《高寒草地气候资源承载力评价技术》编制说明

标 准 名 称：高寒草地气候资源承载力评价技术

项 目 编 号：**DB63JH-008-2022**

制、修订类型：制定

主要起草单位：青海省气象科学研究所

协 作 单 位：海北藏族自治州草原站

青海省气象灾害防御中心

中国大气本底基准观象台

青海泽库泽曲国家湿地公园

海北牧业气象试验站

归 口 单 位：青海省气象局

起草时间：**2022 年 6 月---2023 年 6 月**

《高寒草地气候资源承载力评价技术》地方标准

编制说明

一、工作简况

（一）任务来源

2022 年 7 月 20 日，由青海省气象科学研究所申请地方标准的立项，根据青海省市场监督管理局下达的《关于印发 2022 年度青海省地方标准制修订项目计划的通知》（青市监函［2022］119 号），批准《高寒草地气候资源承载力评价技术》（DB63JH-008-2022）地方标准的制定。

（二）起草单位、协作单位

起草单位：青海省气象科学研究所

协作单位：海北藏族自治州草原站、青海省气象灾害防御中心、青海省气候中心、青海泽库泽曲国家湿地公园、海北牧业气象试验站。

（三）主要起草人

姓名	性别	职务/职称	工作单位	任务分工
赵梦凡	女	工程师	青海省气象科学研究所	总体设计，负责标准撰写
赵彤	女	工程师	青海省气象科学研究所	技术流程设计
赵晓军	男	高级畜牧师	海北藏族自治州草原站	标准结构设计

颜玉倩	女	工程师	青海省气象科学研究所	负责验证工作
张玉欣	女	工程师	青海省气象灾害防御中心	精度验证
颜亮东	男	正研级高工	青海省气象科学研究所	技术把关
才华	男	高级工程师	青海泽库泽曲国家湿地公园	评价工作把关
李红梅	女	正研级高工	中国大气本底基准观象台	验证工作把关
刘洁	女	工程师	海北牧业气象实验站	野外考察
孙玮婕	女	助理工程师	青海省气象科学研究所	数据分析处理
张帅旗	女	工程师	青海省气象科学研究所	技术流程设计
李璠	女	高级工程师	青海省气象科学研究所	数据分析处理
李菲	女	助理工程师	青海省气象科学研究所	数据收集
张睿	女	助理工程师	青海省气象科学研究所	参与标准撰写
马红璐	女	助理工程师	青海省气象科学研究所	参与标准撰写

二、制定标准的必要性和意义

（一）必要性

青海地域面积辽阔，自然环境独特，气候条件各异，孕育的天然草地类型复杂多样，且草地面积占全省国土面积的60%以上，它不仅是畜牧业主要的生产基地，也是青藏高原重要的生态屏障。由于高海拔和独特的高寒气候，青藏高原高寒草地既是全球气候变化的敏感区和脆弱区，也是我国乃至东亚地区的重要生态安全屏障。多年来，该类草地地处高寒，土壤贫瘠，气候干旱，生长环境条件十分恶劣,是自然保护区内最为脆弱的草地子系统，一旦遭到破坏，很难恢复且极易向高寒荒漠化系统演替。因此，必须尽快规范高寒草地气候资源承载力评价技术，弥补各类标准在结合气候、生态

监测与评估中的缺漏，以标准为基础更好履行公共气象服务和社会管理职能，在生态文明建设和绿色高质量发展中发挥重要指导作用。

（二）意义

青海省生态立省方案的实施将青海生态安全保障提到了前所未有的战略高度，气候作为自然生态系统的重要组成部分，是人类赖以生存和发展的基础，也是经济社会可持续发展的重要资源。大力推进生态文明建设，加快形成人与自然和谐共生，需要科学认识气候变化规律和气候风险，充分考虑气候资源的承载能力。然而，目前针对海拔高、低气压低氧、气候环境恶劣的高寒草地气候资源承载力评估理论体系和方法尚不完善，存在标准空白，难以形成业务支撑。《高寒草地气候资源承载力评价技术》基于气候生产力评价气候资源承载力，在认知气候资源要素与内地低海拔区差异性分布的基础上，进一步构建高寒草地气候资源承载力评价技术，为实施最严格的生态保护、筑牢生态安全屏障提供科学支撑。

三、主要起草过程

（一）成立编制组

2022 年 6 月，标准计划任务下达后，本标准承担单位和负责人成立了由青海省气象科学研究所、海北藏族自治州草原站、青海省气象灾害防御中心、青海省气候中心、青海泽库泽曲国家湿地公园、海北牧业气象试验站相关领域的科研人员组成的标准编制组，制定了相关工作计划，明确项目成员的分工。

（二）收集相关文献、标准和法规

2022 年 7 月-8 月，针对《高寒草地气候资源承载力评价技术》编制的需求，围绕省委、省政府重大工程或政府工作报告中加快推进生态文明建设、完善生态气象标准体系、实现绿色高质量发展的要求，编制组收集了国内相关研究成果及现状，收集到关于高寒草地气候资源承载力评价技术相关标准共计 6 个，分别为：

《植被生态质量气象评价指数》（GB/T 34815-2017）

《北方草地监测要素与方法》（QX/T 212-2013）

《气候资源评价 通用指标》（QX/T 593-2020）

《草原资源与生态监测技术规程》（NY/T 1233-2006）

《草原生态牧场管理技术规范》（NY/T 3305-2018）

《高寒草地遥感监测评估方法》（DB63/T 1564-2017）

为了更好契合实际，提高标准的准确性，编制组在《草业学报》、《草地学报》、《草业科学》、《Climatic Change》等国内外期刊杂志搜集相关献并进行归纳和总结，同时在科学研究以及专家指导的基础上，收集、整理、评价了相关资料，经编制组筛查，进一步论证和调整标准中相关描述，以达到一定的编制标准的基础及知识储备。

（三）研究分析与标准撰写

2022 年 9 月-10 月，按照 GB/T 1.1-2020 给出的规则，结合编制技术准备的前期材料和任务分工，任务各承担人提供相关负责内容，按分工起草，形成标准初稿。基于气象、地理信息等数据，以气候生产力为基础，通过划分高寒草原和高寒草甸，计算得到的高寒草地气候第一性生产力，结合概率密度分布方法划分高寒草地气候资源承载力等级评价指标，完成与高寒草地实际情况相契合的气候资源承载力评价技术规范起草工作。

（四）形成标准征求意见稿

2022 年 6 月，单位内部专家对标准初稿进行技术把关和

内容核查，起草组针对相关专家对于标准初稿和编制过程中的问题进行了咨询和讨论。根据相关专家的意见，对标准初稿进行了修改和完善，于2022年12月完成标准修订征求意见稿。

（五）征求意见阶段

本文件在征求意见过程中，将本文件的征求意见稿发送给青海大学、中国科学院西北高原生物研究所、青海省农业农村厅、国家统计局青海调查总队、青海省饲草料技术推广站、青海省畜牧兽医科学院、青海省林业和草原局、青海省气象局、青海省气象局应急与减灾处、青海省气象局政策法规处、青海省气象局科技与预报处和青海省气象干部培训学院的相关专家，2022年12月15日至2023年3月15日向涉及的有关行政主管部门、科研机构征求意见。共征集76条意见数，采纳71条，未采纳5条。未采纳的原因是该类意见属于不同意见冲突、超出文件规定使用范围、改名和格式问题，其中不同意见冲突和超出文件规定使用范围的意见已在征求意见处理表中予以说明，改名和格式问题按照《地方标准制定工作规范》（DB63/T 1789-2020）不予采纳。

2023 年 3 月 23 日，由青海省气象科学研究所组织 5 位专家对本文件开展预审查,起草人就预审查意见进行了修改。

2023 年 4 月 23 日，由青海省气象局政策法规处组织 5 位专家对本文件开展预审查，预审意见汇总表见附件 I，起草人就预审查意见进行了修改。

四、制定（修订）标准的原则和依据，与现行法律、法规、标准的关系

（一）编制原则和依据

（1）编制原则

前瞻性原则：大力推进生态文明建设，加快形成人与自然和谐共生，需要科学认识气候变化规律，充分考虑气候资源的承载能力，高寒草地作为本地区野生动物赖以生存的基础，不仅仅是提高农牧民经济收入和生活水平的重要生产资源而且对保护生物多样性、保持水土和维护生态平衡有着重大的生态作用和生态价值。然而，目前针对海拔高、低气压低氧、气候环境恶劣的高寒草地气候资源承载力评估理论体系和方法尚不完善，难以形成业务支撑。因此，本文件基于气候生产力评价气候资源承载力，进一步构建高寒草地气候

资源承载力等级评价技术，为实施最严格的生态保护、筑牢生态安全屏障提供科学支撑。

适用性原则：本标准具有普遍性，有广泛应用价值，可同时为林业、草业、生态、环保、气象、国土等有关部门提供气候资源承载力评价标准，涉及相关领域的单位和部门成为本标准的实施主体，如林业林草局、环保厅、国土资源厅、省气象局、各大高校，这些实施主体在青藏高原及三江源地区具有广泛的社会性，他们在实施区域内面对相同的高寒草地气候资源承载力评估问题相互合作、优势互补。同时标准涉及的关键共性技术均是国际国内通用的共性技术。

科学性原则：该标准参考了国内外相关气候资源承载力评价技术的文献、书籍以及相关标准，在研究和调查的基础上制定本文件，从气候资源承载力基本内涵出发，在气候承载力指标体系研究方法已有研究经验的基础上，建立与高寒草地地区气候现状相符合的气候资源承载力指标体系，以气候生产力为基础，构建与高寒草地实际情况相契合的气候资源承载力评价指标体系，在高寒草地气候资源承载力算法技术中具有普适性和科学性。

（2）编制依据

标准在编制过程中，综合参考相关领域最新研究成果，依据国际和国内的相关政策、技术标准与规范，形成完善的技术标准体系，使其在保持先进性的同时，具有一定的前瞻性、适用性和科学性原则。本标准严格按照《GB/T1.1-2020 标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的要求起草，遵循国家颁布的相关法律法规，凡国家相关标准、法律法规已有的或最新规定的，本标准与其保持一致。在标准的制定过程中，实现技术水平与生产实际的相结合。优先体现技术的前瞻性和适用性，同时兼顾科学性。标准的主要内容有封面、前言、范围、规范性引用文件、术语与定义等内容。

（二）与现行法律、法规、标准的关系

经过查阅相关的现行法律、法规和标准，并与本标准进行对比分析，本标准与现行法律、法规和强制性标准无相互矛盾和抵触的条款冲突，不仅可为相应法律法规的实施提供技术支撑，而且可作为相关推荐性标准的补充进行推广。本标准制定的内容符合国家相关法律、法规、政策的规定，并

且符合《GB/T1.1-2020 标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》内的相关要求。本文件不仅可为相应法律法规的实施提供技术支撑，而且可作为相关推荐性标准的补充进行推广。

五、主要条款的说明

本标准规定了青海高寒草地气候资源承载力评价指标、方法及高寒草地气候资源承载力等级评价指标等，适用于整个青海高寒草地地区气候资源承载力评价工作。

本标准适用于气象、国土、林草、农业农村和生态环境等部门开展高寒草地气候资源监测评估、业务服务和科研等相关工作。

主要的技术内容包括：本标准从气候资源承载力基本内涵出发，在气候资源承载力指标体系研究方法已有研究经验的基础上，结合高寒草地气候资源环境现状特征，建立与高寒草地气候现状相符合的气候资源承载力指标体系，以气候生产力为基础，构建与高寒草地实际情况相契合的气候资源承载力评价指标体系。

（一）高寒草地气候资源承载力的基本规定

草地是一种重要的可更新资源，是农业资源的重要组成部分，是人类重要的生存基础。草地是青海分布最广、面积最大的陆地生态系统，在青海乃至全国生态保护建设中具有举足轻重、不可替代的特殊地位，特别是在推进国家公园建设过程中，保护和建设好草原环境，其意义不言而喻。高寒草地占青海省总面积的70%，是青海省生态系统和生物多样性的基础，发挥着改善水环境、调节大气与地面的交互过程以及维护生物多样性等多项重要的生态功能。

青海高寒草地是我国生态环境保护与建设“两屏一带”的关键区域，一系列生态保护与建设规划的实施，使得青海高寒草地资源监测评估得到空前的重视和积极作用。由于高海拔和独特的高寒气候,青藏高原高寒生态系统非常敏感和脆弱。高寒草地既是全球气候变化的敏感区和脆弱区，也是我国乃至东亚地区的重要生态安全屏障。目前，气候变化和人类活动已经导致青藏高原大部分地区植被退化。有研究指出，气候变化可能是青藏高原大规模植被覆盖变化的主要原因。近年来，虽有研究表明青海省高寒草地生态系统健康状况有所改善，高寒草地净初级生产力呈增长趋势，地上生物

量呈少量增长趋势。然而，仍没有改变高原生态脆弱性本质，且局部地区脆弱性仍在增加。

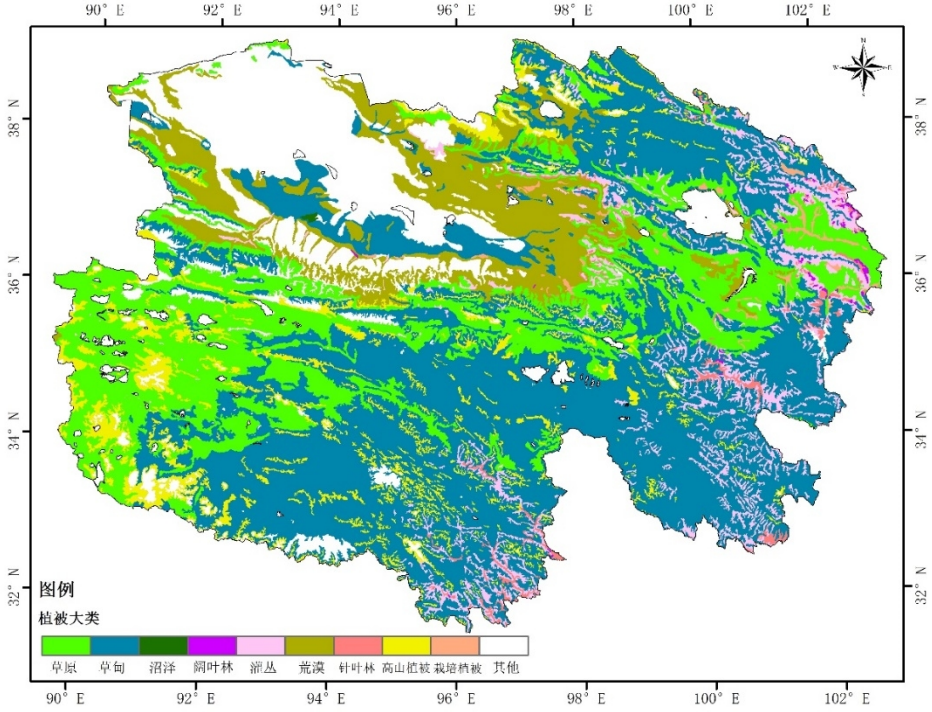


图 1 青海省高寒草地分类示意图

（二）高寒草地气候资源承载力评价技术相关定义

（1）高寒草地的定义

对高寒草地的定义，本标准参考的是地方标准-高寒草地遥感监测评估方法中对高寒草地的定义：分布在青藏高原上的高寒草甸、高寒草原、高寒荒漠草原等草地的总称。

（2）湿润度的定义

湿润度是表征某区域干湿气候状况的指数。它是干燥度的倒数，又称湿润指数。某区域是湿润还是干旱，取决于其

降水量与蒸发量的对比关系，降水量≥蒸发量，表明水分收入不小于支出，属于湿润状况；降水量<蒸发量，说明水分入不敷出，属于半湿润、半干旱及至干旱状况。

（3）高寒草地气候资源承载力的定义

气候资源是指在一定的经济技术条件下,能为人类活动提供可直接或间接利用的光能、热量、水分与风能等气候要素中的物质、能量的总称。气候资源是气候要素中可以被人类生产和生活利用的自然物质和能量,与人类生活息息相关,是一种基础性的自然资源、战略性的经济资源和公共性的社会资源，具有突出的生态、经济和社会三重效益，对人类的生活、生产发挥着重要的作用，是人类生存和发展的基本物质和能量，对于维护环境和生态平衡起着基础性作用，具有良好的生态效益，对于偏远地区减轻贫困、维护稳定和促进共同发展也具有很好的社会效益。

气候资源承载力则是指在一定的时间和空间范围内，气候资源对社会经济某一领域（如农牧业、生态系统、社会经济规模等）及可持续发展的动态支撑能力。决定于该种群或作物对资源的要求与气候资源的可利用性。目前北方牧区的

社会生产力较低,至今摆脱不了“靠天养畜”的局面,天然牧草产量的高低主要取决于当地的气候环境,因此探讨天然牧草的产量,首先要从影响牧草产量的主要环境因子即气候方面入手。近年来,国内外关于探讨农业气候生产潜力的方法较多,为气候法估算草原第一性生产力提供了一定的理论依据。

气温生产力和降水生产力分别表征气温或降水决定的最大限度的生态系统生产力，而气候生产力则是由气候资源共同决定的最大限度的生态系统生产力，也称为净第一性生产力或初级生产力。本标准对高寒草地气候资源承载力进行评价采用的指标是高寒草地气候第一性生产力，即由气候资源共同决定的最大限度的高寒草地生态系统生产力。

（三）高寒草地气候资源承载力评价技术相关规定

（1）草地类型划分

①草地分布

草地的分布,受气候的影响,呈地带性,大体上与我国的东海岸线平行,与东亚季风带垂直相交。东侧为东亚的阔叶林和针叶林,北侧与俄罗斯外贝加尔和蒙古国的草原相连,

西北侧过渡到亚洲中部的荒漠带。主要包括大兴安岭东西、阴山南北、贺兰山、祁连山、天山、阿尔泰山麓和青藏高原的我国北部和西部的高海拔、中高纬度地区。

②草地类型与气候

受地理位置、地形、气候等自然环境的影响，草地类型复杂多样，分类方法较多。根据气候-植物分类法，结合我国草原牧草的种类成分，以优势种的水分生态特征为基础，将草原分为 5 个基本类型，如图 2 所示：

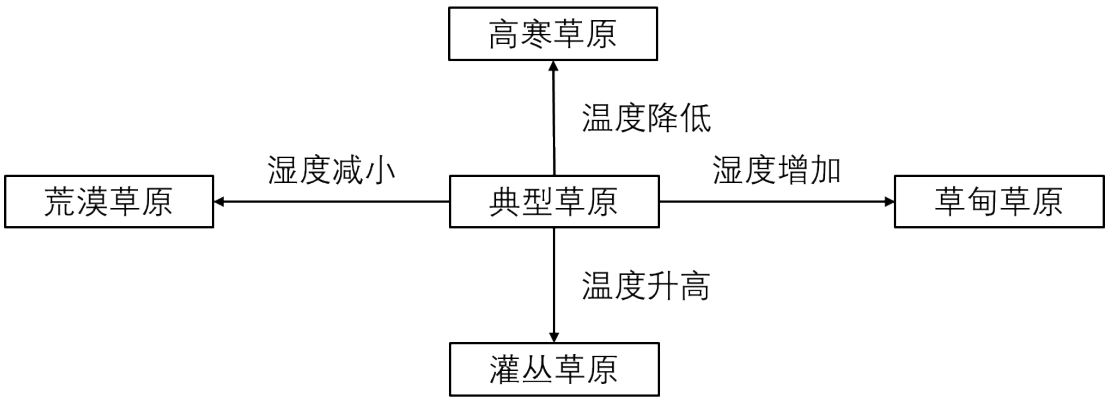


图 2 草原基本类型

图 2 中的横轴线代表水分，典型草原在图的中央，其地理位置也在草原带中部；向右至草甸草原，反映着土壤及空气湿度的增加，是降水量增加所致。水分因子的改善，使得草甸草原的种类成分及其群落结构比典型草原复杂，在位置上草甸草原位于典型草原的东侧，接近湿润的森林地带。向

左至荒漠草原，是旱生化的系列。降水量减少导致荒漠化草原的种类成分及群落结构趋于单纯，位置上，荒漠化草原分布在典型草原带西部，临近干旱的荒漠带。图 2 中的纵轴代表温度因子，向下由典型草原到灌丛草原，是喜暖的系列，反映着热量因子的改善，土壤及空气温度有所增加，致使灌丛草原比典型草原增多了一些喜暖性的灌木丛，位置上，灌丛草原在典型草原的南侧；向上表示地势、海拔高度增加，引起温度降低，使高寒草原比典型草原增多了一些适冰雪的高山植物种，位置分布在地势独特的青藏高原上。图 2 一方面反映了各类草原的植物及气候生态特征，另一方面也代表了它们的地理分布规律,表达了我国草原类型相互间的联系。

（2）干湿气候划分

近 100 多年来，国内外学者广泛采用降水蒸发比或蒸发降水比作为干湿气候区划指标。早期的一些学者曾用经验公式估算蒸发量，其中有些只考虑了温度、辐射平衡或饱和差单项因子，有些考虑了温度、日照等几项因子。1998 年联合国粮农组织推荐 FAO Penman-Monteith 公式作为计算潜在蒸散量唯一标准方法，这标志着全球有了一个公认的计算潜在

蒸散量方法。

①国外干湿气候指标

从 20 世纪开始，国际上众多学者专家研究发现多种通用性指标，适用于多个国家和地区的干湿气候区划，其中包括杜库恰耶夫-维索茨基(V.V.Dokutchaev-G.N.Vyssotsky)降水蒸发比、朗格(W. Lang)雨量指数、德马顿(E. de Martonne)干燥指数、Holdridge 可能蒸散率(PER)、Budyko 辐射干燥指数等。

1994 年 10 月联合国防治荒漠化公约从全球角度给出了荒漠化的新定义:“荒漠化系指包括气候变异和人类活动在内的种种因素造成的干旱、半干旱和亚湿润干旱地区的土地退化”，其中“干旱、半干旱和半湿润干旱地区”指年降水量与可能蒸散量之比在 0.05~0.65 之间的大陆地区，定义比值 0.05~0.20 的地区为干旱区，0.20~0.50 为半干旱区，0.50~0.65 为半湿润干旱区。

②国内干湿气候指标

国内学者划分干湿气候主要从干燥度和湿润度入手，张宝堃、卢其尧、钱纪良、陈明荣、丁一汇等通过不同计算方

法确定的干燥度对全国或区域进行干湿划分，而慈龙骏、王菱、毛飞等则将湿润度作为气候干湿区划指标，其中毛飞提出用湿润度作为划分青藏高原干湿气候区的指标，定义湿润度大于 0.65 的地区为湿润区，0.51~0.65 为半湿润干旱区，0.21~0.5 为半干旱区，0.05~0.20 为干旱区，小于 0.05 为极端干旱区。

国内学者中用“干燥度”的比较多，其原因可能是干旱一直是中国最严重自然灾害之一，关注干旱的学者比较多。但气候的干与湿是相对的,湿润气候和干旱气候都是自然资源，干旱是一种灾害，过湿也是一种灾害，因此，两种划分指标没有高低之分，参考《干湿气候等级》（GB/T 34307-2017）以及前人针对青藏高原干湿气候划分的研究，本文件建议使用湿润度，并以湿润度 0.5 作为干湿气候分界阈值。

（3）湿润度确定

通过年湿润度划分两个水分条件不同的区域，其中年湿润度大于或等于 0.5 的地区为不受水分条件限制的草甸草原区，建立一个模式，年湿润度小于 0.5 的地区受水分条件限制的典型草原、荒漠草原、灌丛草原区建立另一个模式。年

湿润度计算公式为：

$$K = R / E \tag{1}$$

式中，K 为湿润度，无量纲；R 为降水量，单位：mm ；E 为年蒸散量，单位：mm。

世界粮农组织的 FAO Penman-Monteith 公式是当前被推荐的计算蒸散量的唯一标准方法，因此本标准的 E_0 通过 FAO Penman-Monteith 公式进行计算：

$$E_{0i} = \frac{0.408\Delta\left(R_n - G\right) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 \left(e_s - e_a\right)}{\Delta + \gamma\left(1 + 0.34u_2\right)} \tag{2}$$

式中：E_{0i} 为日蒸发量，单位：mm/d；R_n 为净辐射，单位：MJ/(m^2·d)；G 为土壤热通量，单位：MJ/(m^2·d)；T 为 1.5m 高度处日平均气温，单位：℃；u_2 为 2m 高处日平均风速，单位：m/s；e_s 为饱和水汽压，单位：kPa；e_a 为实际水汽压，单位：kPa；Δ 为饱和水汽压与温度关系曲线在 T 时的斜率，单位：kPa/℃；γ 为干湿表常数，无量纲。

年蒸发量根据日蒸发量计算，年蒸发量即某一年度日蒸发量的累加。

$$E = \sum_{i=1}^{m} E_{0i} \tag{3}$$

式中：E年蒸发量，单位：mm；i 为某一年度第 i 日；m 为某一年度总日数，平年为 365，闰年为 366。

生长季潜在蒸发量即某一年度牧草生长季（4-9 月）日潜在蒸发量的累加。

$$E' = \sum_{i=\mathrm{p}}^{\mathrm{q}} E_{0i} \qquad (4)$$

式中：E'生长季（4-9 月）潜在蒸发量，单位：mm；p为某一年度 4 月 1 日；q为某一年度 9 月 30 日。

计算青海高寒草地近三十年的年湿润度的平均值，根据图 3 可以发现青南牧区东南部湿润度最大，湿润度平均值约 0.7，大致呈现从东南和东北向西北递减的趋势。结合表 1、表 2 和图 4 发现青南牧区和海北东南部湿润度均大于 0.5，属于不受水分限制区域。在受水分限制区，除托勒外，海北、果洛、玉树各个站点的平均年湿润度均大于 0.40，水分条件相对较好。

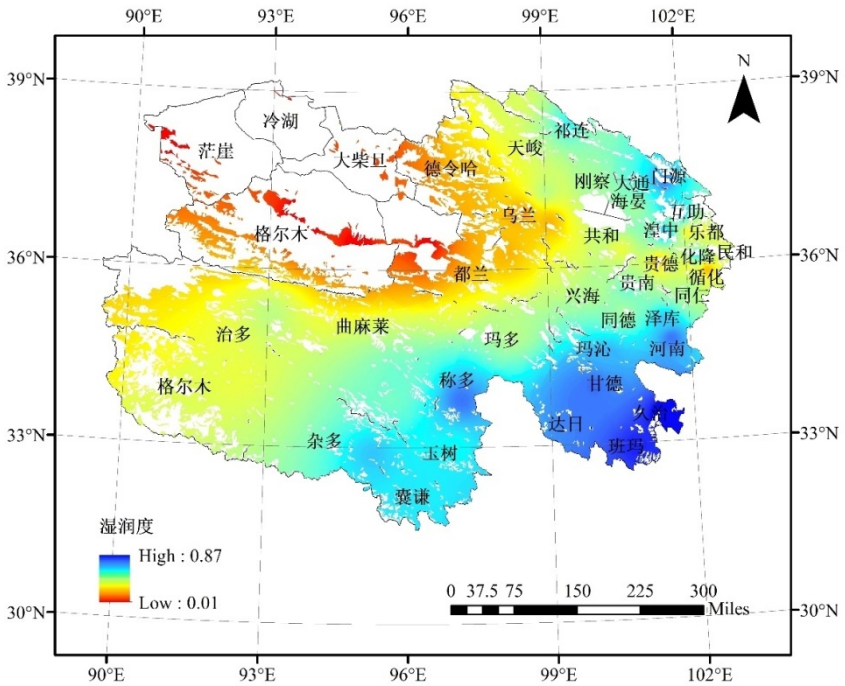


图 3 高寒草地湿润度分布

表 1 不受水分限制区域

市/州	县/区	站名	1991-2020 年平均年湿润度
西宁	大通	大通	0.59
	湟中	湟中	0.61
	平均		0.60
海东	互助	互助	0.60
	化隆	化隆	0.53
	平均		0.57
海北	祁连	野牛沟	0.53
	门源	门源	0.66
	平均		0.60
黄南	泽库	泽库	0.60
	河南	河南	0.68
	平均		0.64
果洛	玛沁	玛沁	0.62
	甘德	甘德	0.69
	达日	达日	0.68
	久治	久治	0.87
	班玛	班玛	0.77
	平均		0.72
玉树	杂多	杂多	0.60
	玉树	玉树	0.54
	称多	清水河	0.68
	囊谦	囊谦	0.56
	平均		0.59
平均			0.64

表 2 受水分限制区域

市/州	县/区	站名	1991-2020 年平均年湿润度
西宁	湟源	湟源	0.47
	西宁	西宁	0.47
	平均		0.47
海东	乐都	乐都	0.32
	平安	平安	0.31
	民和	民和	0.35
	循化	循化	0.23
	平均		0.30
海西	茫崖	茫崖	0.04
	茫崖	冷湖	0.01
	格尔木	小灶火	0.02
	大柴旦	大柴旦	0.10
	德令哈	德令哈	0.21
	天峻	天峻	0.41
	格尔木	格尔木	0.04
	都兰	诺木洪	0.04
	乌兰	乌兰	0.19
	都兰	都兰	0.21
	乌兰	茶卡	0.21
	格尔木	沱沱河	0.34
	平均		0.15
海南	共和	共和	0.34
	贵德	贵德	0.24
	贵南	贵南	0.49
	同德	同德	0.44
	平均		0.38
海北	祁连	托勒	0.37
	祁连	祁连	0.47
	刚察	刚察	0.44
	海晏	海晏	0.44
	兴海	兴海	0.42
	平均		0.43
黄南	尖扎	尖扎	0.33
	同仁	同仁	0.43
	平均		0.38
果洛	玛多	玛多	0.42
	平均		0.42
玉树	曲麻莱	五道梁	0.41
	治多	治多	0.48
	曲麻莱	曲麻莱	0.49
	平均		0.46
平均			0.31

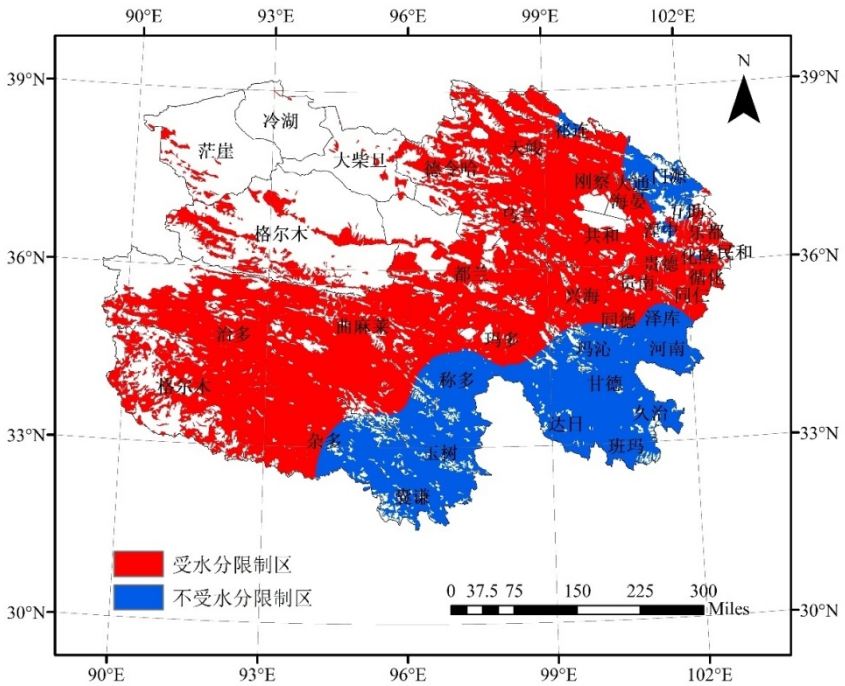


图 4 高寒草地湿润度分区

（4）第一性生产力确定

正确计算天然牧草产量，可为草地的适宜载畜量、草地的远景规划，实施我国的西部大开发战略，建设山川秀美的北方牧区提供科学依据。H1lieth 根据世界各地的年平均气温 T（℃）和年降水量 R（mm），分别按下列公式计算生物量，同时根据 Liebig 限制因子定律，选取其中较小者作为生物圈第一性生产力。

$$Y_{(T)}=300\left(1+e^{1.315-0.119T}\right) \quad (5)$$

$$Y_{(R)}=300\left(1+e^{-0.000664R}\right) \quad (6)$$

式中，$Y_{(T)}$ 为气温生产力，$Y_{(R)}$ 为降水生产力，单位：g/m^2；T 为年平均气温，单位：℃；R 为年降水量，单位：

mm。

江爱良认为光、温、水是植物生长发育绝不可少的 3 个气候要素，又是彼此不可代替的,因此给出计算生物量的模式为：

$$Y_{(Q,T,R)}\begin{cases} 0.0196\left(R/E_0\right)Q\sum_{\mathrm{i=1}}^{12}T_i \\ \text{或}0.00652\left(R/E_0\right)Q\sum_{\mathrm{i=1}}^{36}T_i \end{cases} \qquad (7)$$

式中，$Y_{(Q,T,R)}$为综合气候生产力，单位为 g/m²；R 为降水量，单位：mm；E_0 为陆面蒸散量，单位：mm；Q 为年总辐射，单位：W/m²；T_i 为时段平均气温，单位：℃。樊锦沼、刘寿东对江氏模式进行了改进，并提出如下的模式：

$$Y = Y_{(Q,T,R)}\ln 6.0/10\ln(\sum T/R) \qquad (8)$$

$$Y_{(Q,T,R)} = 0.0279(R/E_0)Q\sum_{i=1}^{12}Ti \text{ 或 } 0.0093(R/E_0)Q\sum_{i=1}^{36}Ti \qquad (9)$$

式中，Q 为天然牧草生长期太阳总辐射,单位：W/m²，其他意义同上。

根据公式（5）~（9）分别计算北方牧区有关代表站、点的天然牧草气候生产力，结果实际数值（量级）与实际情况不符，其中 H1lieth 模式在水分限制区差别较大，水分较

充足地区差别较小。根据改进后江氏模式的计算结果分析及草地类型与气候条件的关系，北方牧区光照条件充足，能够满足天然牧草生长发育的要求，限制天然牧草产量的主要因素是水分和温度,依据牧区第一性生产力在总体上降水愈多，产量愈高，但二者间并不呈线性关系的实际情况，建立天然牧草第一性生产力计算公式，主要考虑水分条件，其次考虑温度条件。

①不受水分条件限制地区的高寒草地第一性生产力计算

该地区包括年湿润度大于或等于 0.5 的高寒草地地区，高寒草地气候第一性生产力计算公式为：

$$Y = MIN(Y_{(T)}, Y_{(R)}) \qquad (10)$$

式中，$Y_{(T)}$ 为气温生产力，估算方法见公式（5）；$Y_{(R)}$ 为降水生产力，估算方法见公式（6）；T 为年平均气温；R 为年降水量；Y为高寒草地气候第一性生产力，为该空间区域范围内$Y_{(T)}$ 和$Y_{(R)}$ 其中较小的值。

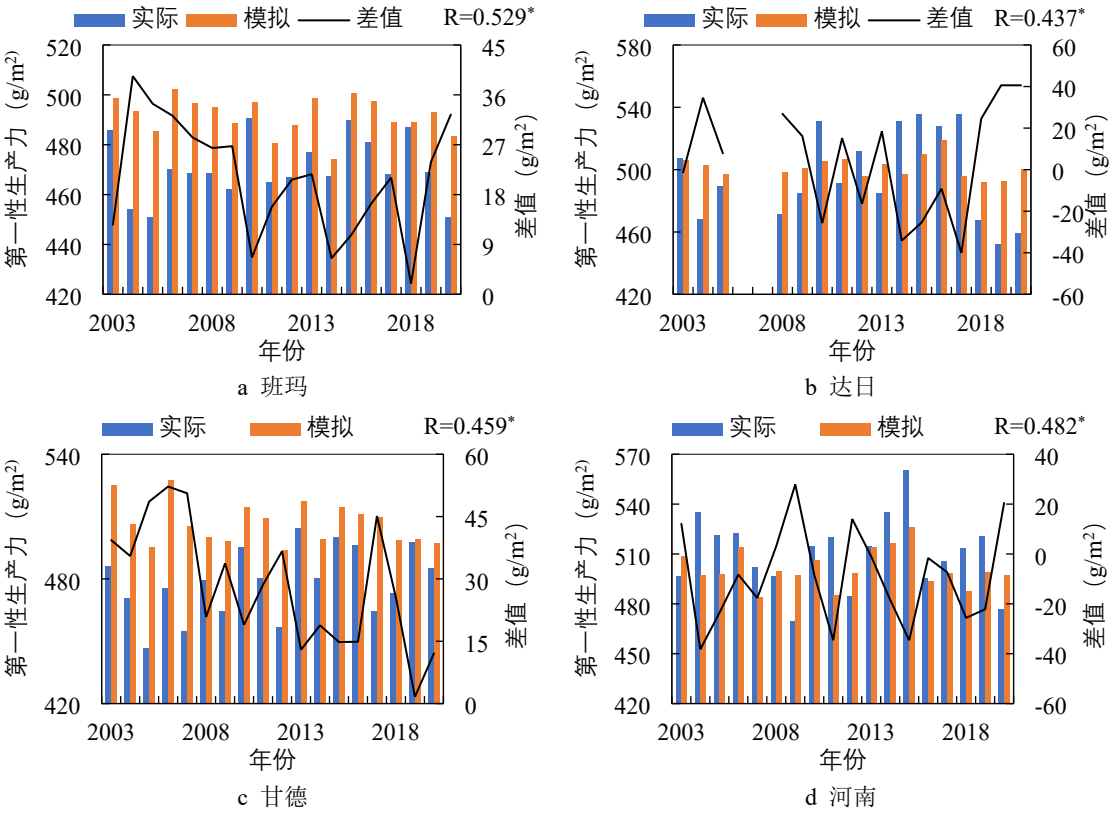
根据湿润度分区结果，结合 2003 年-2020 年 20 个站点青海省牧草地面监测数据，对不受水分条件限制地区的高寒草地气候第一性生产力模拟结果和该地牧草实际监测单产

数据进行精度对比，两者相关系数 0.308，且在 0.01 水平上显著相关，RMSE=35.3 g/m^2。模拟结果如表 3 和图 5 所示。

表 3 不受水分条件限制地区的高寒草地气候第一性生产力模拟结果

地名	*R*（mm）	*Y*（g/m^2）	*Y**（g/m^2）	*Y*-*Y**（g/m^2）
班玛	675.5	491.7	470.7	21.0
达日	596.4	501.4	496.9	4.5
甘德	561.5	506.9	478.5	28.4
河南	603.4	501.2	510.3	-9.1
久治	783.0	478.7	482.3	-3.6
玛沁	550.8	508.4	469.8	38.6
囊谦	567.5	506.0	512.1	-6.1
清水河	562.1	506.1	436.1	69.9
杂多	552.3	508.1	522.3	-14.2
泽库	534.9	510.4	525.8	-15.4

注：表中 *Y* 为受水分条件限制地区的高寒草地气候第一性生产力模拟结果，*Y**为该地牧草实际监测单产数据。



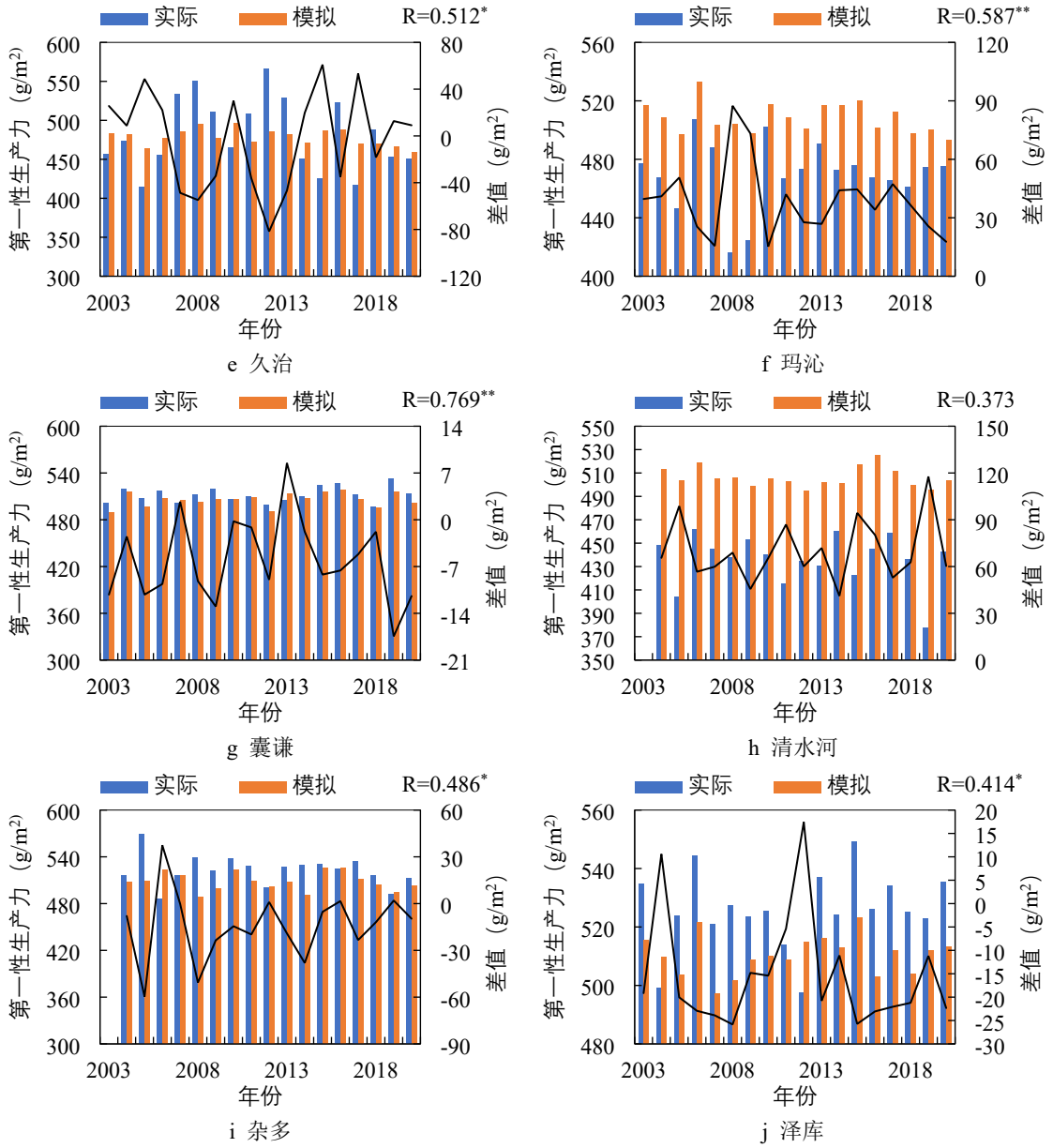


图 5 不受水分条件限制地区的高寒草地第一性生产力模拟结果

②受水分条件限制地区的高寒草地第一性生产力计算

该地区包括年湿润度小于 0.5 的高寒草地地区，其天然第一性生产力计算公式为：

$$Y=(0.4451+1.16393K)R \qquad (11)$$

式中，Y为高寒草地气候第一性生产力，K 为年湿润度; R

为年降水量。

青海省牧草返青集中在4月，牧草黄枯集中在9月，因此每年4~9月被认为是牧草生长季。考虑到青海高寒草地独特的地理位置、气候及草场类型，限制牧草生长的主要是生长季的水分条件，因此引入牧草生长季（4-9月）的湿润度，进一步优化模型：

$$Y = (0.0015 + 1.059K^{'})R^{'} \qquad (12)$$

式中，Y为高寒草地气候第一性生产力，K'为当地牧草生长季（4-9月）的湿润度；R'为牧草生长季降水量。

$$K' = R'/E' \qquad (13)$$

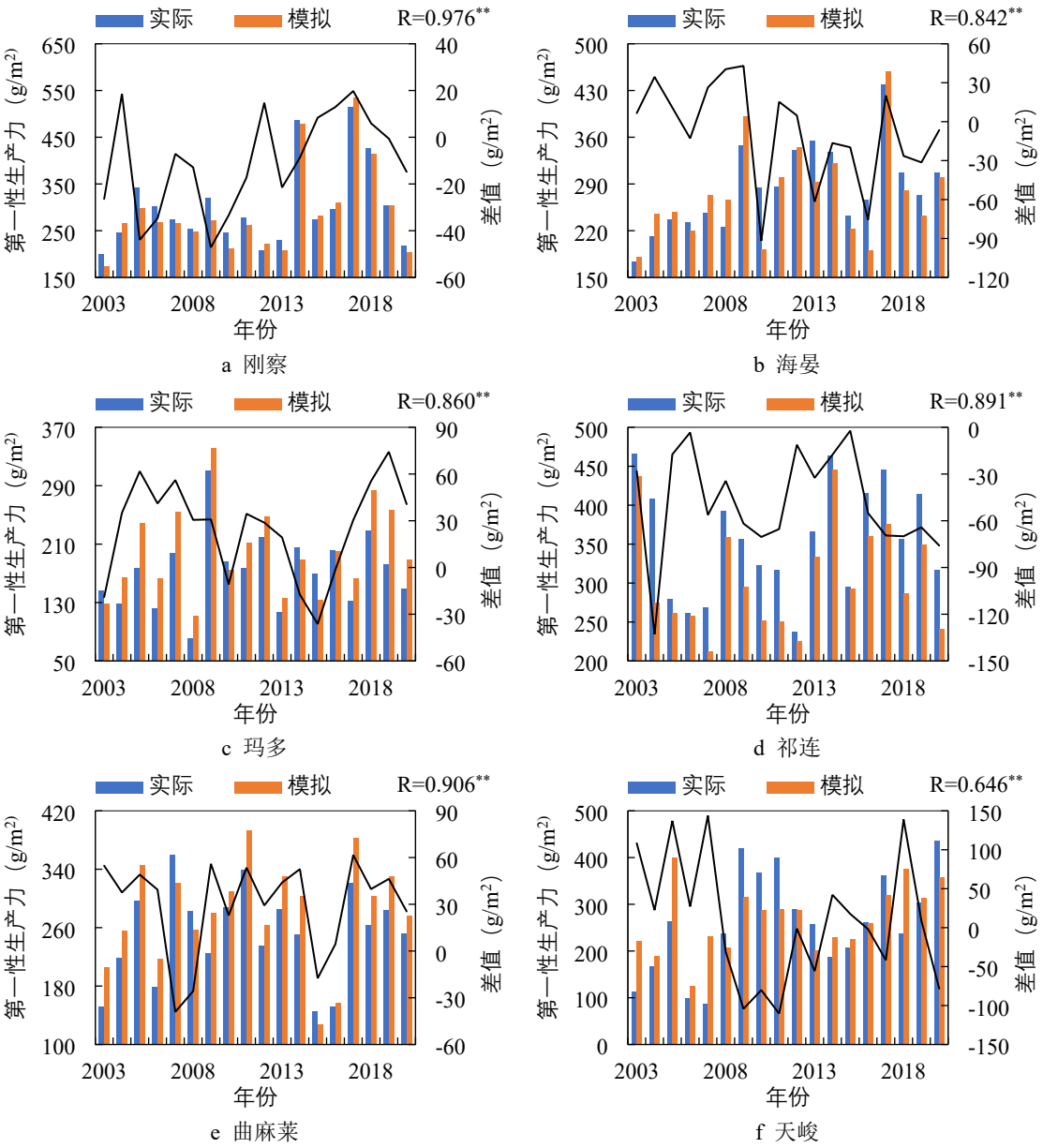
式中，K'为生长季（4-9月）湿润度，无量纲; R'为生长季（4-9月）降水量，单位为毫米（mm）；E'为生长季（4-9月）潜在蒸发量，单位为毫米（mm）。

根据湿润度分区结果，结合2003年-2020年青海省牧草地面监测数据，对受水分条件限制地区的高寒草地气候第一性生产力模拟结果和该地牧草实际监测单产数据进行精度对比，两者相关系数0.902，且在0.01水平上显著相关，RMSE=37.5 g/m^2。模拟结果如表4和图6所示。

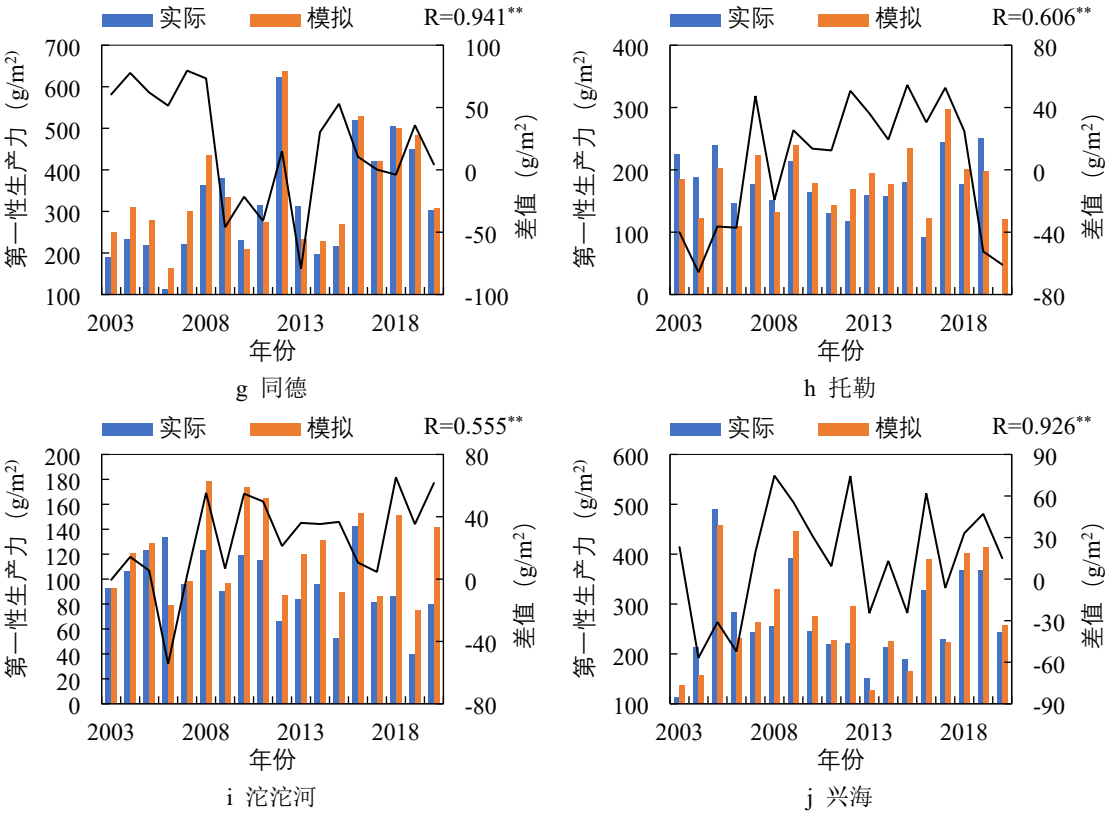
表 4 受水分条件限制地区的高寒草地气候第一性生产力模拟结果

地名	*R'*（mm）	*Y*（g/m²）	*Y**（g/m²）	*Y*-*Y**（g/m²）
刚察	402.2	289.6	300.7	-11.1
海晏	393.6	275.7	283.5	-7.8
玛多	323.7	199.1	173.8	25.3
祁连	428.0	306.3	354.5	-48.2
曲麻莱	401.2	281.4	251.8	29.6
天峻	387.8	268.9	261.0	7.9
同德	451.6	343.0	322.9	20.1
托勒	322.4	181.0	177.9	3.1
沱沱河	305.4	120.4	95.9	24.5
兴海	393.9	279.3	264.7	14.6

注：表中 *Y* 为受水分条件限制地区的高寒草地气候第一性生产力模拟结果，*Y**为该地牧草实际监测单产数据。



a 刚察　b 海晏　c 玛多　d 祁连　e 曲麻莱　f 天峻



③高寒草地第一性生产力计算结果分析

由图 5（a）~（d）可以看出，高寒草地第一性生产力分布情况和湿润度相似，均呈现从东南和东北向西北递减的趋势，其中青南牧区和海北地区大部第一性生产力均较高，基本在 300 g/m^2 以上，海西最低，大部地区不足 100 g/m^2。从图 5（a）~（c）可以看出，高寒草地第一性生产力呈现出高值降低、低值增高的趋势，同时低值区随时间变化其面积逐渐缩小，也在一定程度表明青海高寒草地生态环境有所改善。

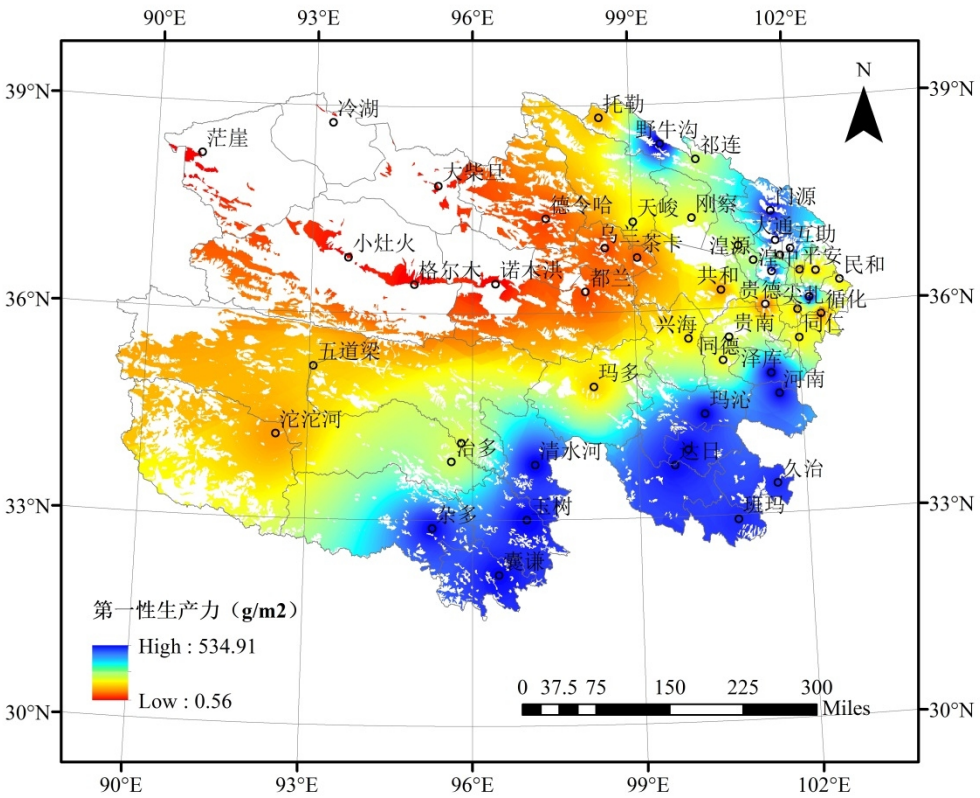


图 5（a） 1991-2000 年高寒草地第一性生产力分布

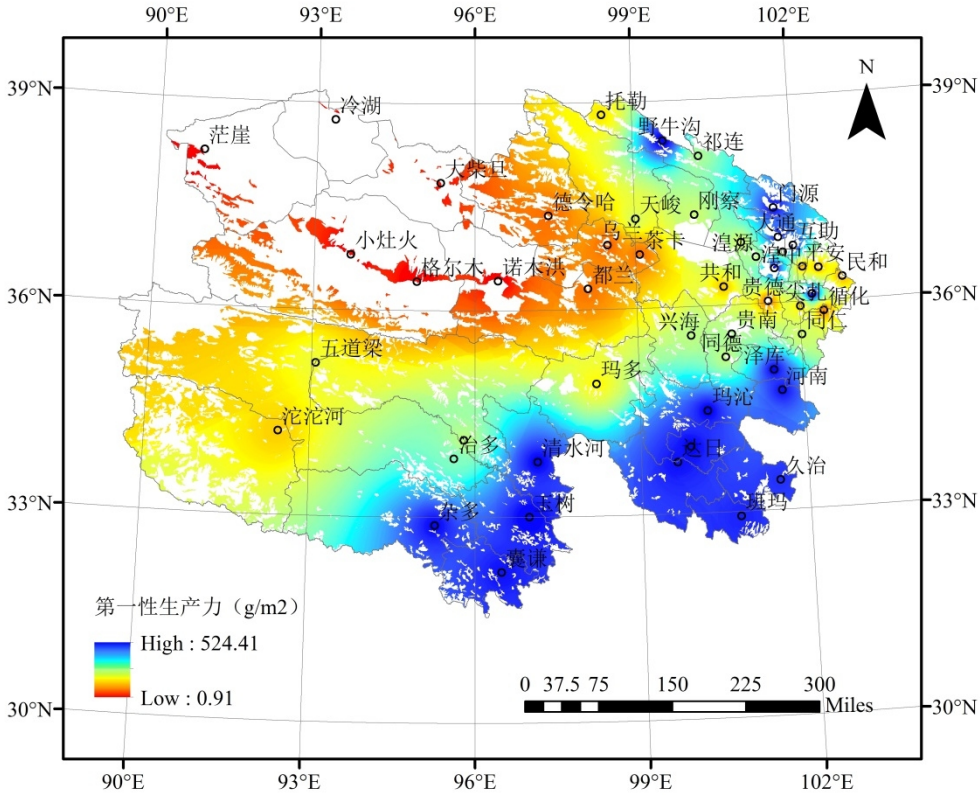


图 5（b） 2001-2010 年高寒草地第一性生产力分布

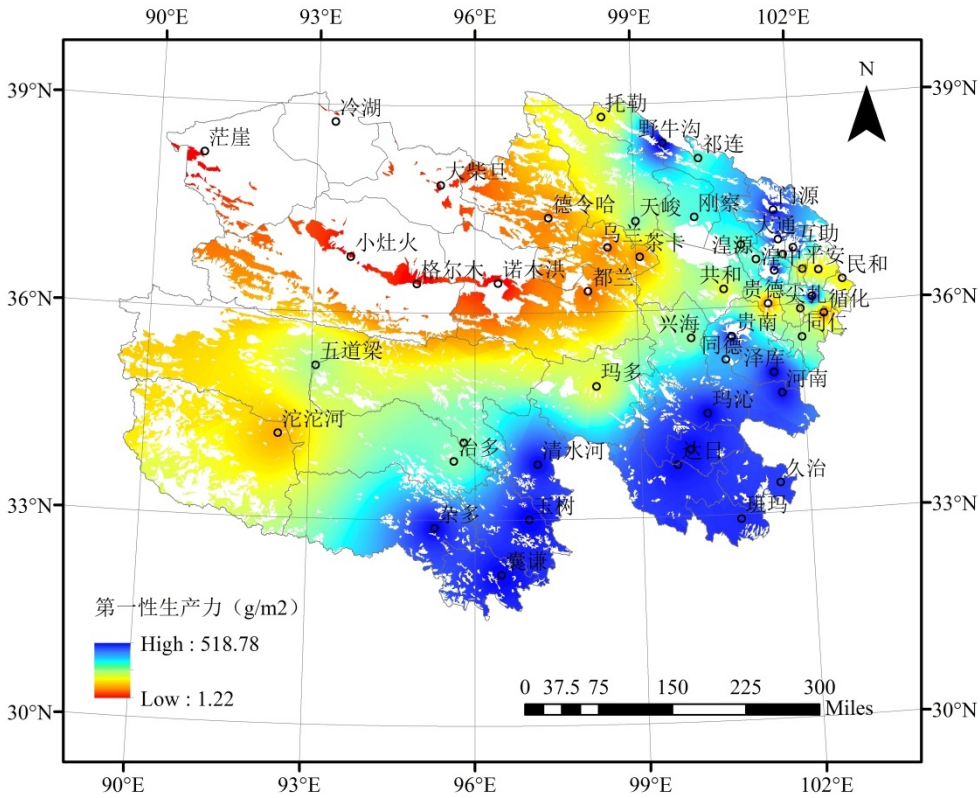


图 5（c） 2011-2020 年高寒草地第一性生产力分布

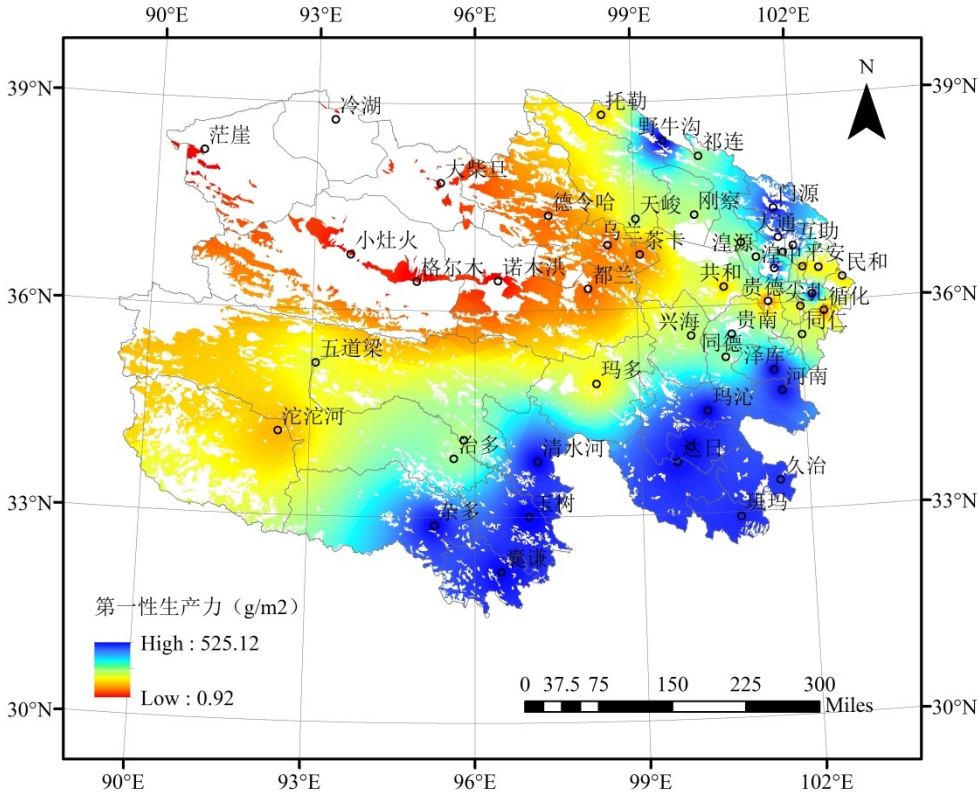


图 5（d） 2011-2020 年高寒草地第一性生产力分布

（5）概率密度分布计算方法

随机变量 x 的概率密度函数为：

$$\varphi(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp(-(x-\mu)^2/2\sigma^2) \qquad (12)$$

式中，μ 是均值，σ^2 为方差。图 6 为基于概率密度和正态分布切割线的正态分布情况，介于 μ±3σ 的面积占比为 99.73%，μ±2σ 的面积占比为 95.45%，μ±σ 的面积占比为 68.27%。通过计算高寒草地第一性生产力的均值和标准差，μ=272.65 g/m^2，σ=92.50 g/m^2。

用偏度来衡量随机变量概率密度分布曲线的对称性。偏度越接近 0 说明越符合正态分布。偏度为正为右偏态，较大的正偏度系数表示概率分布具有右侧较长尾部，平均值大于中位数。偏度为负为左偏态，负值越小表明左侧有较长尾部，平均值小于中位数，偏度公式表示为：

$$S=\frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^3}{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2\right)^{\frac{3}{2}}} \qquad (13)$$

式中，S 表示偏度（无量纲）；i 表示第 i 个数值；$\bar{x}$ 表示随机变量平均值; n 表示采样数量。通过 SPSS 计算得出 S=0.139，即右偏态，较符合正态分布。

峰度是研究随机变量分布陡峭或平滑的统计量，用来衡

量随机变量分布的平坦度。通过对峰度系数的测量，判定数据相对于正态分布而言是平缓还是陡峭。峰度≈0，表明数据分布服从正态分布；峰度>0，表明数据分布陡峭；峰度<0，表明数据分布平缓。峰度公式表示为：

$$K=\frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^4}{\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2\right)^2} \tag{14}$$

式中，K 表示峰度（无量纲）；i 表示第 i 个数值；$\bar{x}$ 表示随机变量平均值；n 表示采样数量。通过 SPSS 计算得出 K=-0.449，即分布平缓，较符合正态分布。

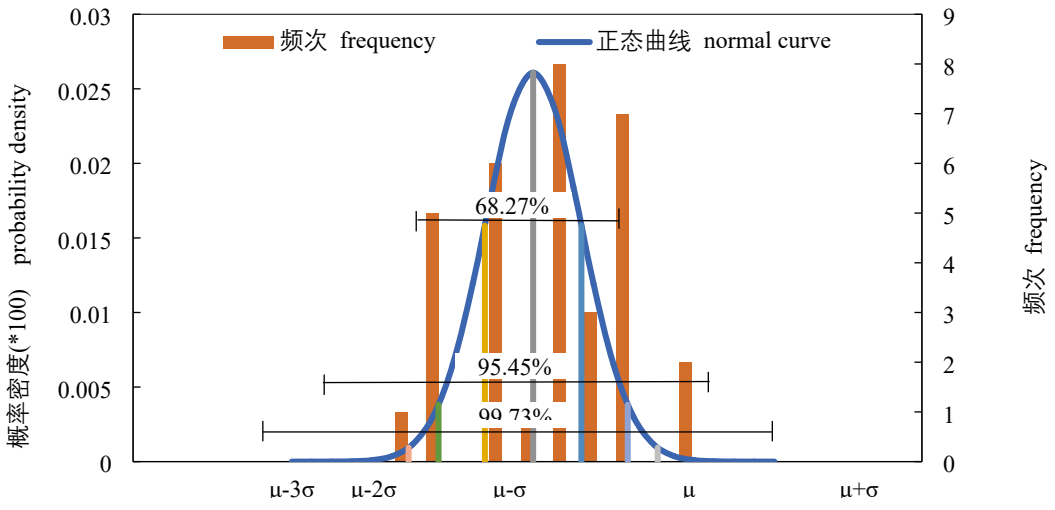


图 6 正态分布的期望值（μ）和标准差（σ）

（6）高寒草地气候资源承载力等级评价指标

高寒草地气候资源承载力等级评价指标根据高寒草地

气候第一性生产力（Y）进行划分，共分为五个等级，分级方法依据概率密度：Y≥μ+2σ 为第一等级，气候资源承载力强；Y介于 μ+2σ 和 μ+σ 为第二等级，气候资源承载力较强；Y介于 μ±σ 为第三等级，气候资源承载力一般；Y介于 μ-2σ 和 μ-σ 为第四等级，气候资源承载力较弱；Y＜μ-2σ 为第五等级，气候资源承载力弱; 详见表 5。当Y≥88 g/m^2，表明该地区气候资源可支持稳定数量的种群或作物；当Y＜88 g/m^2 时,则表明该地区气候资源无法支持稳定数量的种群或作物。

表 5 高寒草地气候资源承载力等级评价指标划分

范围	等级评价	评价结论
Y≥458g/m^2	I	强
315g/m^2≤Y＜458g/m^2	II	较强
180g/m^2≤Y＜315g/m^2	III	一般
88g/m^2≤Y＜180g/m^2	IV	较弱
Y <88g/m^2	V	弱

1991-2020 年每十年和三十年平均的高寒草地气候资源承载力等级评价结果均呈现从东南和东北向西北递减的趋势，其中青南牧区和海北地区气候资源承载力评价结果以较强和强为主，海西则以弱为主。详见图 7（a）~（d）。

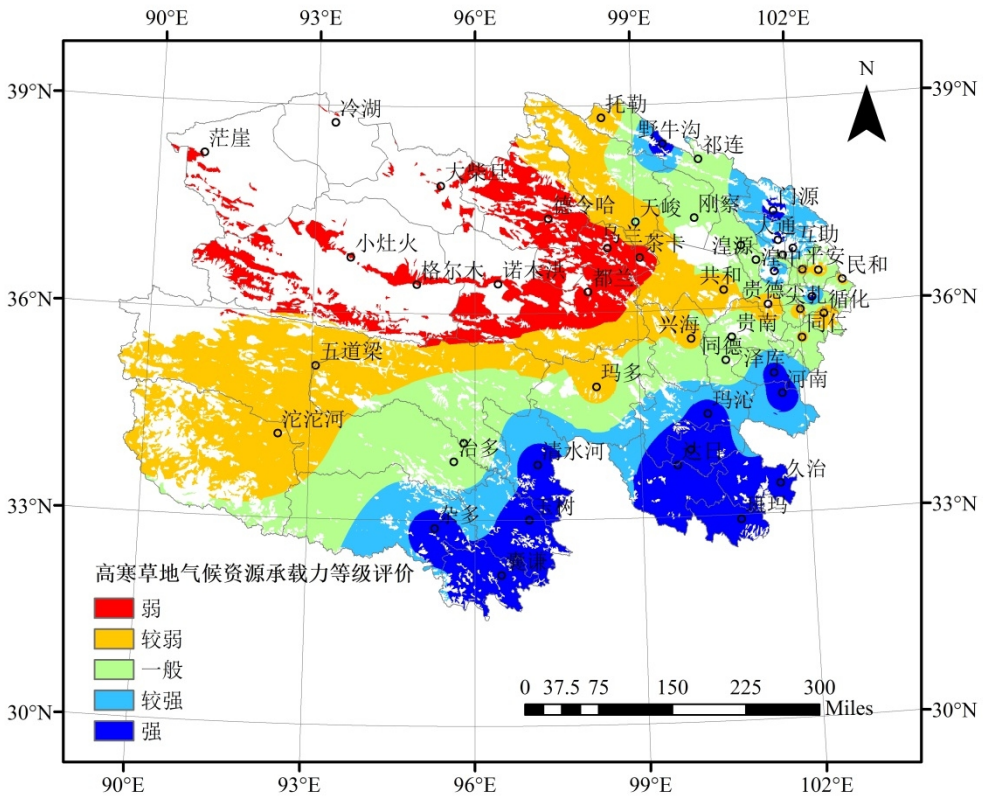


图 7（a） 1991-2000 年高寒草地气候资源承载力等级评价

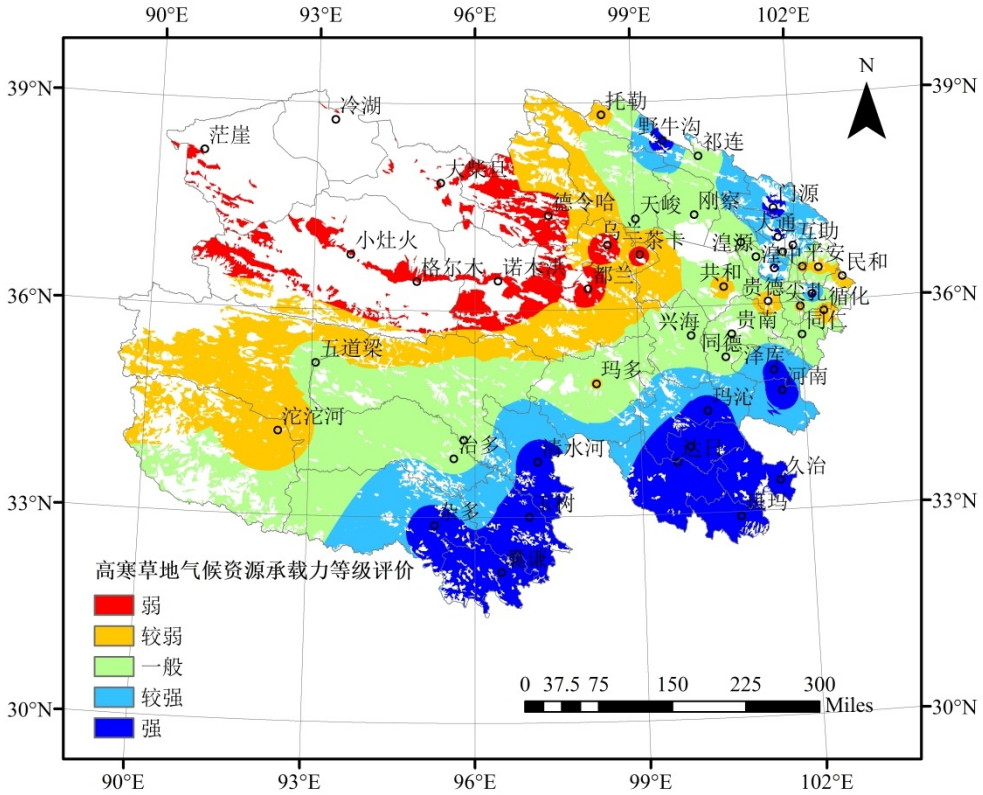


图 7（b） 2001-2010 年高寒草地气候资源承载力等级评价

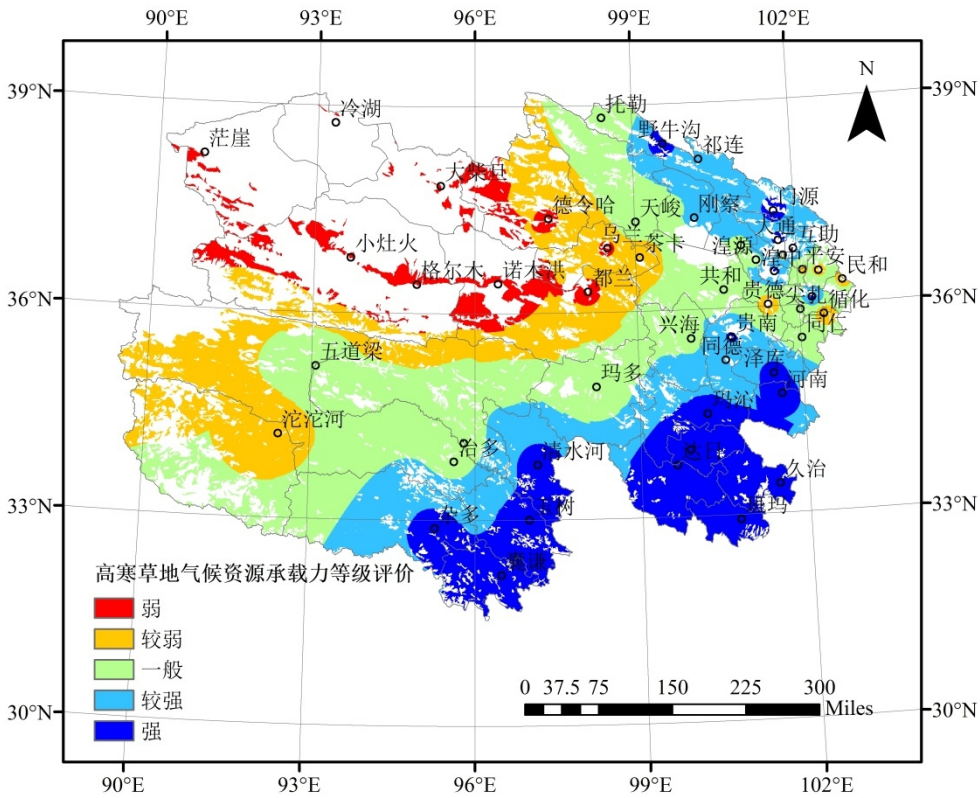


图 7（c） 2011-2020 年高寒草地气候资源承载力等级评价

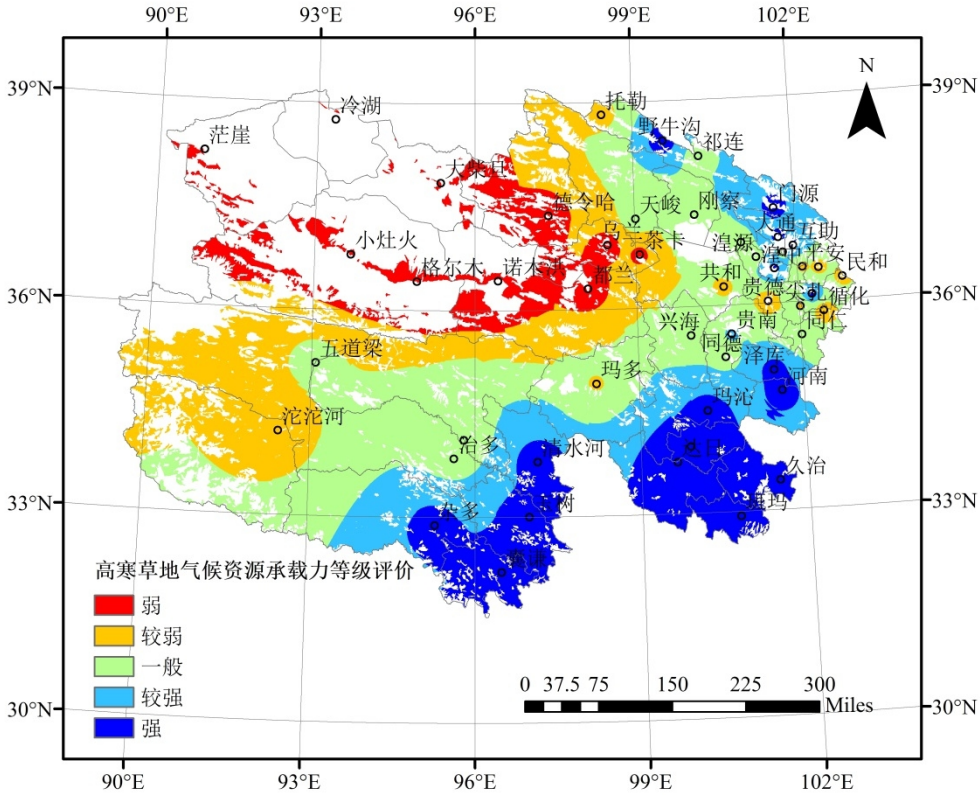


图 7（d） 1991-2020 年高寒草地气候资源承载力等级评价

（7）高寒草地气候资源承载力等级评价指标应用检验

为了进一步检验高寒草地气候资源承载力等级评价指标在实际评价中应用的准确性，对2021年高寒草地计算及评价结果进行分析。根据2021年高寒草地第一性生产力分布结果，结合2021年青海省牧草地面监测数据，对受水分条件限制地区和不受水分限制地区的高寒草地气候第一性生产力模拟结果和该地牧草实际监测单产数据进行精度对比，两者相关系数0.980，且在0.01水平上显著相关，RMSE=12.1 g/m^2。模拟结果如表6和图8所示。2021年高寒草地气候资源承载力等级评价结果见图9。

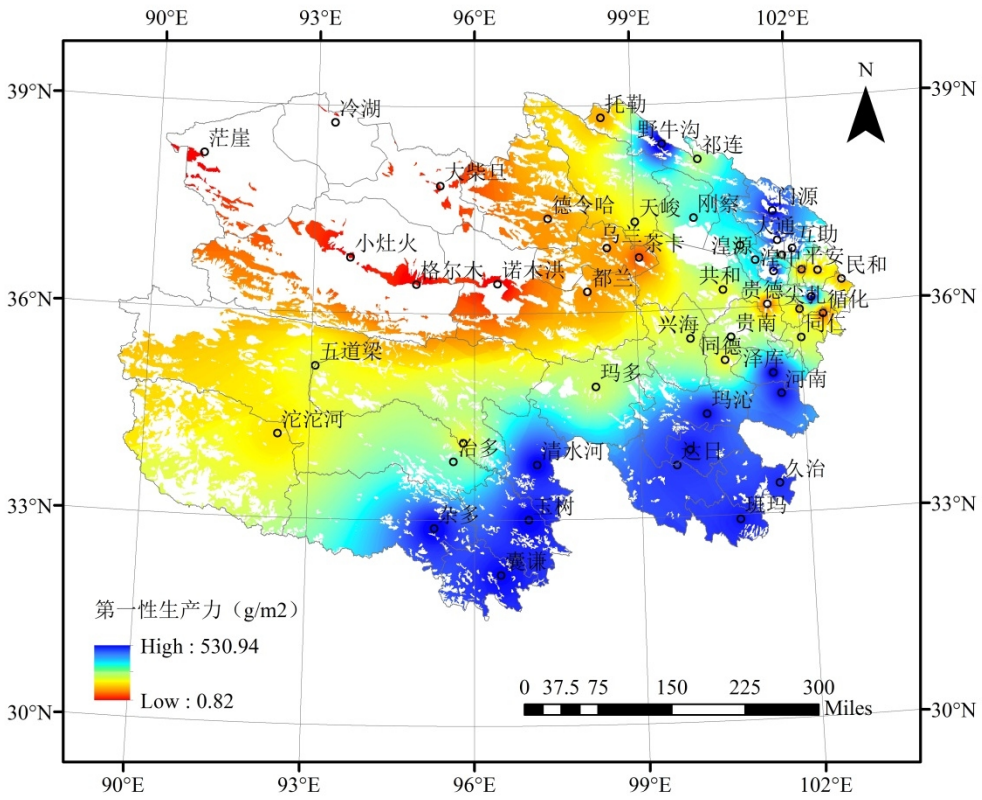


图 8 2021 年高寒草地第一性生产力分布

表 6 2021 年高寒草地气候第一性生产力模拟结果

分类	地名	Y（g/m^2）	Y^*（g/m^2）	Y-Y^*（g/m^2）
受水分条件限制地区	刚察	326.7	316.7	10.1
	海晏	299.3	327.5	-28.1
	玛多	227.3	144.6	82.8
	祁连	243.7	196.5	47.2
	曲麻莱	181.5	136.5	45.0
	天峻	188.0	200.6	-12.5
	同德	183.6	210.0	-26.4
	托勒	116.2	129.8	-13.6
	沱沱河	157.4	134.5	22.9
	兴海	214.7	181.5	33.2
	平均	213.9	197.8	16.1
不受水分条件限制地区	泽库	513.8	540.0	-26.2
	杂多	513.5	540.0	-26.5
	清水河	509.0	430.0	79.0
	玛沁	497.5	510.0	-12.5
	甘德	497.9	505.5	-7.6
	达日	476.9	461.2	15.7
	河南	500.4	522.9	-22.5
	久治	481.5	487.5	-6.0
	囊谦	503.4	550.5	-47.1
	班玛	494.1	506.6	-12.5
	平均	498.8	505.4	-6.6

注：表中 Y 为 2021 年高寒草地气候第一性生产力模拟结果，Y^*为该地牧草实际监测单产数据。

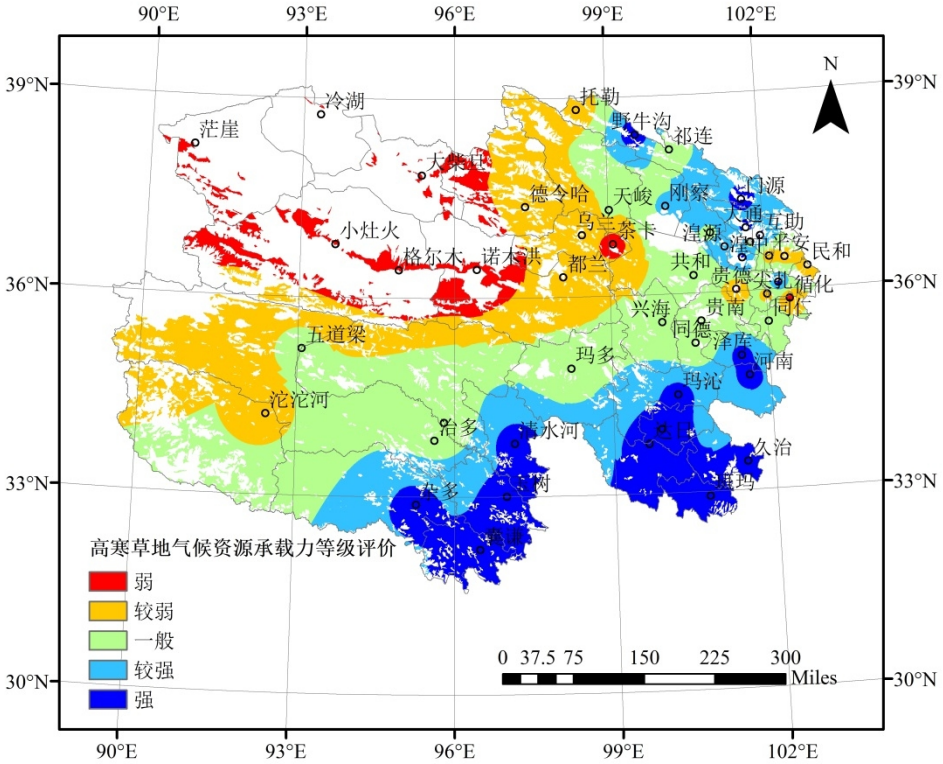


图 9 2021 年高寒草地气候资源承载力等级评价

（8）评价技术流程

本标准的技术流程是主要基于多种气象数据，对湿润度计算、高寒草地分类、高寒草地第一性生产力计算、高寒草地气候资源承载力评价都进行了流程规定，具体流程如图 8。

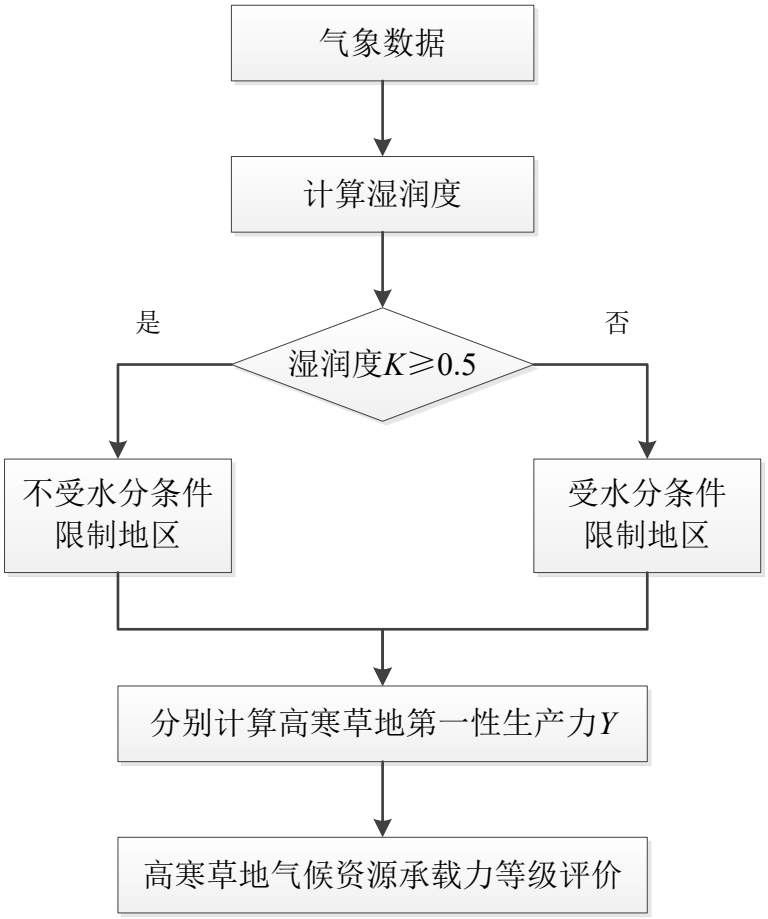


图 8 高寒草地气候资源承载力评价技术流程

（8）弱高寒草地气候资源承载力地区的保护措施

①要依据该类草地的基本特征，采取不同的保护措施，促其自然恢复。

②对该类草地在实施大范围、大面积的封护养育时充分发挥其野生草食动物采食和水土保持的自然生态功能。

③对该类草地保护要因地制宜，合理调整畜牧业生产，不适宜放牧的地区一定要封育保护，尤其更不能超载过度放牧家畜。

④对该类草地保护要更好的选育一些耐寒、耐旱的牧草良种,通过对损坏退化草地的修复，以期增加草地生态环境好转，为水源涵养创良好条件。

六、重大意见分歧的处理依据和结果

无。

七、贯彻实施标准的要求、措施等建议

本文件规定了青海高寒草地气候资源承载力评价指标、方法及高寒草地气候资源承载力等级评价指标等，适用于整个青海高寒草地地区气候资源承载力评价工作。文件经批准、发布实施后，积极开展标准宣贯会，在全省涉及相关部门（气象、国土、林草、农业农村、生态环境等）宣传并积极推广贯彻实施。与此同时，制作简讯、PPT、答疑栏目、重难点教程等内容，利用微信公众号、微博、网站等新媒体进行宣贯。

八、预期的经济、社会效益，并提出下次复审时间，其他应说明的事项

本标准涉及内容是青海省生态文明建设的重点领域，也是目前国家提倡生态文明建设和绿色高质量发展的核心和

基础问题。“绿水青山，就是金山银山”说明生态保护可以创造经济价值，本标准弥补了各类标准在结合气候、生态监测与评估中的缺漏，在生态保护领域占有不可替代的重要作用，将会在地方经济发展创造间接价值，在生态文明建设和绿色高质量发展中发挥重要指导作用。

本标准具有普遍性，具有广泛应用价值，可为各级政府和广大的畜牧业生产牧户提供草地生长状况直观信息，在生态保护工程效益评估、可持续发展等方面提供科学依据，具有显著的生态、经济、社会效益。

《高寒草地气候资源承载力评价技术》

标准起草小组

二〇二三年四月二十三日

附件Ⅰ:

《基于静止卫星的高原沙尘强度监测技术规范》

地方标准预审查会专家意见汇总处理表

负责起草单位：青海省气象科学研究所

序号	标准条款	意见内容	提出意见专家	处理意见	不采纳理由
1	封面	应该是征求意见稿	青海省气象局法规处（庞立英）	采纳	
2	目录	一级目录即可	青海省气象局法规处（庞立英）	采纳	
3	全文	全文中的符号，半角与全角	青海省气象局法规处（庞立英）	采纳	
4	3	术语引用明确是否有修改	青海省气象局法规处（庞立英）	采纳	
5	3.5	按征求意见处理表中修改定义	青海省气象局法规处（庞立英）	采纳	
6	5	建议写清划分依据	青海省气象局法规处（庞立英）	采纳	
7	表1	建议注1和注2描述一致	青海省气象局法规处（庞立英）	采纳	

8	4.3	删除公式中“T”、“R”的解释说明	青海省气象局法规处（庞立英）	采纳	
9	附录A	应该是潜在蒸发量，建议描述清楚	青海师范大学 （张乐乐）	采纳	
10	5	建议等级划分取整	青海师范大学 （曹生奎）	采纳	
11	4	建议先说清楚使用指标，再给出计算公式	青海省气象局科技与预报处 （周秉荣）	采纳	
12	参考文献	修改错别字	青海省气象局科技与预报处 （周秉荣）	采纳	
13	全文	格式存在较大问题，建议参照GB/T 1.1—2020的规定进行修改	中国科学院西北高原生物研究所 （周华坤）	采纳	
14	全文	建议统一参考文献字间距，标点符号全半角	中国科学院西北高原生物研究所 （周华坤）	采纳	