

中国生态地理区划更新和优化

王芳, 李炳元, 田思雨, 郑度, 葛全胜

(中国科学院地理科学与资源研究所 中国科学院陆地表层格局与过程重点实验室, 北京 100101)

摘要: 随着全球气候的持续增暖, 中国的气候带和生态地理区域呈现出一定程度的变化。本文在已有生态地理区划方法的基础上, 利用1991—2020年641个气象台站气候数据, 以及高精度的生态地理要素资料, 对中国生态地理区域进行了优化, 更新了中国生态地理区域图(2023版), 将制图比例尺提高至1:400万。研究结果将中国划分为11个温度带、22个干湿区、50个自然区。与2007版的生态地理区划结果相比, 1991—2020年中国生态地理区域的总体格局虽没发生明显变化, 但是局部地区的温度带界线、干湿区界线、生态地理区(自然区)界线已经发生了不同程度的变化。首先, 温度带的界线变化在东部较明显, 特别是长江中下游地区北亚热带和中亚热带之间温度带界线北移较明显; 其次, 干湿区的界线出现了变动, 在第二级地形阶梯的北部半干旱与干旱区的界线有稍微西移, 青藏高原上半干旱与半湿润区之间的界线则稍有东南移, 都反映半干旱区范围稍有扩大; 最后, 自然区的界线变化在局地差异较大。本文深化了1991—2020年气候变化和生态地理资料更新对生态地理区域边界变化认识, 为指导不同区域生态保护修复工作提供宏观的区域框架。

关键词: 气候变化; 生态地理区划; 界线变化; 中国

DOI: 10.11821/dlxb202401001

1 引言

生态地理区域是按照自然界宏观生态系统的地域分异规律, 划分形成的不同等级的区域系统^[1-6]。生态地理区域系统主要反映的对象是自然界温度、水分、地貌、生物、土壤等自然要素的空间格局, 及其与资源、环境的匹配。生态地理区域反映了温度、水分、土壤、植被等要素的地域差异, 是认识区域生态与环境特征的一个宏观框架。开展不同的生态地理区划研究, 对因地制宜保护、恢复植被和区域可持续发展有重要的指导意义^[7-9]。

全球气候变化对生态地理区域分布产生一定影响^[10]。1961—1990年全国平均气温的变暖趋势约为 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ^[11-12], 而1991—2020年全国平均气温的变暖趋势约为 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ ^[10], 这样的变化导致了我国东部温度带的多条界线出现不同程度北移^[13-14]。此外, 全国平均降水量在区域上也呈现出不同幅度的增减, 多个干湿区的干湿程度出现了变化^[15-16]。在气候变化影响下, 一些区域的植被分布范围以及相应的生态地理特征出现一定程度变化^[17-21]。随着社会经济的快速发展, 许多领域对生态地理区划提出了新的需求, 如生态文明建

收稿日期: 2023-09-14; 修订日期: 2023-12-22

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(XDA23100400) [Foundation: Strategic Priority Research Program of Chinese Academy of Sciences, No.XDA23100400]

作者简介: 王芳(1979-), 女, 山西阳泉人, 副研究员, 主要从事气候变化研究。E-mail: wangf@igsrr.ac.cn

通讯作者: 葛全胜(1963-), 男, 安徽安庆人, 研究员, 主要从事气候变化研究。E-mail: geqs@igsrr.ac.cn

设、山水林田湖生态保护修复、国土空间规划、重要生态系统保护与修复等。上述这些工作的部署都要立足于新的自然地理格局,并遵循各个地区特定的自然地理特征。为此,本文在2007年提出的生态地理区划基础上^[22],大幅提升相关生态地理要素的容量和精度,特别是将气候、植被等自然地理要素资料全面更新,并进一步将制图比例尺提升至1:400万,编制中国生态地理区域图(2023版),探讨了生态地理区域分异。

2 生态地理区划的原则与方法

2.1 区划原则

本文的生态地理区划主要考虑以下原则:

(1) 地带性与非地带性相结合原则。生态地理的地域分异是地带性与非地带性因素相互制约、共同作用的结果。在生态地理区划过程中,始终将地带性与非地带性有机结合,以客观反映生态地理的分异规律。

(2) 稳定性与动态性相结合原则。区划既考虑了不同生态地理要素及其组合在区域内的稳定性,又考虑了他们在长时间尺度上的动态变化性;本文在年代际尺度上考察了生态地理要素的变化,对区划界线进行了动态调整。

(3) 生态地理区的发生同一性与区内特征相对一致性原则。发生同一性原则并不意味着追溯漫长的历史,而是着眼于区域的自然历史发展过程。这一原则必须与任一生态地理区的自然—生态特征相对一致性原则相结合,才能避免区划工作失之片面。

(4) 综合性与主导性相结合原则。在进行生态地理分区时,全面分析了所有生态因子及其组成的生态系统的地域分异,评价其地带性与非地带性的表现程度,据此确定生态地理区的存在并划定界线,从而体现综合性原则。但是,对任何生态地理区而言,在众多生态因子中,必然有某个因子对其本质特征的形成及与其他生态地理区的差别起着主导作用,这一原则要求在区划时应充分考虑地域分异的主导因子。

(5) 区域空间连续性原则。生态地理分区与生态系统的分类存在本质上的差别,类型是可重复的,而区域是个体的和不可重复的。区划要求各个生态地理区域应保持连续的完整性而不出现“飞地”。

2.2 划分指标与分区方法

生态地理区划采用自上而下的演绎途径,从高到低进行划分,区划的地域单元包括温度带、干湿区域和自然区三级。

(1) 温度带

温度带是按照温度及植被、土壤等自然要素组合,划分出寒温带至赤道热带9个带,另将青藏高原划分出高原亚寒带和高原温带,共11个温度带(表1a)。划分采用的主要指标是日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 期间的日数和积温。此外,由于最冷月气温决定着地带性植物的生长与越冬,而最暖月气温决定高原或高纬度地区植物能否良好生长,因此本区划在青藏高原同时采用最冷和最暖月平均气温作为辅助指标^[8],在青藏高原以外的地区采用最冷月平均气温作为辅助指标。

(2) 干湿区

干湿区是在温度带内按干湿程度引起的生态地域差异进行划分,有湿润和半湿润、半干旱、干旱,分别对应的生态类型为森林、草原、荒漠3种。本区划以年干燥度作为干湿区划分的主要指标(干燥度反映降水与潜在蒸散之间的平衡),以年降水量作为辅助指标(表1b)。

表1 中国生态地理区划各级区主要指标及阈值

Tab. 1 Main indicators and thresholds of eco-geographical regionalization in China

a. 一级区(温度带)指标						
温度带	主要指标	辅助指标				典型植被
	日平均气温 ≥10℃日数(d)	≥ 10℃ 积温 (℃)	海拔 (m)	最冷月 平均气温(℃)	最暖月 平均气温(℃)	
寒温带 I	< 100	< 1600		< -30	< 16	针叶林
中温带 II	100~170	1600~3200(3400)		-30~-12(-6)	16~24	针阔叶混交林
暖温带 III	171~219	3200(3400) ~4500(4800)		-12(-6)~0	> 24	落叶阔叶林
北亚热带 IV	220~239	4500(4800) ~5100(5300)		0~4	> 24	常绿、落叶阔叶混交林
中亚热带 V	240~285	5100(5300) ~6400(6500) (云贵, 4000~5000)		4~10	> 24	典型常绿阔叶林
南亚热带 VI	286~365	6400(6500)~8000 (云南 5000~7500)		10~15 (云南 9(10)~ 13(15))	> 24	季风常绿阔叶林
边缘热带 VII	365	> 8000		15~18 (云南> 13(15))	> 24	热带季雨林
中热带 VIII	365	> 8000		18~24	> 24	热带雨林
赤道热带 IX	365	> 8000		> 24	> 24	赤道常绿阔叶林
高原亚寒带 HI	< 50		> 4000	-18~-10(-12)	< 12	高寒草甸
高原温带 HII	50~180		> 4000	-10(-12)~0	12~18	高寒灌丛、高寒草原
b. 二级区(干湿区)指标						
干湿状况	主要指标	辅助指标				
	年干燥指数	天然植被	年降水量 (mm)			
湿润 A	< 1.00	森林	> 800~900(东北、川西山地)> 600~650)			
半湿润 B	1.00~1.49	森林	400(500)~800(900)(东北 400~600)			
半干旱 C	1.50~4.00 1.50~5.00(青藏高原)	草原 (高寒草原)	200(250)~400(500)			
干旱 D	≥ 4.00 ≥ 5.00(青藏高原)	荒漠	< 200~250			
c. 三级区(自然区)指标						
地形/地貌	低海拔 (< 1000 m)	中海拔 (1000~2000 m)	亚高海拔 (2000~4000 m)	高海拔 (4000~6000 m)	极高海拔 (≥ 6000 m)	
平原(含台地)	低海拔平原	中海拔平原	亚高海拔平原	高海拔平原		
小起伏山地(含丘陵) (< 500 m)	小起伏低山	小起伏中山	小起伏高山	小起伏高山		
中起伏山地 (500~1000 m)	中起伏低山	中起伏中山	中起伏亚高山	中起伏高山	极高山	
大起伏山地 (≥ 1000 m)		大起伏中山	极大起伏亚高山	极大起伏高山		
其他	黄土梁茆 沙丘(流动沙丘、固定半固定沙丘) 风蚀残丘 戈壁 冰川					
主要植被						
寒温带针叶林区	暖温带落叶阔叶林区		热带雨林—季雨林区		温带荒漠区	
温带针阔叶混交林区	亚热带常绿阔叶林区		温带草原区		青藏高原高寒植被区	

注：括号内数字表示可能的变幅。

(3) 自然区

在干湿区中,按植被和地貌的组合差异引起生态地理特征的变化来确定自然区的界线。在不同的温度带和干湿区内,地貌的差异可以引起气候、水文、土壤、植被等生态地理特征差异,是制约自然地域分异的重要因素之一^[23-25]。因此,本文在干湿区基础上划分自然区时,把地貌作为生物气候地域差异的主要因素,同时也考虑了植被类型的差异。

在生态地貌的分类方案中,主要考虑区域内的地形起伏度和海拔高度,根据起伏高度对大气环流和局地环流产生影响的差异,把生态地貌类型分为平原(包括台地)、小起伏丘陵地、中起伏山地和大起伏山地4类。另外,根据海拔及其对温度的影响程度,把生态地貌类型又划分为低海拔、中海拔、亚高海拔、高海拔和极高海拔5种,并进一步组合成16个基本生态地貌类型(表1c)。在划分自然区时,还要考虑植被的实际分布状况(表1c)。

自然区根据如下的规则命名。在温度带、干湿区之下,自然区名称还包含生态地貌类型和主要生态类型。自然区编码的赋予规则为用大写罗马数字表示温度带,用大写英文字母表示干湿地区,用阿拉伯数字表示自然区(图1)。

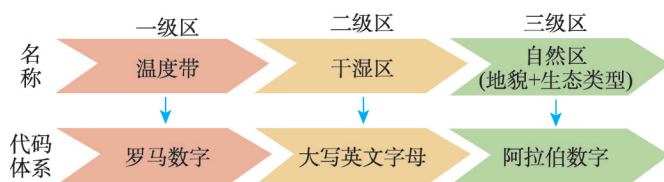


图1 命名的编码体系示意图

Fig. 1 Named coding system

2.3 数据来源

(1) 气温和降水数据。1991—2020年全国641个气象观测站的日气温、日降水数据集,来源于国家气象信息中心^[26];均一化数据集来自中国科学院大气物理研究所^[27-29]。

(2) 生态地貌类型和海拔高度数据。中国1:100万数字地貌数据集、中国1:400万地貌图和DEM数据均来源于中国科学院地理科学与资源研究所^[30]。

(3) 植被数据。2000—2020年土地覆盖数据,分辨率30 m,来源于中国科学院地理科学与资源研究所和中国科学院空天信息创新研究院^[31-32]。

(4) 沙漠、冰川、冻土数据。1:400万的中国冰川冻土沙漠数据集来源于中国科学院西北生态环境资源研究院^[33-34]。

(5) 底图数据。1:400万中国地图数据库,包含国界、省界、河流、山脉、地级市等数据,来源于国家基础地理信息中心。

3 中国生态地理区划结果及比较

中国生态地理区划(2023版)将全国划分出11个温度带(一级区)、22个干湿区(二级区)、50个自然区(三级区)。新划分的2023版中国生态地理区域见图2和表2。

3.1 1991—2020年气候变化反映

本文分析了1991—2020年气候变化各项指标相对于以往时期的变化情况。图3第一列和第二列分别给出旧版区划和新版区划采用的不同时期(1971—2000年、1991—2020年)主要气候指标的地理分布,第三列显示新版与旧版指标数值的差异,表明全国大部分站点的温暖程度和干湿状况都发生了显著变化。



注: 基于自然资源部标准地图服务网站GS(2019)1835号的标准地图制作,底图边界无修改。

图2 中国生态地理区划新版简图

Fig. 2 New map of eco-geographical regionalization in China

中国日平均气温稳定 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数(下称 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数)(图3a~3c)和积温(图3d~3f),在1991—2020年相对于以往时期显著增加。秦岭—淮河以南地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数大多超过220 d,其中,江南丘陵山地、云贵高原、四川盆地 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数大多超过240 d,南岭以南至云南南部 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数大多超过285 d,且1991—2020年大部分地区 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数增加了2~8 d,少数地区增加了10~12 d。辽东半岛、胶东半岛、鲁中低山丘陵、华北平原和山地、黄土高原东部、准噶尔盆地、吐鲁番盆地及南疆部分地区的 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数超过170 d,且1991—2020年大部分站点 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数增加了1~8 d。青藏高原 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数及积温数值受地形影响明显,其中昆仑山、唐古拉山、冈底斯山北部、念青唐古拉山等地 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数多在50 d以下,但1991—2020年许多站点 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数增加了6~10 d。

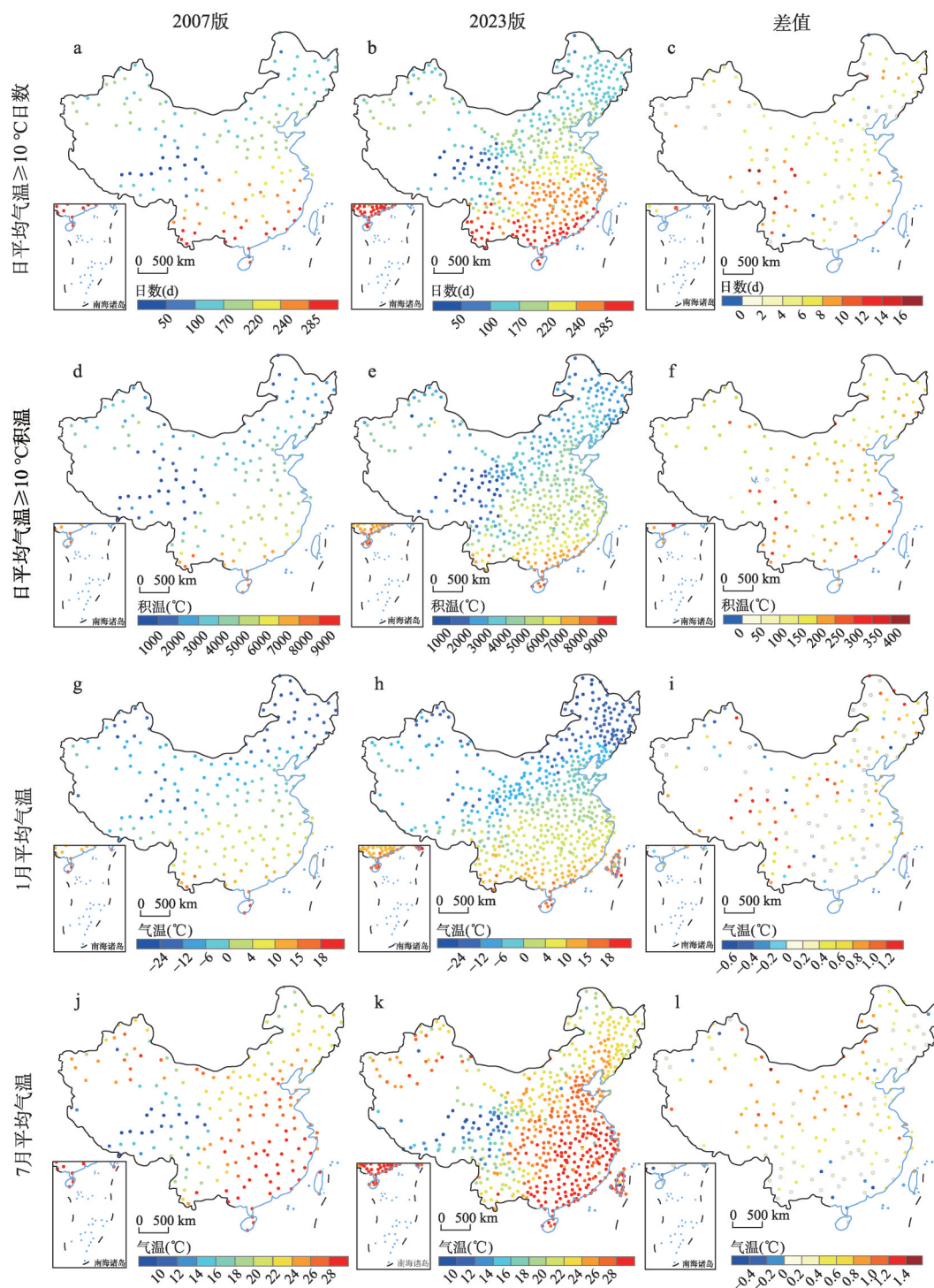
1991—2020年中国大部分站点1月平均气温呈增加趋势(图3g~3i),特别是青藏高原地区1月平均气温增幅明显,约0.4~1.2 $^{\circ}\text{C}$;东北地区和华北地区的大部分站点1月平均气温增幅约为0.2~1.0 $^{\circ}\text{C}$,漠河的1月平均气温增加了1.0 $^{\circ}\text{C}$ (从-29.6 $^{\circ}\text{C}$ 变为-28.6 $^{\circ}\text{C}$)。

中国7月平均气温(图3j~3k)大部分地区在20 $^{\circ}\text{C}$ 以上,只有青藏高原等少数地区

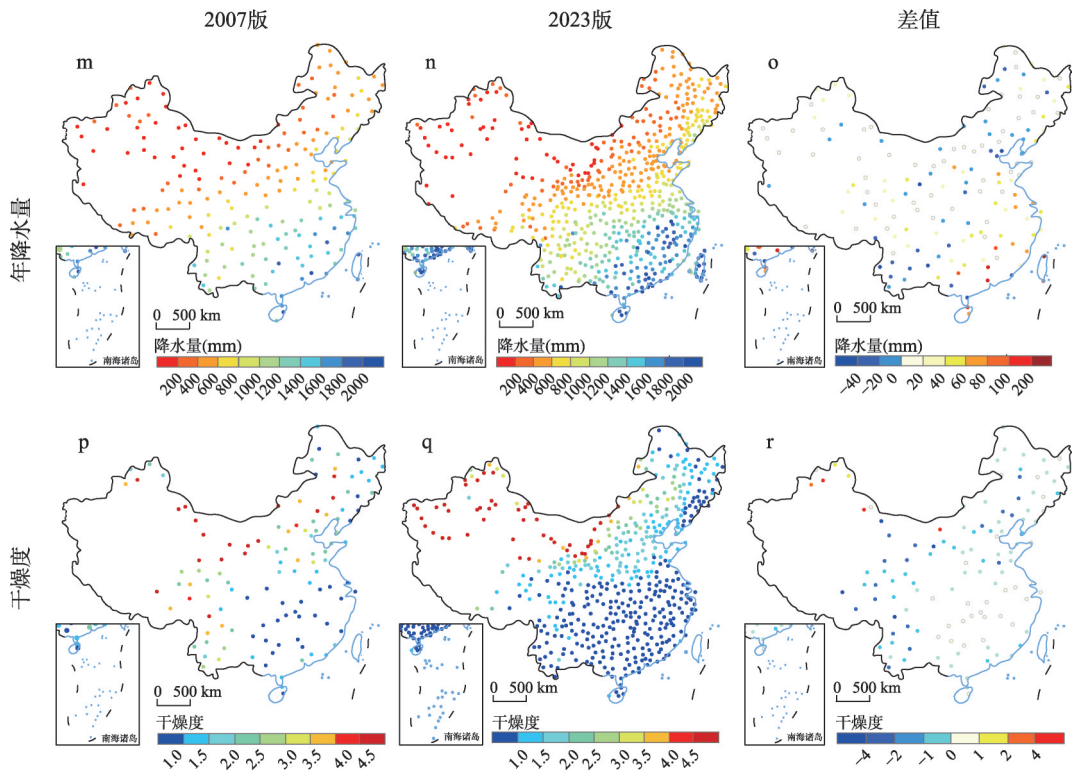
表 2 2023 版中国生态地理区域划分方案

Tab. 2 Scheme for eco-geographical regionalization in China (2023)

一级区(温度带)	二级区(干湿区)	三级区(自然区)
I 寒温带	A 湿润地区	IA1 大兴安岭北部山地落叶针叶林区
II 中温带	A 湿润地区	IIA1 三江平原沼泽区 IIA2 东北东部山地针阔叶混交林区 IIA3 东北东部山前地针阔叶混交林区
	B 半湿润地区	IIB1 松辽中部平原森林草原区 IIB2 大兴安岭中部山地森林区 IIB3 大兴安岭西麓北丘陵森林草原区
	C 半干旱地区	IIC1 西辽河平原草原区 IIC2 大兴安岭南草原区 IIC3 内蒙古东部中平原草原区 IIC4 呼伦贝尔平原草原区
	D 干旱地区	IID1 河套与内蒙古西部中平原荒漠草原区 IID2 阿拉善与河西走廊灌木、半灌木荒漠区 IID3 准噶尔盆地小乔木、半灌木荒漠区 IID4 阿尔泰与额尔齐斯平原山地草原、针叶林区 IID5 天山伊犁高山盆地半灌木荒漠、针阔叶混交林区
III 暖温带	A 湿润地区	IIIA1 辽东胶东低山丘陵落叶阔叶林、栽培植被区
	B 半湿润地区	IIIB1 鲁中低山丘陵落叶阔叶林、栽培植被区 IIIB2 华北平原栽培植被区 IIIB3 华北山地落叶阔叶林区 IIIB4 汾渭盆地与黄土高原南部落叶阔叶林、栽培植被区
	C 半干旱地区	IIIC1 黄土梁峁与山地草原区
	D 干旱地区	IIID1 塔里木与东疆盆地灌木、半灌木荒漠区
IV 北亚热带	A 湿润地区	IVA1 淮河中下游平原与大别山地栽培植被、常绿、落叶阔叶混交林区 IVA2 秦巴山地常绿、落叶阔叶混交林区
V 中亚热带	A 湿润地区	VA1 长江中下游平原与江南丘陵盆地常绿阔叶林、栽培植被区 VA2 南岭与浙闽山地常绿阔叶林区 VA3 湘贵高原山地常绿阔叶林区 VA4 四川盆地栽培植被区 VA5 云南高原常绿阔叶林、松林区 VA6 东喜马拉雅南翼山地季雨林、常绿阔叶林区
VI 南亚热带	A 湿润地区	VIA1 台中台北山地平原栽培植被、常绿阔叶林区 VIA2 闽粤桂(华南)低山平原常绿阔叶林、栽培植被区 VIA3 滇中南亚热带高山谷地常绿阔叶林、松林区
VII 边缘热带	A 湿润地区	VIIA1 台南山地平原季雨林、雨林区 VIIA2 琼雷山地丘陵半常绿季雨林区 VIIA3 滇南中山谷地季雨林、雨林区
VIII 中热带	A 湿润地区	VIIIA1 琼南低地与东、中、西沙诸岛季雨林、雨林区
IX 赤道热带	A 湿润地区	IXA1 南沙群岛珊瑚岛植被区
HI 高原亚寒带	B 半湿润地区	HIB1 川青藏高山谷地高寒灌木草甸区
	C 半干旱地区	HIC1 青南高原宽谷高寒草甸草原区 HIC2 羌塘高原湖盆高寒草原区
	D 干旱地区	HID1 中昆仑北羌塘高山高原荒漠、荒漠草原区 HID2 喀喇昆仑西昆仑高山荒漠半荒漠区
HII 高原温带	A 湿润地区	HIIA1 东喜马拉雅地区高山深谷森林区
	B 半湿润地区	HIIB1 横断山区高山深谷针叶林
	C 半干旱地区	HIIC1 祁连青东高山盆地针叶林、草原区 HIIC2 藏南高山谷地灌丛草原区
	D 干旱地区	HIID1 柴达木盆地半灌木、灌木、盐荒漠区 HIID2 阿里山地半灌木、灌木荒漠区



续图 3



注：基于自然资源部标准地图服务网站GS(2016)1554号的标准地图制作，底图边界无修改，后图同。

图 3 2023 版和 2007 版生态地理区划的气候相关指标的变化

Fig. 3 Changes in climate-related indicators for eco-geographical regionalization in China (2023 and 2007)

的气温相对较低。1991—2020 年北方地区的 7 月平均气温呈明显增加（图 31），增幅约为 0.4~1.0℃；相比较，南方地区 7 月的气温变化较小。

关于中国年降水量（图 3m~3n）和年干燥度（图 3p~3q）变化，1991—2020 年东南沿海部分地区的年降水量有一定增加，而干燥度略下降。秦岭淮河以北的华北平原、黄土高原南部、东北平原以及青藏高原东南部地区，年降水量多在 400~800 mm 之间，干燥度多为 1.0~1.5；1991—2020 年这些地区的降水量和干燥度仅有微量变化。内蒙古高原的中东部、黄土高原和青藏高原部分地区，年降水量在 200~400 mm 之间，干燥度一般为 1.5~4.0；1991—2020 年这些地区的干燥度有所下降；而其以西、以北地区干燥度大多为 4.0 以上，其中，新疆北部地区的干燥度增加。

3.2 生态地理区域界线变化

在综合分析 1991—2020 年气候变化的基础上，结合更高精度的生态地理要素分布数据，本文对 2007 年版中国生态地理区域重要界线位置进行精细修订，并将区划比例尺从原来的 1:500 万提升到 1:400 万。2023 版生态地理区域界线（包括温度带界线、干湿区界线、自然区界线）局部地区有不同程度的变化，文中主要讨论生态地理区域界线变化较明显的地段（图 4）。

（1）温度带界线的变化

在 2023 版温度带界线中，第三级地形阶梯的东部低地的暖温带、北亚热带、中亚热



图4 2023版与2007版生态地理区划的温度带界线变化

Fig. 4 Changes in boundary of temperature zones in eco-geographical regionalization in China (2023 and 2007)

带和南亚热带的北界都有不同程度北移(图4),其中长江中下游地区的北亚热带和中亚热带的北界北移最明显。这与相关研究认为的部分温度带界线北移的结果相一致^[35-37]。

北亚热带的界线主要依据日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数是否达到220 d及1月平均气温是否达到 0°C 来确定。在淮河下游地区,由于气候增暖,徐州、宿州、宿迁、淮北等城市的日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数都达到或超过220 d,2007版区划将这些地区划为暖温带;在本区划中,将徐州、宿州、宿迁、淮北等地区划分为北亚热带。

中亚热带的界线主要依据日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 日数是否达到240 d及1月平均气温是否达到 4°C 来确定。在长江下游地区,由于气候增暖,上海、嘉兴、苏州、安庆等城市的日平均气温 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的日数都达到或超过240 d,2007版区划将这些地区划为北亚热带;在本区划中,将他们划分为中亚热带。

此外,暖温带的北界东端(辽河下游平原)和南亚热带的北界(中、西部)部分界线也有北移。本区划的西北地区温度带界线变动较小。

(2) 干湿区界线的变化

在2023版干湿区界线中,第二级地形阶梯北部的半干旱区与干旱区的界线有稍微西移(图5)。青海省都兰地区在2007版区划中属于干旱区,而2023版区划中它处在半干旱区和干旱区的界线上,半干旱区和干旱区的界线存在西移。盐池、鄂托克旗地区在2007版区划中基本位于干旱区和半干旱区分界线;在2023版区划中,将盐池、鄂托克旗等地区划分为半干旱地区。

在青藏高原上,半干旱区与半湿润区之间的界线则稍有东南移,反映半干旱区局部稍有扩大(图5)。其他部分地区的干湿区界线变化不明显。

(3) 自然区界线的变化

在2007版区划中缺少高精度的自然生态地理要素资料;在2023版区划中补充了高精度的更新资料,对青藏高原西北角和东南角的自然区作了调整(图6)。

在青藏高原西北角,2007版区划中昆仑高山高原高寒荒漠区及其北面的昆仑北翼山地荒漠区是相邻的两个近东西走向、狭长展布的自然区。近年来,区域生态地理状况有所变化,经分析高分辨率的卫星遥感影像,发现这两个自然区生态地理环境东西差异



图 5 2023 版与 2007 版生态地理区划的干湿地区界线变化

Fig. 5 Changes in boundary between dry and wet regions in eco-geographical regionalization in China (2023 and 2007)



图 6 2023 版与 2007 版生态地理区划的自然区界线变化

Fig. 6 Changes in boundary of natural regions in eco-geographical regionalization in China (2023 and 2007)

大、而南北差异小。因此，2023 版中将其南北两区合并，以琼木孜塔格—乌孜塔格东麓一线拆分为东、西两个区。

西区为喀喇昆仑西昆仑高山荒漠半荒漠区（HID2）。它主要分布着大起伏高山极高山谷地，中西部山地多为海拔 6000 m 以上的极大起伏极高山，山顶有现代冰川发育，为

地球上中低纬度山岳冰川集中分布区,山下为干旱谷地;东部为东喀喇昆仑山和西昆仑山,两者之间为中小起伏的高山和宽坦高原湖盆。生态景观为寒冷干旱荒漠和荒漠草原。

东区为中昆仑北羌塘高山盆地与荒漠草原区(HID1)。该区内高海拔盆地、谷地与高山相间。山地海拔一般为5500 m左右,除北列阿克塔格、祁漫塔格等大起伏高山外,以中小起伏的高山为主;盆地海拔在3900~4200 m,内有湖泊分布;在木孜塔格峰、布喀达坂峰、马兰山等地有6000 m极高山现代冰帽发育。区内植被自东向西由高寒草原向高寒荒漠过渡。

在青藏高原东南角,2007版中高原温带湿润半湿润川西藏东高山深谷针叶林区作为一个自然区(HIIA/B1);根据近年来新资料分析表明,该地区东西是有差异的,大致在察隅—八宿怒江谷地—类乌齐一线为界,将其拆分为东喜马拉雅高山深谷森林区(HIIA1)和横断山高山深谷针叶林区(HIIB1)两个自然区。

东喜马拉雅高山深谷森林区,区内有多条海拔5000~6000 m的高山极高山交会,其间镶嵌雅鲁藏布江、怒江等河流,形成深切峡谷。喜马拉雅山东端有南迦巴瓦峰(海拔7782 m),其周围为雅鲁藏布大峡谷,西南季风暖湿气流沿峡谷通道进入高原内部,1991—2020年区内林芝、波密、丁青的平均降水量分别为699 mm、872 mm、648 mm,形成青藏高原内唯一的湿润地区。这造就本区成为青藏高原内最突出的高山、深谷、冰川和暖湿森林垂直带一体自然景观。雅鲁藏布大峡谷南迦巴瓦峰南坡从海拔600 m以下谷底至峰顶,发育着中国最完整的(从常绿雨林至冰缘植被和冰雪带组成的)热带湿润山地垂直自然带景观。喜马拉雅北坡和念青唐古拉山地,有亚热带半湿润山地垂直自然带景观。山顶发育着现代海洋性冰川,是世界中低纬度地区的冰川作用中心之一。

横断山高山深谷针叶林区,地处横断山中北部,受南北向断裂带控制,形成7列山脉和6条江河。怒江、澜沧江、金沙江及其主要支流,多数深切高原面之下、达海拔2000 m左右的峡谷。区内深切峡谷中具有相对干暖的“干旱河谷”景观。本区总体上属高原温带半湿润地区,植被除南部边缘部分河谷处于中亚热带常绿阔叶林,绝大部分地区以冷杉、云杉占优势,是高原温带山地针叶林地带;西北地势较缓,是高寒灌丛草甸地带。

在青藏高原中东部,根据高精度的生态地理要素更新资料,对HIB1区(川青藏高原高山谷地高寒灌丛草甸区)的界线稍微调整。

在南岭浙闽山地东北部(VA1区),在2007版中有一部分区域处于VA2区,但是根据更新的生态地理要素资料,发现部分地区的生态地貌类型与VA1的江南丘陵更接近,因此在2023版中将这部分区域改为VA1江南丘陵的一部分,使得VA1区范围进一步扩大。此外,辽河下游平原地区,在2007版中处在IIB1区(松辽中部平原森林草原区),由于暖温带界线北移以及其生态类型特征更接近IIIB3区,因此在2023版中将其划为IIIB3区。

4 结论与展望

近几十年气候变化^[38-40],使中国气候带和生态地理区域出现不同程度改变^[18, 21, 36-37, 41]。本文借鉴了已有的生态地理区划方法,利用1991—2020年气象资料,以及高精度的生态地理要素更新资料,对中国生态地理区域进行了优化,以此为基础更新了中国生态地理区域图(2023版),将制图比例尺提高至1:400万。本文将中国划分为11个温度带(一级区)、22个干湿区(二级区)、50个自然区(三级区)。与2007版生态地理区划方案相

比, 2023 版区划发现, 1991—2020 年中国生态地理区域的总体格局虽没发生明显变化, 但是是一些重要的温度带界线、干湿区界线、自然区界线确实发生了不同程度的变更。温度带界线变化在东部较明显, 特别是长江中下游地区北亚热带和中亚热带之间温度带界线北移最明显; 干湿区界线在第二级地形阶梯的北部半干旱区与干旱区的界线有稍微西移, 青藏高原上半干旱区与半湿润区之间的界线则稍有东南移, 都反映半干旱区范围局部稍有扩大; 自然区的界线变化在局地差异较大。

2023 版区划方案在各级区的划分界线均与 2007 版结果有一定的差异, 反映了 1991—2020 年气候变化和生态地理资料更新对生态地理区域边界变化认识的深入。2023 版区划方案为地表自然生态过程的基础研究以及资源、生态与可持续发展的协调提供了宏观的区域框架^[7], 也为指导不同区域生态保护修复工作提供了科学参考。

致谢: 感谢自然资源部国土空间生态修复司王磊司长、宋春玉处长、郭义强副处长和国土整治中心相关人员对本文提供的帮助。

参考文献(References)

- [1] Koeppen W. Outline of Climatology. Berlin: Walter de Gruyter, 1931. [Koeppen W. Grundriss der Klimakunde. Berlin: Walter de Gruyter, 1931.]
- [2] Huang Bingwei. A preliminary draft of China's comprehensive natural regionalization. *Acta Geographica Sinica*, 1958, 24(4): 14-31. [黄秉维. 中国综合自然区划的初步草案. *地理学报*, 1958, 24(4): 14-31.]
- [3] Holdridge L R. Life Zone Ecology. San Jose: Tropical Science Center, 1967.
- [4] Bailey R G. Delineation of ecosystem region. *Environmental Management*, 1983, 7: 365-373.
- [5] Bailey R G. Ecosystem Geography. New York: Springer-Verlag, 1996.
- [6] Zheng Du, Yang Qinye, Wu Shaohong, et al. Research on Eco-geographical Region Systems of China. Beijing: The Commercial Press, 2008: 198-199. [郑度, 杨勤业, 吴绍洪, 等. 中国生态地理区域系统研究. 北京: 商务印书馆, 2008: 198-199.]
- [7] Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. Notice on Issuing the "China Land Ecological Basic Zoning (Trial)". Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. 2023. [自然资源部. 关于印发《中国陆域生态基础分区(试行)》的通知. 2023.]
- [8] Zheng Du. General Introduction to the Physical Geography of China. Beijing: Science Press, 2015. [郑度. 中国自然地理总论. 北京: 科学出版社, 2015.]
- [9] Fu Bojie, Liu Guohua, Chen Liding, et al. Scheme of ecological regionalization in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(1): 2-7. [傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 等. 中国生态区划方案. *生态学报*, 2001, 21(1): 2-7.]
- [10] Committee for the Preparation of the Fourth National Assessment Report on Climate Change. Fourth National Assessment Report on Climate Change. Beijing: Science Press, 2022. [《第四次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第四次气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社, 2022.]
- [11] Committee for the Preparation of the Third National Assessment Report on Climate Change. Third National Assessment Report on Climate Change. Beijing: Science Press, 2015. [《第三次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第三次气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社, 2015.]
- [12] Committee for the Preparation of the Second National Assessment Report on Climate Change. Second National Assessment Report on Climate Change. Beijing: Science Press, 2009. [《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会. 第二次气候变化国家评估报告. 北京: 科学出版社, 2009.]
- [13] Zheng Jingyun, Bian Juanjuan, Ge Quansheng, et al. The climate regionalization in China for 1951-1980 and 1981-2010. *Geographical Research*, 2013, 32(6): 987-997. [郑景云, 卞娟娟, 葛全胜, 等. 中国 1951—1980 年及 1981—2010 年的气候区划. *地理研究*, 2013, 32(6): 987-997.]
- [14] Zheng Jingyun, Yin Yunhe, Li Bingyuan. A new scheme for climate regionalization in China. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(1): 3-12. [郑景云, 尹云鹤, 李炳元. 中国气候区划新方案. *地理学报*, 2010, 65(1): 3-12.]
- [15] Yin Yunhe, Wu Shaohong, Zheng Du, et al. Regional differences in dry and humidity conditions in China in recent 30 years. *Chinese Science Bulletin*, 2005, 50(15): 1636-1642. [尹云鹤, 吴绍洪, 郑度, 等. 近 30 年我国干湿状况变化的区域差异. *科学通报*, 2005, 50(15): 1636-1642.]

- [16] Zhang Yong, Chen Fahu, Gou Xiaohua, et al. The temporal and spatial distribution of seasonal dry-wet changes over the northwestern China: Based on PDSI. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(11): 1142-1152. [张永, 陈发虎, 勾晓华, 等. 中国西北地区季节间干湿变化的时空分布: 基于 PDSI 数据. *地理学报*, 2007, 62(11): 1142-1152.]
- [17] Sha Wanying, Shao Xuemei, Huang Mei. Climate warming and its impact on natural regional boundaries in China since 1980s. *Science China in Series D*, 2002, 32(4): 317-326. [沙万英, 邵雪梅, 黄玫. 20 世纪 80 年代以来中国的气候变暖及其对自然区域界限的影响. *中国科学 D 辑*, 2002, 32(4): 317-326.]
- [18] Qin Dahe, Ding Yongjian, Zhai Panmao, et al. *Climate and Ecological Evolution of China*. Beijing: Science Press, 2021. [秦大河, 丁永建, 翟盘茂, 等. *中国气候与生态环境演变*. 北京: 科学出版社, 2021.]
- [19] Du H B, Liu J, Li M H, et al. Warming-induced upward migration of the alpine treeline in the Changbai Mountains, Northeast China. *Global Change Biology*, 2018, 24(3): 1256-1266.
- [20] Guo M M, Zhang Y D, Wang X C, et al. The responses of dominant tree species to climate warming at the treeline on the eastern edge of the Tibetan Plateau. *Forest Ecology and Management*, 2018, 425: 21-26.
- [21] Li G Q, Huang J H. Multi-directional rather than unidirectional northward-dominant range shifts predicted under climate change for 99 Chinese tree species. *Forests*, 2022, 13(10): 1619. DOI: 10.3390/f13101619.
- [22] Zheng Du, Li Bingyuan. *Eco-geographical Map of China*. Beijing: The Commercial Press, 2007. [郑度, 李炳元. *中国生态地理区域图*. 北京: 商务印书馆, 2007.]
- [23] Huang Bingwei. Compendium of Comprehensive Natural Regionalization in China. *Geography Collection*, 1989, 21: 10-20. [黄秉维. 中国综合自然区划纲要. *地理集刊*, 1989, 21: 10-20.]
- [24] Huang Bingwei. *China Comprehensive Natural Zoning Map: China Nature Conservation Atlas*. Beijing: Science Press, 1989: 155-157. [黄秉维. 中国综合自然区划图: 中国自然保护图集. 北京: 科学出版社, 1989: 155-157.]
- [25] Ren Meie, Bao Haosheng. *Natural Regions and Development and Renovation in China*. Beijing: Science Press, 1992. [任美锷, 包浩生. *中国自然区域及开发整治*. 北京: 科学出版社, 1992.]
- [26] National Weather Science Data Center. Daily values of basic ground meteorological observations in China (1990-2020). <http://data.cma.cn/data/cdcdetail/dataCode/A.0012.0001.html>. [国家气象科学数据中心. 中国地面基本气象观测日值数据(1990—2020). <http://data.cma.cn/data/cdcdetail/dataCode/A.0012.0001.html>.]
- [27] Li Z, Yan Z W. Homogenized daily mean/maximum/minimum temperature series for China from 1960- 2008. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 2009, 2: 237-243.
- [28] Yan Zhongwei, Li Zhen, Xia Jiangjiang. Homogenization of climate series: The basis for assessing climate changes. *Scientia Sinica Terrae*, 2014, 44(10): 2101-2111. [严中伟, 李珍, 夏江江. 气候序列的均一化: 定量评估气候变化的基础. *中国科学: 地球科学*, 2014, 44(10): 2101-2111.]
- [29] Li Z, Yan Z W, Cao L J, et al. Adjusting inhomogeneous daily temperature variability using wavelet analysis. *International Journal of Climatology*, 2014, 34: 1196-1207.
- [30] Editorial Committee of Geomorphological Atlas of the People's Republic of China. *Geomorphological Atlas of the People's Republic of China (1:1000000)*. Beijing: Science Press, 2009. [中华人民共和国地貌集编辑委员会. *中华人民共和国地貌图集(1:100 万)*. 北京: 科学出版社, 2009.]
- [31] Xu Xinliang, Liu Jiyuan, Zhang Shuwen, et al. *China Multi-period Land Use Remote Sensing Monitoring Data Set (CNLUCC)*. Resource and Environment Science and Data Center, 2018. DOI: 10.12078/2018070201. [徐新良, 刘纪远, 张树文, 等. 中国多时期土地利用遥感监测数据集(CNLUCC). 资源环境科学数据注册与出版系统, 2018. DOI: 10.12078/2018070201.]
- [32] Hou Xueyu. *Vegetation Atlas of China (1:1000000)*. 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.]
- [33] National Soil Census Office. *Soil map of the People's Republic of China (1:1000000)*. 1995. [全国土壤普查办公室. *1:100 万中华人民共和国土壤图*. 1995.]
- [34] Wang Tao. *1:4000000 Map of the Glaciers, Frozen Ground and Deserts in China*. The dataset is provided by National Cryosphere Desert Data Center. <http://www.ncdc.ac.cn>. [王涛. *中国 1:400 万冰川冻土沙漠图*. 国家冰川冻土沙漠科学数据中心. <http://www.ncdc.ac.cn>.]
- [35] Dai Shengpei, Li Hailiang, Luo Hongxia, et al. The spatio-temporal change of active accumulated temperature $\geq 10^{\circ}\text{C}$ in Southern China from 1960 to 2011. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(5): 650-660. [戴声佩, 李海亮, 罗红霞, 等. 1960—2011 年华南地区界限温度 10°C 积温时空变化分析. *地理学报*, 2014, 69(5): 650-660.]
- [36] Zhang Jingjing, Wang Yansong, Zhu Lianqi, et al. Study on change of northern subtropical border in mountainous regions in western Henan province. *Journal of Henan University: Natural Science*, 2016, 46(1): 40-49. [张静静, 王岩松, 朱连奇, 等. 近 50 年来豫西山地亚热带北界变化分析. *河南大学学报(自然科学版)*, 2016, 46(1): 40-49.]

- [37] Miao Qilong, Ding Yuanyuan, Wang Yong. Impact of climate warming on the northern boundary of sub-tropical zone of China. *Geographical Research*, 2009, 28(3): 634-642. [缪启龙, 丁园圆, 王勇. 气候变暖对中国亚热带北界位置的影响. *地理研究*, 2009, 28(3): 634-642.]
- [38] IPCC. Summary for policymakers/Lee L, Romero J. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, 2023: 1-34. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.
- [39] IPCC. *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- [40] IPCC. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [41] Zheng Jingyun, Ge Quansheng, Hao Zhixin. Effects of global warming on plant phenological changes for the last 40 years in China. *Chinese Science Bulletin*, 2002, 47(20): 1582-1587. [郑景云, 葛全胜, 郝志新. 气候增暖对我国近40年植物物候变化的影响. *科学通报*, 2002, 47(20): 1582-1587.]

Updated scheme for eco-geographical regionalization in China

WANG Fang, LI Bingyuan, TIAN Siyu, ZHENG Du, GE Quansheng

(Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: With the increasing global warming over the past three decades, the climatic zones and eco-geographical regions characteristics in China have changed. This study used the climatic data of 641 meteorological stations over the past three decades (1991-2020), as well as the high-precision data of eco-geographical elements to optimize the eco-geographical regions in China. The study updated the map of eco-geographical regionalization in China (2023) and increased the scale to 1:4000000. The new map divided China into 11 temperature zones, 22 dry and wet regions, and 50 natural regions. The results show that compared with eco-geographical regionalization in 2007, the overall pattern of eco-geographical regions in China has not changed significantly over the past three decades, but the boundaries of temperature zones, dry and wet regions, and eco-geographical regions (natural regions) in some areas have changed to some extent. Firstly, the boundary change of temperature zones is more obvious in the east. Particularly, in the middle and lower reaches of the Yangtze River, the northward shift of the temperature zone boundary between the northern subtropical and the mid-subtropical zones is obvious. Secondly, the boundary between dry and wet regions has changed, and that between semi-arid and arid regions in the north of the second-order landform step has shifted slightly to the west. In addition, the boundary between semi-arid and sub-humid regions in the Qinghai-Tibet Plateau has shifted slightly to the southeast, reflecting a slight expansion of the scope of semi-arid regions. Finally, boundary changes in natural regions in some areas vary greatly. This study can provide a macro-regional framework for guiding ecological conservation and restoration in different regions.

Keywords: climate change; eco-geographical regionalization; shift of boundary; China