

# 中国绿洲分布及编目研究

桂东伟<sup>1,2\*</sup>, 林敬梧<sup>1,3</sup>, 刘云飞<sup>1,4</sup>, 刘琦<sup>1,4</sup>, 张思源<sup>1</sup>, 刘闯<sup>5\*</sup>

1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院新疆理化技术研究所 乌鲁木齐 830011;  
3. 中国科学院大学, 北京 100049; 4. 新疆策勒荒漠草地生态系统国家野外科学观测研究站, 策勒 848300;  
5. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

**摘要:** 绿洲作为干旱区的非地带性地理单元, 不仅是干旱区人民生产生活的重要载体, 更是干旱区人地系统的核心。尽管绿洲在干旱区有着不可替代的重要性, 但在当前地理信息大数据技术迅速发展背景下, 却一直存在绿洲底数不清、边界不明和数据多样等问题, 而针对绿洲地理单元的编目工作更是一直尚未开展, 严重制约了绿洲学的深入发展。基于该现状, 本研究以2020年为基准年, 以 Google Earth 夏季高精度遥感影像为主要数据来源, 辅以哨兵二号卫星影像, 经过影像校正、目视解译、野外考察和人工修订等步骤, 历经3年成功提取了中国绿洲基础数据; 然后基于每块绿洲所属的行政区、河流和面积对其进行编码, 完成中国绿洲的编目工作。研究结果确定2020年中国共有1,466块面积 $>0.01\text{ km}^2$ 的绿洲, 总面积为 $277,375.56\text{ km}^2$ , 约占中国国土面积的3.02%; 分布在 $74.04^\circ\text{E}$ – $101.21^\circ\text{E}$ ,  $35.87^\circ\text{N}$ – $48.39^\circ\text{N}$ 之间, 横跨5个省区、22个地貌单元和7个主要河流域; 绿洲面积以 $>10,000\text{ km}^2$ 超大型绿洲为主, 虽然数量仅有8块, 总面积达 $151,783.04\text{ km}^2$ , 占中国绿洲总面积的54.72%。各省区中新疆绿洲面积最大( $171,801.06\text{ km}^2$ ), 占中国总绿洲面积的63.78%, 主要分布在海拔700 m到2,600 m之间。各地貌单元中塔里木河北部湖积冲积平原区是中国绿洲面积分布最广( $43,613.54\text{ km}^2$ )和大型绿洲最为集中的区域, 包括塔里木河干流绿洲、渭干河绿洲和阿克苏绿洲等。各流域中塔里木河内流区的绿洲面积最大( $89,723.69\text{ km}^2$ ), 占中国绿洲面积的30.80%, 其内绿洲沿着塔里木河在塔克拉玛干沙漠外围串联成一个环形。中国绿洲数量上则以 $0.01$ – $1\text{ km}^2$ 规模微型绿洲为主(853块), 占中国绿洲数量的58.19%。各省区中也是新疆的绿洲数量最多(1,078块), 占中国绿洲总数量的73.53%。本成果不仅全面摸清了2020年中国绿洲的底数, 更填补了绿洲编目工作缺失的空白, 对厚实绿洲科学和推动世界绿洲研究的发展有重要意义。

**关键词:** 干旱区; 绿洲; 编目; 中国; 流域; 地貌

**DOI:** <https://doi.org/10.3974/geodp.2025.01.01>

**CSTR:** <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2025.01.01>

## 1 引言

绿洲是干旱区荒漠基质上因稳定水源驱动形成的非地带性地理单元<sup>[1]</sup>, 不仅是干旱区

收稿日期: 2024-10-24; 修订日期: 2025-02-23; 出版日期: 2025-03-25

基金项目: 新疆维吾尔自治区(2023TSYCLJ0049); 国家自然科学基金(42361144792); 中国科学院(2023)

\*通讯作者: 桂东伟, 中国科学院新疆生态与地理研究所, [guidwei@ms.xjb.ac.cn](mailto:guidwei@ms.xjb.ac.cn); 刘闯, 中国科学院地理科学与资源研究所, [lchuang@igsrr.ac.cn](mailto:lchuang@igsrr.ac.cn)

引用方式: 桂东伟, 林敬梧, 刘云飞等. 中国绿洲分布及编目研究[J]. 全球变化数据学报, 2025, 9(1): 1–13.  
<https://doi.org/10.3974/geodp.2025.01.01>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2025.01.01>.

人民生产生活的重要载体,更是干旱区生物的重要栖息地<sup>[2]</sup>。因此,绿洲的稳定对于干旱区生态文明及区域社会经济发展具有不可替代的重要意义<sup>[3,4]</sup>,也一直是干旱区学者研究和关注的热点。尤其是当黄盛璋<sup>[5]</sup>系统提出绿洲学概念后,绿洲研究逐渐系统化并成为干旱区的特色学科<sup>[6-8]</sup>,在我国一代代学者的努力下也使得我国绿洲学的研究处于世界领先水平,如关于绿洲土地利用类型变化<sup>[9]</sup>、绿洲水资源优化配置<sup>[10]</sup>、气候变化下绿洲演化研究<sup>[11]</sup>以及适宜规模研究<sup>[12]</sup>等。从自然地理学视角纵览诸多绿洲相关研究,多聚焦于单个绿洲<sup>[13,14]</sup>或某个区域<sup>[15-17]</sup>研究。在当前地理信息大数据迅速发展的今天,中国到底有多少块空间独立的绿洲,每块绿洲的位置分布、面积、边界和所属区域等地理属性如何?仍然缺乏一个完整、明确的回答。

对某种地理现象和地理单元开展分类及编目研究,是地理学工作的基础,对客观认识该地理单元的分布及演化规律具有极其重要的学术价值。绿洲分布底数不明直接影响了绿洲编目工作的开展,相较于冰川<sup>[18,19]</sup>、湖泊<sup>[20]</sup>及湿地<sup>[21]</sup>等地理单元的编目研究,绿洲编目研究工作总体处于滞后状态,导致绿洲科学的不完整。尽管如此,我国绿洲研究前辈们在绿洲区划上还是做了很多卓有成效的工作,如申元村<sup>[22]</sup>根据人类对绿洲的影响程度、绿洲形成时期与阶段和所处地貌位置等角度对我国绿洲进行了全面划分;杨发相<sup>[23]</sup>系统地探讨了绿洲区划的原则和方法,并从气候、地貌、河流三级属性构建了中国绿洲三级区划方案。这些绿洲的分类及区划的研究,为绿洲编目研究提供了坚实基础。

因此,本研究着眼于中国绿洲,选取2020年为基准年,基于绿洲定义,利用多源遥感影像和实地调查,首先通过人工目视精准解译每块绿洲,然后基于每块绿洲的地理属性,为每块空间独立的绿洲赋予唯一“学术ID”,最终形成我国完整绿洲编目以实现全景式的中国绿洲分布数据展示。研究团队历经3年,实现了中国所有面积>0.01 km<sup>2</sup>绿洲的编码工作,且其编码能够很好地反映绿洲的空间分布特征及其自然属性,为评估绿洲土地利用变化、时空变化等研究提供了基线,对剖析中国绿洲分布的成因和机理,推动中国绿洲研究从定性向定量发展有重要意义,也为进一步对中亚乃至世界绿洲的定量化研究打下良好基础。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

绿洲的高精度的精准识别是绿洲编目的基础。本研究所引用的数据主要包括卫星遥感影像数据、DEM数据和中国基础地理信息数据。其中,遥感影像数据用于判别绿洲存在与否、进行绿洲边界提取及研究绿洲生境。为了保证数据的统一性、准确性和科学性,研究用Google Earth上获取的2020年夏天中国西北地区高精度图像进行识别分析(空间分辨率优于1 m),并对于少部分影像未能及时更新或存在云量过多等问题的区域,采用欧洲空间局发布的“哨兵二号”卫星数据<sup>1</sup>代替(空间分辨率为10 m)。DEM数据采用日本宇宙航空研究所的ALOS卫星12.5-m产品<sup>2</sup>,用于与遥感数据叠加辅助目视解译和提取绿洲的坡度、

<sup>1</sup> European Space Agency. <https://scihub.copernicus.eu/>.

<sup>2</sup> JAXA, Japan Aerospace Exploration Agency. <https://search.asf.alaska.edu/>.

坡向和高程等几何参数。中国基础地理信息数据<sup>3</sup>来源于国家基础地理信息中心网站，其中包含了各省区行政区划和主要河流分布等数据，用于对绿洲进行编码和分布现状研究。

## 2.2 方法

经过反复实验，作者发现现有的绿洲自动提取方法<sup>[24,25]</sup>虽然较省时便利，但多使用低分辨率遥感影像实现大尺度区域的提取，且提取质量和精度不佳，导致绿洲数量和面积的统计结果多样化，尤其绿洲数量始终没有一个定量精准的统计。因此本文最终采用目视解译方法，历时 3 年完成了中国绿洲的提取。绿洲提取时误差的来源主要分为技术误差和人为误差两类。为了减小技术误差，每景遥感影像均进行了系统的辐射校正和几何校正，使图像的地物更清晰且与 DEM 数据的地理位置基本保持一致。人为误差主要源于不同操作人员对于绿洲边界的判断标准不同和实际工作经验的不同。为了减少主观判断产生的误差，在工作开始前成立了一个由该领域专业人士组成的专家组，讨论和制定了绿洲数据提取时的工作指南（包括 Google Earth 软件的操作步骤、遥感图像的选取标准及提取绿洲边界的规范等）。另外，每个工作人员进行目视解译前都要经过专家指导和技能培训，在给定的五块实验区上进行能力测试，直到他们能够熟练地根据遥感图像上地物的形状、大小和阴影及像元的纹理、颜色等解译标志对绿洲区域进行精准识别，才能正式开始绿洲提取作业。

在进行绿洲边界提取时，因为绿洲-荒漠过渡带在影像上与绿洲具有类似的特征，部分区域的归属一直存在问题<sup>[26,27]</sup>，对绿洲提取工作造成了一定的困难。为了准确地划分绿洲和荒漠之间的界线，我们选择先对遥感影像进行土地利用分类，然后利用计算植被覆盖度（FVC）的方法来对其进行划分。最终我们得到的 FVC 的值介于 0–1 之间，将 FVC 值在干旱区 $<0.2$ 和在半干旱区 $<0.3$ 的像元视为沙漠地带，其余部分则为绿洲地带<sup>[28]</sup>。

此外，对于在遥感影像上难以识别地物类型和图像精度不足的地域，通过详细的实地调查和 GPS 测量来确定地物类型和边界范围，确保最终中国绿洲提取结果中大多数地区的精度在 1 m 内，最差提取精度也 $<10$  m。然后将提取出的中国绿洲数据导入到 Arcmap 中，进行空间拓扑检查和去除低于最小可识别面积（ $0.01\text{ km}^2$ ）的斑块，并将数据投影转换为 Albers 正轴等积双标准纬线割圆锥投影（中央经线  $91^\circ\text{E}$ ，标准纬线  $35^\circ\text{N}$  和  $49^\circ\text{N}$ ，WGS84 坐标系），以便进行中国绿洲编目和面积的计算。

## 2.3 编码规则

确定合理的编码规则是编目工作的核心，为确保每块绿洲编码的简洁和唯一性，基于前期以气候类型、行政区、地貌、河流和面积等字段为编码的工作基础上<sup>[29]</sup>，结合专家咨询，最终确定中国绿洲编目编码的由行政区、河流及面积这 3 个最能体现绿洲特征的属性组成（图 1）。每个绿洲编码都由 6 个字符组成，其中行政区、河流和面积各占 2 个字符。通过上述编码字段的设定及赋值后，实现为每个绿洲赋值“学术 ID”。除编码外，为了体现绿洲的其它地理属性信息，绿洲属性表中还设置经纬度、边长和高程等字段（详见表 1）。中国绿洲全部矢量数据已发布在全球变化科学研究数据出版系统<sup>4</sup>。

<sup>3</sup> 国家基础地理信息中心. <http://www.ngcc.cn/>.

<sup>4</sup> 全球变化科学研究数据出版系统. <http://www.geodoi.ac.cn>.

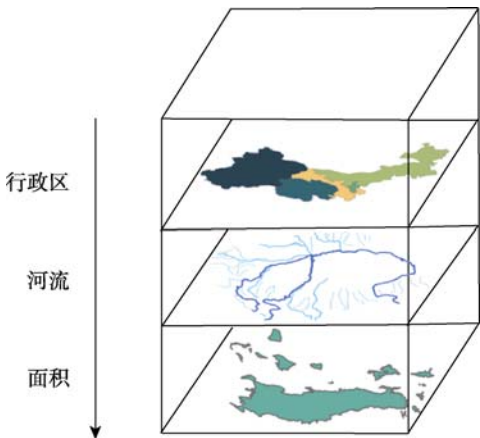


图 1 中国绿洲编码属性组成示意图

表 1 中国绿洲数据集属性表（示例）

绿洲 ID	行政区 ID	河流 ID	面积分类	面积 (km <sup>2</sup> )	边长 (m)	经度 (°E)	纬度 (°N)	平均高程 (m)
XJ2401	XJ	24	01	33,498.30	5,380.39	86.91	44.45	576.50
QH1501	QH	15	01	30,647.27	441.84	95.08	36.97	1,067.54
IM0101	IM	01	01	19,956.77	2,810,556.99	108.14	40.55	1,008.51
XJ4201	XJ	42	01	19,847.57	1,700.63	84.91	40.86	1,259.98
XJ4601	XJ	46	01	14,136.35	3,003.74	78.03	38.95	2,206.44
XJ4301	XJ	43	01	10,777.39	64,004.84	76.57	39.28	1,997.92
NX0102	NX	01	02	7,757.03	809,678.51	106.88	38.63	1,091.11
GS1201	GS	12	01	7,677.37	4,232.61	102.82	37.79	1,550.95
GS0701	GS	07	01	6,736.80	1,989.15	100.47	38.89	1,523.81
XJ6201	XJ	62	01	3,311.27	1,845.63	88.34	39.12	1,564.58
XJ6101	XJ	61	01	3,263.30	2,247.24	86.59	38.74	1,733.57
GS0201	GS	02	01	2,439.29	37,639.23	96.52	40.40	1,917.41
NX0103	NX	01	03	2,329.93	579,639.79	105.48	37.58	1,281.51
NX0103	NX	01	03	2,323.19	579,639.79	105.48	37.58	1,281.51
GS1202	GS	12	02	2,198.81	3,670.20	103.35	38.78	1,357.35
GS0301	GS	03	01	1,830.21	160,134.99	94.71	40.35	1,440.23
XJ8302	XJ	83	02	1,688.97	12,531.04	81.75	41.77	1,857.40
QH7601	QH	76	01	1,649.45	989.08	90.68	39.61	2,104.10
NX0104	NX	01	04	887.36	321,164.73	105.07	37.02	1,666.08
QH1301	QH	13	01	841.89	1,189.96	94.19	38.93	746.73

3 数据结果

3.1 中国绿洲总体分布与规模

基于绿洲学术定义，我国绿洲分布于西北干旱与半干旱地区，在 74.04°E–101.21°E，

35.87°N–48.39°N 之间，位于新疆、甘肃、青海的西北部、宁夏的北部以及内蒙古的中西部，西至喀什地区，东达包头，北临阿勒泰山，南接昆仑山和祁连山脉（图 2）。该空间划分总体上与大多数文献中<sup>[22, 23]</sup>的范围一致，但在东部边界上有个别文献<sup>[30]</sup>将包头以东部分区域也划分为绿洲，存在一定争议。鉴于其已经不再属于半干旱区，因此本研究不将其视为绿洲区域。经统计，我国绿洲共有 1,466 块，面积为 277,375.56 km<sup>2</sup>，占中国国土面积的 3.02%，中国干旱区面积约 8%。我国绿洲星罗棋布，分布宏观上或沿同一河流连成绿洲群带，或依各山岳呈块状独立分散，表现出沿山而散落，逐水而发育，择土而栖居的特点，且呈现出小绿洲的数量很多但面积占比很小，大绿洲的数量很少但是面积占比很大的现象。

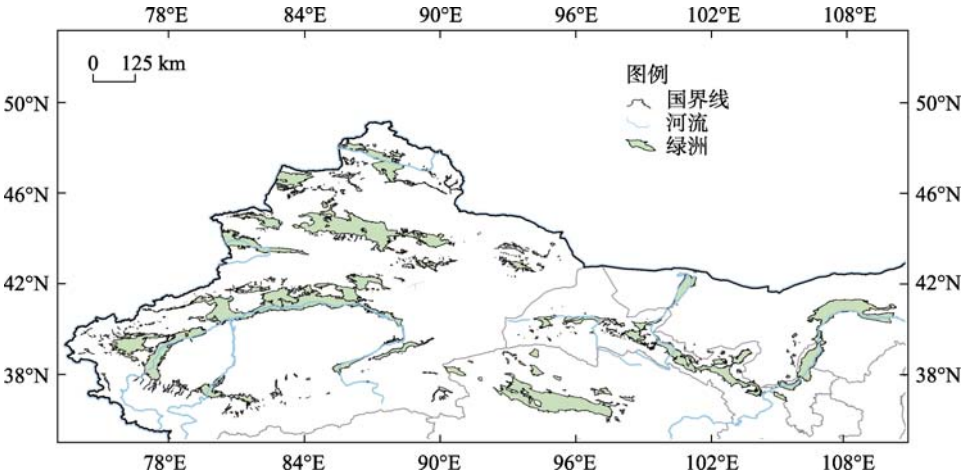


图 2 中国绿洲分布图

（该图基于自然资源部标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2019)1821 号的标准地图制作，底图边界无修改）

3.2 各省区绿洲分布特征

各省区绿洲数量、面积及占行政区比例情况具体见表 2。5 个省区中新疆绿洲的数量最多、面积最大，共有 1,078 块，占中国绿洲数量的 73.53%；面积 171,801.06 km<sup>2</sup>，占我国总绿洲面积的 63.78%；近 30 年来，新疆绿洲面积总体增长态势显著，绿洲面积占行政区总面积的比例从原先的 5%–8%<sup>[31, 32]</sup>提升至 10.32%。新疆绿洲以天山为界，分为南北部分。新疆北部有乌鲁木齐、昌吉、石河子等地区连接而成的天山北坡绿洲，还有因石油而得到迅速发展的工矿绿洲克拉玛依，以及风景秀丽的伊犁绿洲等。新疆南部则有很多历史悠久，至今仍发挥着重要作用的绿洲，如和田绿洲、阿克苏绿洲和喀什绿洲等。

青海绿洲数量较少，仅有 25 块，绿洲面积排名第二（30,047.08 km<sup>2</sup>），占我国绿洲总面积的 11.15%，但占其行政区面积的比例很小（4.16%）。青海绿洲主要以天然绿洲为主，绿洲内分布着大量原始植被，与其他省区的绿洲相比受人工干预程度最轻微。甘肃绿洲数量排名第二（316 块），面积（29,024.79 km<sup>2</sup>）排名第三，占我国绿洲总面积的 10.77%，占甘肃行政区面积的 8.81%。需要特别指出的，甘肃东南部属于半干旱区和半湿润的交接地带，部分地区绿洲与非绿洲的界线难以判断，实际面积绿洲可能比本文统计的面积大。内蒙古绿洲和宁夏绿洲的面积都不大，分别为 25,201.61 km<sup>2</sup> 和 13,301.02 km<sup>2</sup>，占我国绿洲

总面积的 9.36%和 4.94%。但由于内蒙古和宁夏的行政区面积都较小，绿洲占行政区面积比例都较高，分别为 21.30%和 20.03%。在内蒙古阿拉善地区，气候属于半干旱地区，相对较多的降雨量驱动形成草本或灌木较密集的自然景观，即已经脱离了绿洲概念范畴，所以不存在天然绿洲，但由于人口的增多和经济发展的需要，开采利用地下水进行灌溉，形成了许多零星分布的人工小绿洲。

表 2 各省区绿洲数量、面积及占行政区比例表

省区	绿洲数量 (块)	绿洲面积 (km <sup>2</sup> )	行政区面积 (km <sup>2</sup> )	占总绿洲面积 (%)	占行政区面积 (%)
新疆	1,078	171,801.06	1,664,900	63.78	10.32
青海	25	30,047.08	722,300	11.15	4.16
甘肃	316	29,024.79	425,900	10.77	8.81
内蒙古	37	25,201.61	118,300	9.36	21.30
宁夏	10	13,301.02	66,400	4.94	20.03

将中国绿洲划分成微型绿洲 (0.01–1 km<sup>2</sup>)、小型绿洲 (1–100 km<sup>2</sup>)、中型绿洲 (100–1,000 km<sup>2</sup>)、大型绿洲 (1,000–10,000 km<sup>2</sup>) 和超大型绿洲 (>10,000 km<sup>2</sup>)<sup>[33]</sup>，并制作各省区不同规模绿洲数量和面积统计图及百分比堆叠图 (图 3、4)。由图可知，微型绿洲 (0.01–1 km<sup>2</sup>) 在新疆、甘肃、内蒙古和宁夏四个省区的数量都是最多的，分别占各省区绿洲总数的 59.65%、59.81%、43.24%、40.00%。微型绿洲数量虽多，面积却很小，总共仅有 244.18 km<sup>2</sup>。随着绿洲规模等级的增大，绿洲数量总体呈下降趋势，所占面积却呈逐级上升趋势，但上升的幅度逐渐减小。小型绿洲 (1–100 km<sup>2</sup>) 的数量为 523 块，面积为 6,264.85 km<sup>2</sup>，主要分布在新疆、内蒙古和甘肃，数量与微型绿洲相比下降了 15.10%，但面积却增加了 24.66 倍。中型绿洲 (100–1,000 km<sup>2</sup>) 数量为 53 块，占中国绿洲总数的 3.62%，面积为 16,734.13 km<sup>2</sup>，占中国绿洲总面积的 6.03%，其中青海绿洲中小型绿洲数量的占比最多，达到 25.71%。大型绿洲 (1,000–10,000 km<sup>2</sup>) 块数为 29，占中国绿洲总数的 1.98%，总面积为 100,517.68 km<sup>2</sup>，占中国绿洲总面积的 36.23%。其中宁夏和甘肃大型绿洲的面积占比最大，分别为 85.99%和 93.30%。大型绿洲与中型绿洲相比数量下降了 45.28%，面积上升了 5.01 倍。超大型绿洲 (>10,000 km<sup>2</sup>) 仅有 8 块，其中新疆有 6 块，青海和内蒙古各 1 块，数量仅占中国绿洲总数的 0.54%，但总面积高达 151,783.04 km<sup>2</sup>，占中国绿洲总面积的 54.72%。超大型绿洲与大型绿洲相比数量下降了 72.41%，面积增加了 0.51 倍。按空间相连的绿洲面积进行排序，我国面积最大的十块绿洲分别是：塔里木河中下游绿洲 (51,900.52 km<sup>2</sup>)、天山北坡绿洲 (33,498.30 km<sup>2</sup>)、柴达木盆地绿洲 (30,647.27 km<sup>2</sup>)、河套平原绿洲 (30,043.73 km<sup>2</sup>)、喀什噶尔-叶尔羌河绿洲 (24,960.17 km<sup>2</sup>)、石羊河绿洲 (10,851.67 km<sup>2</sup>)、额尔齐斯河绿洲 (10,774.94 km<sup>2</sup>)、伊犁绿洲 (9,080.27 km<sup>2</sup>)、黑河中游绿洲 (6,736.80 km<sup>2</sup>)、额敏河绿洲 (6,248.26 km<sup>2</sup>)。

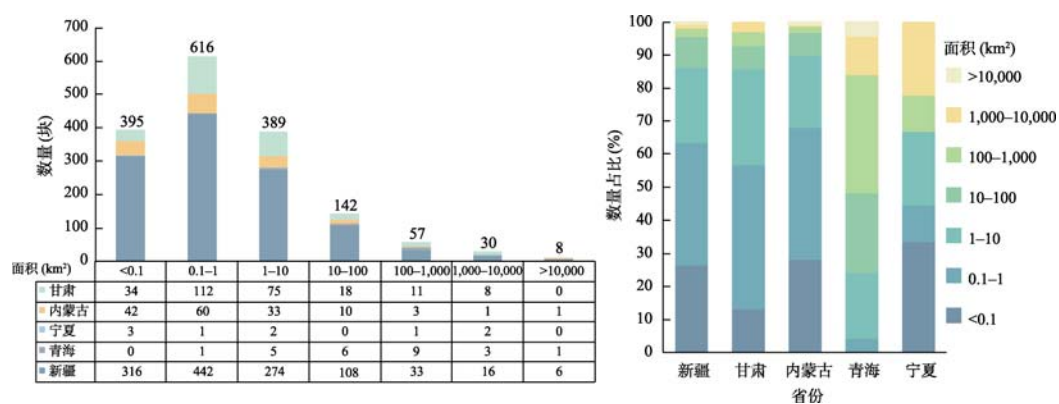


图 3 中国各省区不同规模绿洲数量及百分比堆叠图

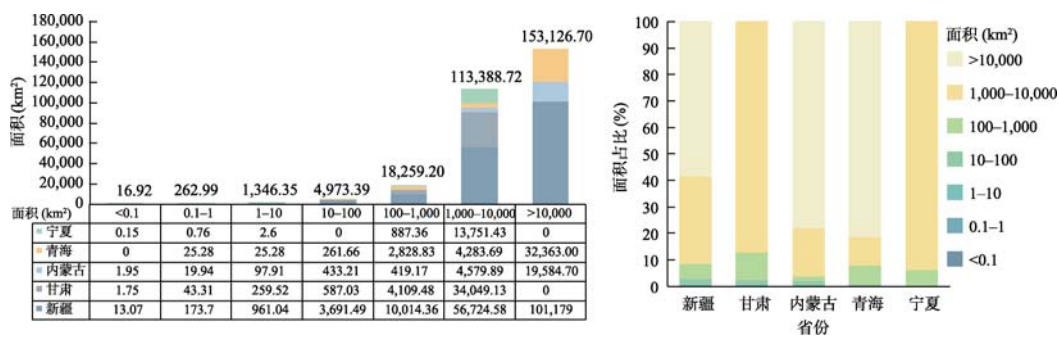


图 4 中国各省区不同规模绿洲面积及百分比堆叠图

由各省区绿洲平均海拔分布山脊图可知（图 5），新疆绿洲高程分布范围最广，形成多个山脊，最低处低于海平面，最高处将近 4,000 m，集中分布在 700 m 到 2,600 m 之间。青海绿洲高程总体分布较为均衡，范围跨度不大，都位于高海拔地区，最低处约 2,600 m，最高处超过 3,100 m，形成明显的双峰结构，峰值（绿洲集中分布区域）分别约在 2,800 m 和 3,000 m 处。宁夏和内蒙古绿洲高程分布特征相似，总体高程相对其他地区较低，最低处都

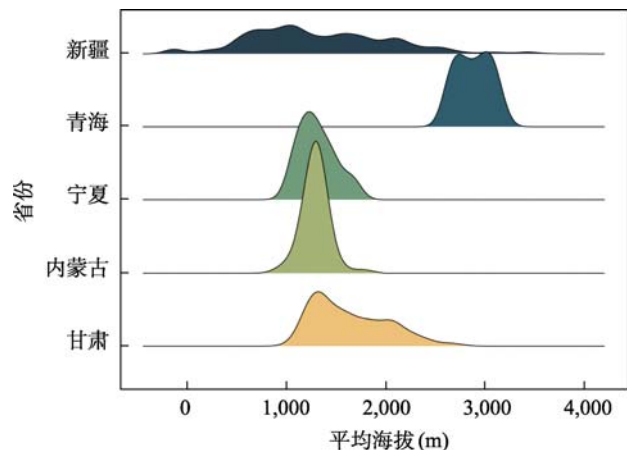


图 5 各省区绿洲平均海拔高度分布山脊图

约在 900 m 处, 在山脊图中都呈现单峰结构, 峰值分别约为 1,300 m 和 1,400 m。甘肃绿洲高程分布较广, 最低处约 1,000 m, 最高处超过 2,700 m, 形成一大一小两个峰顶, 在主峰顶 1,300 m 处附近分布了 49.22% 的绿洲, 在次峰顶 2,200 m 处附近分布了 10.85% 的绿洲。

3.3 各地貌单元绿洲的分布与规模

地貌单元作为光、热能、水的主要受体与媒介, 直接影响了地球表层水与热能的地域性质和分布情况, 并间接影响了土地、植被及其产物转化过程与生态系统的演替和演化。绿洲形成和发展在一定的地貌部位, 地貌类型与绿洲平面几何形状和空间分布特征具有高度相关性。我国绿洲多分布在平原和盆地, 总面积为 255,476.68 km<sup>2</sup>, 占绿洲总面积的 92.10%, 数量为 1,181 块, 占绿洲总数量的 80.56%。

参考中国地貌区划体系<sup>[34]</sup>, 将我国绿洲所在区域分为 22 个地貌单元 (表 3)。各地貌单元中绿洲面积排名前三的是塔里木北部湖积冲积平原 (43,613.54 km<sup>2</sup>)、柴达木盆地 (38,315.63 km<sup>2</sup>) 和准噶尔南缘洪积冲积平原 (34,396.02 km<sup>2</sup>), 分别占中国绿洲总面积的 15.52%、13.81% 和 12.401%。其中塔里木北部湖积冲积平原位于塔里木河流域, 由河水冲击和湖泊沉积形成, 地形平坦, 水土条件较好, 便于人类生活和作业, 分布有塔里木河干流绿洲、渭干河绿洲、阿克苏绿洲等多块大型绿洲。柴达木盆地外围由一系列西北-东南向的平行山脉和山间宽谷组成, 中心的热量条件好且能够沉积从周围山地迁来的物质, 导致绿洲的数量虽少 (27 块), 但盆地中心有一块面积很大的绿洲 (30,647.27 km<sup>2</sup>)。准噶尔南缘洪积冲积平原绿洲中的植被发育更多的是依靠天然降水, 且水量季节分配较

表 3 中国各地貌单元绿洲面积及数量统计表

地貌单元	面积 (km <sup>2</sup> )	数量 (块)
塔里木北部湖积冲积平原	43,613.54	125
柴达木盆地	38,315.63	27
准噶尔南缘洪积冲积平原	34,396.02	41
河套冲积平原	27,714.43	9
河西走廊冲积洪积平原	25,482.18	235
塔里木南缘冲积洪积平原	24,084.52	140
乌伦古额尔齐斯冲积平原	12,331.79	41
喀什洪积冲积平原	11,173.14	59
中天山高山盆地	9,100.20	6
焉耆盆地区	8,855.34	57
准噶尔西部界山中山丘陵	7,769.56	102
塔里木东南缘冲洪积台地平原	6,628.62	12
六盘山中低山丘陵谷地	5,543.84	6
马鬃山中山丘陵	4,653.37	4
天山北侧山前低山丘陵平原	4,344.45	108
吐哈冲积洪积平原	4,340.83	211
阿拉善高原丘陵风沙平原	4,133.59	109
东天山高山	1,563.85	67
古尔班通古特沙漠	1,475.91	21
中昆仑山西段高山湖盆	962.40	1
西昆仑高山极高山	485.20	13
南天山高山	407.13	72



均匀，是我国荒漠区中唯一植被呈非紧缩型分布的地区。

各地貌单元中绿洲数量排名前三的是河西走廊冲积洪积平原（235 块）、吐哈冲积洪积平原（211 块）和塔里木南缘冲积洪积平原（140 块），分别占中国绿洲总数量的 16.03%、14.39% 和 9.55%。河西走廊冲积洪积平原包括安西-敦煌盆地、酒泉-张掖盆地和武威盆地三部分，因特殊的地理位置和地形的优越，从古至今都为我国中西部交流要道，开发历史悠久，不仅绿洲数量多，且面积也不小（25,482.18 km<sup>2</sup>）。吐哈冲积洪积平原是新疆降雨最少而温度最高的地方，很难形成常年性河流，原先人们利用坎儿井引水进绿洲，导致绿洲的破碎度很高，数量很多。塔里木南缘冲积洪积平原包括策勒、于田、民丰、若羌、且末五块中型绿洲，且每块绿洲都和向其提供水源和土状物质的河流相联系，但由于河流都较为短小且尾闾没于沙漠，使得该地区绿洲之间关联并不紧密，呈零星块状分布。另外，中昆仑山西段高山湖盆区因地势很高，土壤贫瘠，属于高原温带气候，很难形成绿洲，所以绿洲数量最少、面积最小，仅有一块绿洲位于阿尔金山湖泊密集处。

3.4 各流域绿洲的分布与规模

发源于山区的河流是形成绿洲的核心驱动因素<sup>[35]</sup>，各河流的空间变化直接制约着绿洲空间分布<sup>[36]</sup>。有水是绿洲，无水为荒漠，河流径流量的大小直接影响着绿洲的存在、发展规模以及消亡过程，而河流数量的多少也决定了绿洲数量的多寡。如图 6 所示，中国绿洲分布在黄河干流水系、河西走廊-阿拉善河内流区、柴达木内流区、准噶尔内流区、塔里木河内流区、额尔齐斯河水系及伊犁、额敏河水系。各流域绿洲面积及占比见图 7。

其中，塔里木河内流区的绿洲面积最大（89,723.69 km<sup>2</sup>），占我国绿洲总面积的 32.35%。塔里木河内流区位于新疆南部，天山山脉和昆仑山脉之间，是世界上最大的内陆河流域。塔里木河的水源主要来自阿克苏河、和田河和叶尔羌河，而由这些河流所灌溉形成的绿洲

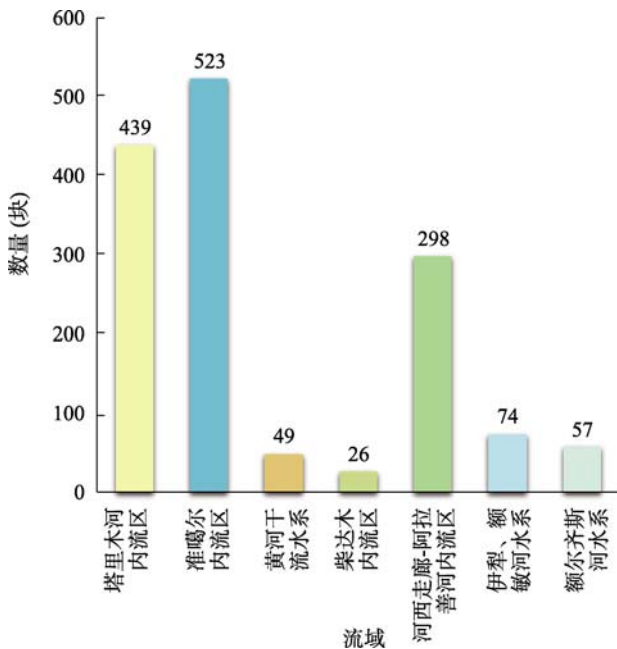


图 6 中国各流域绿洲数量统计图

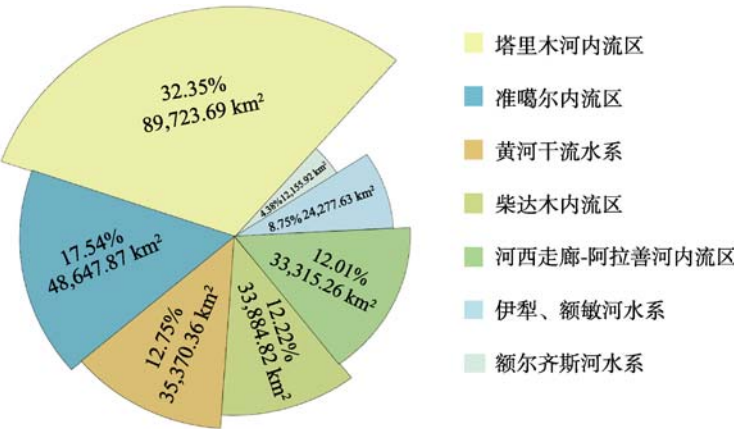


图 7 中国各流域绿洲面积及所占比例图

在塔克拉玛干沙漠外围串联成一个巨大的环形。

准噶尔内流区河网密布，错综复杂，绿洲面积（48,647.87 km<sup>2</sup>）小于塔里木内流区，但绿洲数量（523 块）更多，占中国绿洲总数的 35.68%，绿洲经济也比塔里木河内流区发达。特别是在天山北麓地带带有玛纳斯河、奎屯河等十几条五级及以上河流，为天山北坡绿洲的形成提供了丰沛的水源。

柴达木内流区所有河流皆源于周围高山，盆地几乎完全不产生径流，且径流年内分配极不均匀。因此虽然绿洲面积较大（35,370.36 km<sup>2</sup>），但封闭的地形和流域面积的局限决定了柴达木水系的内陆性和河流的短小，并呈向心格式的特征，使得柴达木内流区绿洲数量很少（26 块）且集中于盆地中心海拔较低处。

黄河干流水系绿洲面积（33,884.82 km<sup>2</sup>）较大，但绿洲数量（49 块）较少，分别占中国绿洲总面积和总数的 12.22% 和 1.09%。黄河被誉为“中华民族的母亲河”，给流经的地区提供了丰沛的水源和肥沃的泥沙，在河套平原地区形成了我国著名的宁卫平原绿洲区、银川平原绿洲区和后套平原绿洲区三大外流绿洲区。特别是在黄河“几”字形大弯曲处形成的后套平原绿洲区是我国最大的古老灌区，在历史上有“系天下安危”的重要性，是我国重要的粮食基地和生态保护屏障。

河西走廊-阿拉善河内流区绿洲面积虽然不算大（33,315.26 km<sup>2</sup>），但绿洲数量较多（298 块）。与天山北坡类似，在祁连山北坡分布着黑河、石羊河和疏勒河等众多河流形成的河西走廊绿洲群。其中黑河流域绿洲面积最大（16,147.52 km<sup>2</sup>）、数量最多（132 块），且绿洲多分布在河流沿岸及尾间三角洲处。

伊犁-额敏河水系绿洲面积为 24,277.63 km<sup>2</sup>，占中国绿洲面积的 8.75%。伊犁河流域位于天山最高峰地区，形状像个向西开口的三角形，气候与干旱区其他地方相比有较大差异，部分地区的降水量超过 400 mm，较少受风沙和干旱等自然灾害侵蚀。大部分绿洲属于引伊犁河河水灌溉两岸形成的河谷绿洲，土地肥沃，牧草丰茂，有中亚干旱区中的“湿岛”之称。

额尔齐斯河是一条发源于我国阿尔泰山脉的外流河，流量在新疆的河流中排名第二，但由于位于新疆的最北端，热量条件差，年均温在 2℃—4℃，所以绿洲面积（12,155.92 km<sup>2</sup>）

是7个流域中最小的,占中国绿洲总面积的4.38%,且绿洲数量(57块)也很少。

## 4 结论与展望

以2020年为基准年,完成中国绿洲首次编目工作,全面统计中国不同地貌单元、不同流域水系下的绿洲本底状况,不仅对绿洲科学发展具有重要价值,更为绿洲未来演替变化提供了重要基准,有助于从根本上杜绝研究数据的不统一性,也对未来绿洲编目工作的延续性打下良好基础。基于本次编目研究,我国绿洲分布总体体现如下特征。

(1) 2020年中国绿洲面积为277,375.56 km<sup>2</sup>,数量为1,466块,分布在新疆,甘肃,青海和宁夏北部以及内蒙古西部,空间分布上或沿同一河流连成绿洲群带,或依各山岳呈块状独立分散。

(2) 从绿洲在各省区分布的情况看,绿洲面积最大的省区是新疆,占中国绿洲总面积的63.78%,最小的是宁夏。绿洲数量上也是新疆最多,甘肃、内蒙古、青海及宁夏的绿洲数量都很少。绿洲在每个省区分布的海拔也各不相同,新疆绿洲海拔总体跨度最大,青海绿洲总体海拔最高,宁夏和内蒙古绿洲海拔分布相似。

(3) 在22个有绿洲分布的地貌单元中,地形平坦的平原和盆地地区绿洲面积和数量分别占了中国绿洲的92.10%和80.56%。从面积上看,塔里木北部湖积平原盆地面积最大,接着是柴达木盆地和准噶尔南缘洪积冲积平原。从数量上看,河西走廊冲积洪积平原数量最多,然后是吐哈冲积洪积平原和塔里木南缘冲积洪积平原。

(4) 从绿洲在各流域的分布看,中国绿洲大部分分布在内流区,其中塔里木河内流区绿洲面积最大,占中国绿洲总面积的32.35%;准噶尔内流区绿洲数量最多,占中国绿洲总数的35.68%。外流区绿洲主要分布在黄河干流水系,数量较少,面积也较小。

尽管我们开拓性的开展了中国绿洲的编目工作,但这仅是当前地理信息大数据时代的第一步,要不断丰富和发展绿洲研究、厚实绿洲科学,还有很多工作要做。首先需要完成以2020年为基准年的世界绿洲的精准识别与编目工作,从中国绿洲编目拓展到世界绿洲编目,切实实现里程碑式的研究跨越;其次,必须认识到当前绿洲识别方法的局限性,尽管实现了高精度的绿洲识别,但人工目视解译方法时间和人工成本太高,不能有效满足编目更新的需求,因此需要与当前迅速发展的人工智能图像识别技术结合起来,解决绿洲高清识别的技术难题,只有这样才能实现绿洲编目的快速更新;第三,仍有很多细节研究需要完善,如分布于热沙漠和冷沙漠绿洲的区别、天然绿洲与人工绿洲的精准识别及演化机制、未来气候变化下的绿洲可持续发展适应策略等等,需要更多学者的参与,需要更多数据的开放与共享,需要开发出更有效的与时代同步的地理信息技术。

**作者分工:** 桂东伟与刘闯完成了数据研发技术规范的制定和论文框架的总体设计;林敬梧采集和处理了数据;张思源做了数据验证;桂东伟和林敬梧撰写了数据论文;刘琦和刘云飞对论文进行了指导和修改等。

**致谢:** 感谢中国科学院新疆生态与地理研究所的杨发相前辈和雷加强研究员对本工作的鼓励和大力支持,感谢内蒙古师范大学的春喜教授在半干旱区绿洲识别工作中提出的专业建议。

利益冲突声明：本研究不存在研究者以及与公开研究成果有关的利益冲突。

## 参考文献

- [1] 林敬梧, 桂东伟, 张思源等. 和田绿洲、水系、流域山区部分及高程分类数据集的内容与研发[J]. 全球变化数据学报, 2023, 7(3): 314–320. <https://doi.org/10.3974/geodp.2023.03.10>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.14.2023.03.10>.
- [2] Wang, T., Wang, Z., Guo, L., *et al.* Experiences and challenges of agricultural development in an artificial oasis: a review [J/OL]. *Agricultural Systems*, 2021, 193: 103220. DOI: 10.1016/j.agry.2021.103220.
- [3] Xue, J., Gui, D. W., Lei, J. Q., *et al.* Oasisification: an unable evasive process in fighting against desertification for the sustainable development of arid and semiarid regions of China [J]. *Catena*, 2019, 179: 197–209.
- [4] Wei, H. J., Liu, H. M., Xu, Z. H., *et al.* Linking ecosystem services supply, social demand and human well-being in a typical mountain-oasis-desert area, Xinjiang, China [J]. *Ecosystem Services*, 2018, 31: 44–57.
- [5] 黄盛璋. 论绿洲研究与绿洲学[J]. 中国历史地理论丛, 1990(2): 1–24.
- [6] Gui, D. W., Zeng, F. J., Lei, J. Q., *et al.* Suggestions for sustainable development of the oases in the South Rim of Tarim Basin [J]. *Journal of Desert Research*, 2016, 36(1): 6–11.
- [7] Tao, W. Review and prospect of research on oasisification and desertification in arid regions [J]. *Journal of Desert Research*, 2009, 29(1): 1–9.
- [8] Du, H. R., Liu, Y. Progress on the study of oasis cities in arid zone of China [J]. *Progress in Geography*, 2005, 24(2): 69–79.
- [9] Zhang, Q., Luo, G., Li, L., *et al.* An analysis of oasis evolution based on land use and land cover change: a case study in the Sangong River Basin on the northern slope of the Tianshan Mountains [J/OL]. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(2): 223–239. DOI: 10.1007/s11442-017-1373-9.
- [10] Wang, J. F., Cheng, G. D., Gao, Y. G., *et al.* Optimal water resource allocation in arid and semi-arid areas [J/OL]. *Water Resources Management*, 2008, 22(2): 239–258. DOI: 10.1007/s11269-007-9155-2.
- [11] Liu, X., Shen, Y. Quantification of the impacts of climate change and human agricultural activities on oasis water requirements in an arid region: a case study of the Heihe River Basin, China [J/OL]. *Earth System Dynamics*, 2018, 9(1): 211–225. DOI: 10.5194/esd-9-211-2018.
- [12] Guo, H., Ling, H., Xu, H., *et al.* Study of suitable oasis scales based on water resource availability in an arid region of China: a case study of Hotan River Basin [J/OL]. *Environmental Earth Sciences*, 2016, 75(11): 984. DOI: 10.1007/s12665-016-5772-5.
- [13] Liu, Y., Shen, M. Y., Zhao, J. P., *et al.* A new optimization method for the layout of pumping wells in oases: application in the Qira Oasis, Northwest China [J]. *Water*, 2019, 11(5): 970.
- [14] Xue, D. P., Dai, H., Liu, Y., *et al.* Interaction simulation of vadose zone water and groundwater in Cele Oasis: assessment of the impact of agricultural intensification, northwestern China [J]. *Agriculture-Basel*, 2022, 12(5): 641. DOI: 10.3390/agriculture12050641.
- [15] Bie, Q., Xie, Y. W. The constraints and driving forces of oasis development in arid region: a case study of the Hexi Corridor in northwest China [J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 17708.
- [16] Li, Q. G., Wang, L. C., Gul, H. N., *et al.* Simulation and optimization of land use pattern to embed ecological suitability in an oasis region: a case study of Ganzhou District, Gansu Province, China [J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, 287: 112321.
- [17] Sun, F., Wang, Y., Chen, Y. N., *et al.* Historic and simulated desert-oasis ecotone changes in the arid Tarim River Basin, China [J]. *Remote Sensing*, 2021, 13(4): 647.

- [18] Pfeffer, W. T., Arendt, A. A., Bliss, A., *et al.* The Randolph Glacier Inventory: a globally complete inventory of glaciers [J]. *Journal of Glaciology*, 2014, 60(221): 537–552.
- [19] Liu, S. Y., Yao, X. J., Guo, W. Q., *et al.* The contemporary glaciers in China based on the Second Chinese Glacier Inventory [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(1): 3–16.
- [20] Verpoorter, C., Kutser, T., Seekell, D. A., *et al.* A global inventory of lakes based on high-resolution satellite imagery [J]. *Geophysical Research Letters*, 2014, 41(18): 6396–6402.
- [21] Cong, Y., Zou, Y. C., Lv, X. G., *et al.* Comparison of wetland resources inventory and wetland monitoring [J]. *Wetland Science*, 2021, 19(3): 277–284.
- [22] 申元村, 汪久文, 伍光和. 中国绿洲及其可持续发展建设[J]. 干旱区资源与环境, 2002(1): 1–8.
- [23] 杨发相, 付强, 穆桂金等. 中国绿洲区划探讨[J]. 干旱区研究, 2007, 24(5): 5.
- [24] Kennedy, R., Yang, Z. Q., Gorelick, N., *et al.* Implementation of the LandTrendr algorithm on Google Earth Engine [J]. *Remote Sensing*, 2018, 10(5): 691.
- [25] Yao, J. X., Wu, J., Xiao, C. Z., *et al.* The classification method study of crops remote sensing with deep learning, machine learning, and Google Earth Engine [J]. *Remote Sensing*, 2022, 14(12): 2758.
- [26] Ji, S. X., Bai, X. L., Qiao, R. R., *et al.* Width identification of transition zone between desert and oasis based on NDVI and TCI [J]. *Scientific Reports*, 2020, 10(1): 8672.
- [27] Chang, J. J., Gong, L., Zeng, F. J., *et al.* Using hydro-climate elasticity estimator and geographical detector method to quantify the individual and interactive impacts on NDVI in oasis-desert ecotone [J]. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2022, 36(10): 3131–3148.
- [28] Amuti, T., Luo, G. Analysis of land cover change and its driving forces in a desert oasis landscape of Xinjiang, northwest China [J]. *Solid Earth*, 2014, 5(2): 1071–1085.
- [29] Lin, J. W., Gui, D. W., Liu, Y. F., *et al.* A high-precision oasis dataset for China from remote sensing images [J]. *Scientific Data*, 2024, 11: 726.
- [30] Chen, P., Wang, S., Liu, Y. X., *et al.* Spatio-temporal patterns of oasis dynamics in China's drylands between 1987 and 2017 [J]. *Environmental Research Letters*, 2022, 17(6): 064044.
- [31] 杨青, 雷加强, 魏文寿等. 人工绿洲对夏季气候变化趋势的影响[J]. 生态学报, 2004(12): 2728–2734.
- [32] 杨振, 雷军, 段祖亮等. 新疆人口的空间分布特征[J]. 地理研究, 2016, 35(12): 2333–2346.
- [33] 韩德林. 新疆人工绿洲[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001.
- [34] 程维明, 周成虎, 李炳元等. 中国地貌区划理论与分区体系研究[J]. 地理学报, 2019, 74(5): 839–856.
- [35] 杨胜天, 于心怡, 丁建丽等. 中亚地区水问题研究综述[J]. 地理学报, 2017, 72(1): 79–93.
- [36] Jin, X. M., Schaepman, M., Clevers, J., *et al.* Correlation between annual runoff in the Heihe River to the vegetation cover in the Ejina Oasis (China) [J]. *Arid Land Research and Management*, 2010, 24(1): 31–41.