (in Chinese). Changsha: Hunan Science & Technology Press, 1990. 420 [祁承经. 湖南植被. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1990. 420]

46 Taiwan Forest Bureau. Actual Vegetation Maps for the National Forest Lands of Taiwan. Taipei: Taiwan Forest Bureau, Council of Agriculture, 2011

47 Peng S L, Pan Y H, Zhou T, et al. Vegetation of Macao (Volume Ⅰ)—Terrestrial Nature Vegetation (in Chinese). Department of Gardens and Green Areas, Civic and Municipal Affairs Bureau of Macao Special Administrative Region, 2014. 233–252 [彭少麟, 潘永华, 周婷, 等. 澳门植被志(第一卷)——陆生自然植被. 澳门特别行政区民政总署园林绿化部, 2014. 233–252]

48 Zhang W Z, Zhang D J, Yan Z K, et al. On the compilation of vegetation map of the Tumenjiang River Basin (Left) 1:500000 with reference to its illustration (in Chinese). J Northeast Norm Univ, 1987, 1: 93–104+129 [张文仲, 张德军, 严仲铠, 等. 图们江流域(左岸)现生植被图及其说明(1:500000). 东北师大学报(自然科学版), 1987, 1: 93–104+129]

49 Zhou Y L. Vegetation of Da Hinggan Ling in China (in Chinese). Beijing: Science Press, 1991. 264 [周以良. 中国大兴安岭植被. 北京: 科学出版社, 1991. 264]

50 Zhou Y L. Vegetation of Xiao Hinggan Ling in China (in Chinese). Beijing: Science Press, 1991. 364 [周以良. 中国小兴安岭植被. 北京: 科学出版社, 1994. 364]

51 Ou X K, Zhang Z M, Wang C Y, et al. Vegetation Research in Meili Snow Mountain (in Chinese). Beijing: Science Press. 2006. 239 [欧晓昆, 张志明, 王崇云, 等. 梅里雪山植被研究. 北京: 科学出版社, 2006. 239]

52 Liang C Z, Zhu Z Y, Li Z G. Vegetation of Helan Mountain (in Chinese). Yinchuan: Sunshine Press. 2012. 211 [梁存柱, 朱宗元, 李志刚. 贺兰山植被. 银川: 阳光出版社. 2012. 211]

53 Zhang X L, Zhou J H, Cai W T, et al. Vegetation mapping (1:100000) in Heihe River Basin using 3S technology (in Chinese). J Northwest Norm Univ, 2018, 54: 95–101 [张晓龙, 周继华, 蔡文涛, 等. 基于3S技术的黑河流域1:100000植被制图. 西北师范大学学报(自然科学版), 2018, 54: 95–101]

54 Wang L, Dong L, Zhao Z P, et al. Vegetation diversity and mapping in the priority area of Taihang Mountains biodiversity conservation (Beijing-Tianjin-Hebei region) (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2020, 50, doi: 10.1360/SSV-2019-0174 [王乐, 董雷, 赵志平, 等. 太行山生物多样性保护优先区域京津冀地区植被多样性与植被制图. 中国科学: 生命科学, 2020: in press]

55 Lei F G, Wang J H, Chen S W. Use aerial photographs to compile vegetation maps of Two Double-Banna Nature Reserves (in Chinese). Yunnan For Invest Plan, 1984, 3: 24–26 [雷福光, 王建浩, 陈述旺. 利用航摄照片编制两双版纳自然保护区植被图. 云南林业调查规划, 1984, 3: 24–26]

56 Zhou H C, Li M J, Zhou Y R, et al. The vegetation map of Ding Hu Shan biosphere reserve with reference to its illustration (in Chinese). Trop Subtrop For Ecosys,1986, 4: 43–52 [周厚诚, 李明佳, 周远瑞, 等. 鼎湖山自然保护区植被图集说明书. 热带亚热带森林生态系统研究, 1986, 4: 43–52]

57 Xiao Y T, Cao T R, Peng Z H. Mapping the vegetation (1:50000) of the Nanshan Mountain of Chengbu county, Hunan Province (in Chinese). J Cent South For Univ, 1986, 1: 34–40+111 [肖育檀, 曹铁如, 彭仲华. 湖南城步南山1/5万植被图的编制. 中南林学院学报, 1986, 1: 34–40+111]

58 Zheng W J, Lin P, Lian Y W, et al. On the compilation of vegetation map of main islands in Xiamen city with reference to its illustration (in Chinese). J Xiamen Univ (Nat Sci), 1993, 32: 94–99 [郑文教, 林鹏, 连玉武, 等. 厦门市主要海岛植被图及其说明. 厦门大学学报(自然版), 1993, 32: 94–99]

59 Yu S X, Li Y, Wang Y F, et al. The vegetation classification and its digitized map of Heishiding Nature Reserve, Guangdong. I. The distribution of the vegetation type and formation (in Chinese). Acta Sci Nat Univ Sunyatseni, 2000, 39: 61–66 [余世孝, 李勇, 王永繁, 等. 黑石顶自然保护区植被分类系统与数字植被图Ⅰ. 植被型与群系的分布. 中山大学学报(自然科学版), 2000, 39: 61–66]

60 Cingolani A M, Renison D, Zak M R, et al. Mapping vegetation in a heterogeneous mountain rangeland using Landsat data: An alternative method to define and classify land-cover units. Remote Sens Environ, 2004, 92: 84–97

61 Lee J, Shuai Y, Zhu Q. Using images combined with DEM in classifying forest vegetations. In: IGARSS 2004. 2004 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Anchorage. 2004. New York: IEEE, 2362–2364

62 Han Y G, Jung S H, Kwon O. How to utilize vegetation survey using drone image and image analysis software. J Ecol Environ, 2017, 41: 18

63 Audebert N, Saux B L, Lefevere S, et al. Deep learning on hyperspectral data for land use and vegetation mapping. In: 79th EAGE Conference and Exhibition 2017. Paris. 2017

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

64 Nijhawan R, Sharma H, Sahni H, et al. A deep learning hybrid CNN framework approach for vegetation cover mapping using deep features. 2017 13th International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS). Jaipur. 2017. New York: IEEE, 2017. 192–196

65 Alhassan V, Henry C, Ramanna S, et al. A deep learning framework for land-use/land-cover mapping and analysis using multispectral satellite imagery. Neural Comput Applic, 2020, 32: 8529–8544

66 Song Y C. Recognition and proposal on the vegetation classification system of China (in Chinese). Chin J Plant Ecol, 2011, 35: 882–892 [宋永昌. 对中国植被分类系统的认知和建议. 植物生态学报, 2011, 35: 882–892]

67 Chen L Z, Sun H, Guo K. Flora and Vegetation Geography of China (in Chinese). Beijing: Science Press, 2014. 596 [陈灵芝, 孙航, 郭柯. 中国植物区系与植被地理. 北京: 科学出版社出版, 2014. 596]

68 Guo K, Fang J Y, Wang G H, et al. A revised scheme of vegetation classification system of China (in Chinese). Chin J Plant Ecol, 2020, 2020, 44: 111–127 [郭柯, 方精云, 王国宏, 等. 中国植被分类系统修订方案. 植物生态学报, 2020, 44: 111–127]

69 Wang X, Chen G K, Guo K, et al. A supplemental dataset to the Vegetation Map of the People's Republic China (1:1000000): Forest and scrub formations (in Chinese). Biodivers Sci, 2019, 27: 1138–1142 [王璇, 陈国科, 郭柯, 等. 1:100万中国植被图森林和灌丛群系类型的补充资料. 生物多样性, 2019, 27: 1138–1142]

70 Грибова С А, Исаченко Т И. In: Sun S Z, Jin M X, Transl. Vegetation Mapping at Mapping Scales (in Chinese). Beijing: Surveying and Mapping Publishing House, 1992. 1–20 [格里博瓦, 伊萨钦科. 孙世洲, 金美香, 译. 测图比例尺植被制图. 北京: 测绘出版社, 1992. 1–20]

71 Chi H K. Methods for collecting vegetation information in Loess Plateau (in Chinese). Acta Bot Sin, 1996, 38: 40–44+91 [池宏康. 黄土高原地区提取植被信息方法的研究. 植物学报, 1996, 38: 40–44+91]

72 Guo Q H, Guan H C, Hu T Y, et al. Remote sensing-based mapping for the new generation of Vegetation Map of China (1:500,000) (in Chinese). Sci Sin Vitae, 2020, 50, doi: 10.1360/SSV-2019-0283 [郭庆华, 关宏灿, 胡天宇, 等. 新一代1:50万中国植被图绘制方法探讨. 中国科学: 生命科学, 2020: in press]

73 Causton D R. Introduction to Vegetation Analysis. London: Unwin Hyman. 1988, 330

History and prospect of vegetation map compilation in China

WANG Le[1], DONG Lei[1], HU TianYu[1,2] & GUO Ke[1,2]

1 State Key Laboratory of Vegetation and Environmental Change, Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;
2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Vegetation maps are the product of vegetation research, which contain professional ecology information in terms of both vegetation types and spatial distribution patterns. They are important and basic data for revealing the distribution features of plants and communities, which can provide not only a solid foundation for research in ecology and geography, but also useful reference information for the development of agriculture, forestry, husbandry and ecological construction. The brief overview of the origin and development of global vegetation mapping was showed in this paper. And the compiling history and achievements of national and regional vegetation maps of China were reviewed. Vegetation mapping of China started in the 1950s. The vegetation maps of China (1:8,000,000), published in 1960, firstly showed 129 alliance-level vegetation types of the whole country. Subsequently, national vegetation maps (i.e., 1:4,000,000 and 1:1,000,000), provincial and regional vegetation maps of various scales were published successively. In the future, vegetation map compilation should fully utilize modern science and technology, be based on sufficient field survey data and vegetation ecology research. Meanwhile, multi-source and multi-temporal remote sensing data and big data of ecological geographic information, combined with artificial intelligence (e.g., deep learning) classification methods are also required.

vegetation type map, distribution pattern of vegetation, vegetation classification system, mapping method

doi: 10.1360/SSV-2020-0184

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net