两种不同气候情景下青藏高原青稞种植潜在适宜区数据集研发

魏 瑛[1]，刘 旋[1]，马伟东[1,2*]，刘峰贵[1,2]，周 强[1,2]，陈 琼[1,2]

1. 青海师范大学，地理科学学院/国家安全与应急管理学院，西宁 810016；
2. 北京师范大学-青海省人民政府，高原科学与可持续发展研究院，高原减灾与应急管理研究中心，西宁 810016

摘 要：随着气候变化波动性和极端性的增强，青藏高原农业生产的脆弱性随之放大，使得高原农业生产需进一步科学管控与合理布局，从而提升保障高原粮食安全的能力。作者基于当前青藏高原青稞种植现状，融合了 DEM、土壤参数指标、生态气象变量等多源数据，模拟当前青稞种植潜在适宜区，并在此基础上预估了未来不同时期两种不同气候变化情景下（RCP4.5、RCP8.5）的青藏高原青稞种植潜在适宜区。结果表明，从当前期（1970–2000 年）到未来近期（2021–2040 年）和未来中期（2041–2060 年），青藏高原地区不适宜青稞种植的面积在逐渐缩小，中、高适宜区的面积相应增大；未来近期和未来中期均是 RCP8.5 下的不适宜区面积比 RCP4.5 下的要小，中、高适宜的面积比 RCP4.5 下的要大。数据集内容包括：当前期、未来近期（RCP4.5、RCP8.5）、未来中期（RCP4.5、RCP8.5）青稞潜在适宜种植区空间分布数据，分辨率为 2.5′×2.5′。数据集由 20 个.tif 格式的文件组成，数据量为 6.27 MB（压缩为 1 个文件 2.88 MB）。该数据集支持了通讯作者理学博士学位论文的完成。

关键词：青稞；青藏高原；气候变化；潜在适宜区；MaxEnt 模型；理学博士学位论文

DOI: https://doi.org/10.3974/geodp.2026.04.05

CSTR: https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.04.05

数据可用性声明：

本文关联实体数据集已在《全球变化数据仓储电子杂志（中英文）》出版，可获取：https://doi.org/10.3974/geodb.2026.04.06.V1 或 https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2026.04.06.V1.

1 前言

政府间气候变化专门委员会（Intergovernmental Panel on Climate Change，IPCC）第七次评估报告大纲明确指出，全球气候风险评估已从单一物理变量转向对复杂、复合及级联风险的深度整合，特别强调在不同排放情景与“过冲路径”下，地球系统关键阈值与突变

收稿日期：2026-03-10；**修订日期：**2026-07-20；**出版日期：**2026-08-25

基金项目：中华人民共和国科学技术部(2019QZKK0606)

***通讯作者：**马伟东，青海师范大学地理科学学院，mwd0910@sina.com

数据引用方式：[1] 魏瑛，刘旋，马伟东等. 两种不同气候情景下青藏高原青稞种植潜在适宜区数据集研发[J]. 全球变化数据学报，2026，10(4)：433–441. https://doi.org/10.3974/geodp.2026.04.05. https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.14.2026.04.05.

[2] 魏瑛，刘旋，马伟东等. 两种不同气候情景下青藏高原青稞种植潜在适宜区数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志，2026. https://doi.org/10.3974/geodb.2026.04.06.V1. https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2026.04.06.V1.

（如临界点效应）对区域农业生产、粮食安全及生态系统稳定性可能产生的潜在不可逆影响[1–3]。全球气候变暖不仅仅是单一的环境问题，同时还会引发一系列系统性的社会问题，农业生产受此影响更甚。气候变化背景下自然灾害和极端天气、气候事件的增多，可能会使原本较为脆弱的农业生产危机加剧，未来有可能对国家粮食安全带来严重威胁[4]。

青藏高原作为全球平均海拔最高的高原，具有独特而复杂的气候，同时该地区的农业生产在垂直梯度上已经接近环境极限。因此，极端天气和气候导致的各类自然灾害对该地区的农业影响较其他地区更为突出。目前，高原地区土地资源十分有限且质量不高，使得粮食需求的增长和有限的供给能力之间的矛盾日益突出[5]。在如此苛刻的适生环境下，能在高原地区种植的粮食作物种类十分有限，而青稞由于其耐寒耐旱、生长期短且抗逆性强的特点，适宜在青藏高原种植[6,7]。在当前全球气候变化的背景下，青藏高原地区如何凭借有限的耕地资源，对农业生产进行科学管控与合理布局显得尤其重要。因此，本数据集预估当前及未来不同时期、不同情景下的青稞潜在适宜区，为高原地区合理开展青稞种植、掌握后备宜耕地资源分布提供数据参考。

本数据集依托当前青藏高原青稞种植面积数据，随机生成青稞样本点，基于 MaxEnt 模型和影响青稞种植的环境变量，对当前期、未来近期和未来中期的青稞种植潜在适宜区进行预估，以获得青稞种植适宜区格网尺度的空间分布数据[8]。

2 数据集元数据简介

《两种不同气候情景下青藏高原青稞种植潜在适宜区数据集》[9]的名称、作者、地理区域、数据年代、数据集组成、数据出版与共享服务平台、数据共享政策等信息见表 1。

3 数据研发方法

作者基于青藏高原目前青稞种植现状，建立全域范围内广泛覆盖的青稞样本点数据集，并识别影响青稞种植的核心生境变量，采用 MaxEnt 模型模拟各情景下的青稞种植潜在适宜区。为了保证青藏高原青稞潜在适宜区在空间上的连续性，避免预估结果出现大量破碎化斑块，本数据集并未剔除对于水体、冰川积雪、建设用地、裸地等无法种植农作物的土地利用与土地覆被类型，在后续对数据的实际应用过程中，可考虑根据区域实际现状剔除不适宜的地类。

3.1 技术路线

两种不同气候情景下青藏高原青稞种植潜在适宜区数据集研发步骤如下：（1）基于当前青藏高原青稞种植面积数据，通过 ArcGIS 软件的相关处理，生成 134,410 个样本点，再按照 IPCC 对于可能性的定义，分层进行青稞样本点的筛选，最终确定 3,066 个青稞样本点；（2）对于 42 个有可能对青稞种植潜在适宜区影响的生境变量，进行了 KL 散度计算、贡献率排序以及多重共线性的排除，最终筛选出 10 个 MaxEnt 模型中的生境变量；（3）构建 MaxEnt 模型，输入 3,066 个样本点，75%用于训练模型识别青稞适宜生长的环境，25%用于验证，通过比较 AUC 值，模型模拟当前期青稞潜在分布区并进行精度验证；（4）预估不同气候情景下青稞潜在适宜区的分布。具体流程见图 1 所示。

表 1　《两种不同气候情景下青藏高原青稞种植潜在适宜区数据集》元数据简表

条　目	描　述
数据集名称	两种不同气候情景下青藏高原青稞种植潜在适宜区数据集
数据集短名	P.SuitableArea_QZ_ Plateau
作者信息	魏　瑛, 青海师范大学, yingwei202509@163.com 刘　旋, 青海师范大学, 202547331003@stu.qhnu.edu.cn 马伟东, 青海师范大学, mwd0910@sina.com 刘峰贵, 青海师范大学, lfg_918@163.com 周　强, 青海师范大学, zhouqiang729@163.com 陈　琼, 青海师范大学, 2025055@qhnu.edu.cn
地理区域	青藏高原（约 25°N–40°N, 73°E–105°E）
数据年代	1970–2000；2021–2040；2041–2060
时间分辨率	2.5′ × 2.5′
数据格式	.tif
数据量	6.27 MB
数据集组成	青藏高原当前期青稞种植适宜区空间分布数据；青藏高原未来近期、未来中期 RCP4.5 情景、RCP8.5 情景下青稞种植潜在适宜区空间分布数据
基金项目	中华人民共和国科学技术部（2019QZKK0606）
数据计算环境	ArcGIS
出版与共享服务平台	全球变化科学研究数据出版系统 http://www.geodoi.ac.cn
地址	北京市朝阳区大屯路甲 11 号 100101，中国科学院地理科学与资源研究所
数据共享政策	（1）“数据”以最便利的方式通过互联网系统免费向全社会开放，用户免费浏览、免费下载；（2）最终用户使用“数据”需要按照引用格式在参考文献或适当的位置标注数据来源；（3）增值服务用户或以任何形式散发和传播（包括通过计算机服务器）“数据”的用户需要与《全球变化数据学报（中英文）》编辑部签署书面协议，获得许可；（4）摘取“数据”中的部分记录创作新数据的作者需要遵循 10%引用原则，即从本数据集中摘取的数据记录少于新数据集总记录量的 10%，同时需要对摘取的数据记录标注数据来源[10]
数据和论文检索系统	DOI，CSTR，Crossref，DCI，CSCD，CNKI，SciEngine，WDS，GEOSS，PubScholar，CKRSC，OARL

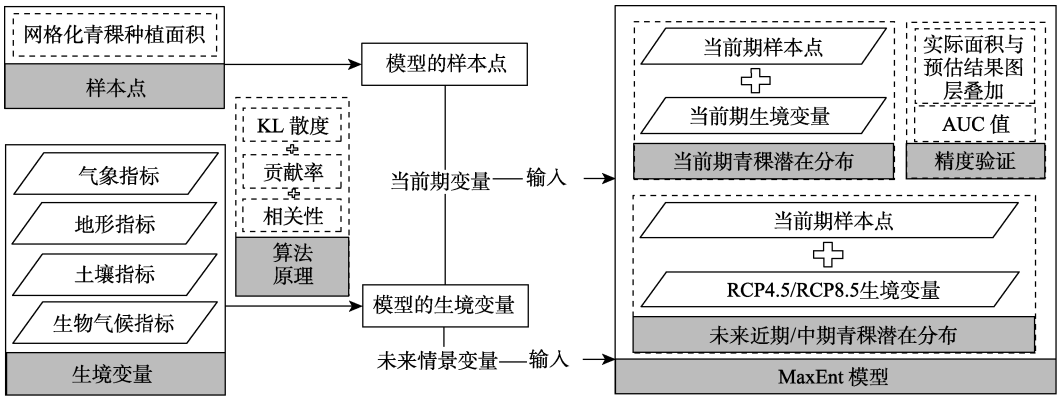


图 1　数据集研发技术路线图

3.2　数据来源

在充分考虑了影响青稞种植自然适宜性的各方面因素之后，选择如下数据开展工作：

（1）42 个有可能对青稞种植潜在适宜区影响的环境变量值包括气候指标、土壤指标、高程、坡度以及太阳辐射，其中高程数据（2010 年，空间分辨率为 30 m×30 m）来源于美国地质调查所[1]；土壤参数指标（2012 年，空间分辨率为 5′×5′）来源于世界土壤数据库（Harmonized World Soil Database）[2]；气象指标、生物气候变量数据来源于世界气候数据库（World Clim, Version 2.0）[3]，其中当前期的数据基准期为 1970–2000 年，未来近期和未来中期分别为 2021–2040 年和 2041–2060 年，数据集选择 RCP 4.5（温度上升 1.0–2.6 ℃，CO_2 浓度变化 650×10^{-6} L/L，降水增加 4.00%）和 RCP 8.5（温度上升 2.6–4.8 ℃，CO_2 浓度变化 $1{,}350\times10^{-6}$ L/L，降水增加 4.60%）两种代表浓度路径，空间分辨率为 2.5′×2.5′。

（2）青藏高原青稞种植面积数据（2019 年，空间分辨率为 15 m×15 m）的作用在于构建青稞种植样本点数据集，来源于团队前期研发的数据集[11]；

以上数据均按照张镱锂[12,13]等确定的青藏高原的范围进行掩膜提取，从而作为青稞种植潜在适宜区预估的范围。

3.3 算法原理

作物样本点的代表性和数据量，以及对作物有实质性的影响的生境变量，是使用 MaxEnt 模型预估青稞种植潜在适宜区时的关键问题。基于此，需进行青稞种植分布点以及影响青稞种植的环境变量的双重筛选。

3.3.1 青稞种植分布点的生成及筛选

青稞种植分布点数据库是基于 2019 年青藏高原青稞种植面积数据，在 ArcGIS 软件中对矢量图层进行“矢量-栅格图层转换”“栅格转点”等处理后建立，共得到 134,410 个点。按照 IPCC 对于可能性的定义，将网格中的青稞种植面积按不同面积划为 5 组，之后按照一定的比例在其各组中确定样本点选取的数量，最终确定进入模型中的青稞分布点的数量为 3,066 个，详细的筛选过程见数据集关联的文章中的相关描述[14]。

3.2.2 MaxEnt 模型生境变量的筛选

基于上述合理选取的样本点数量，对 42 个有可能影响青稞种植潜在适宜区的环境变量进行筛选，步骤包括：（1）KL 散度的计算，消除所有 KL 散度低于 1 的变量，并将剩余的变量保留至下一步筛选，经过计算后共筛选出 18 个变量；（2）贡献率评估，将剩余的 18 个生境变量输入 MaxEnt 模型中进行二次筛选，剔除贡献率不显著的因子；（3）因子的自相关分析，为避免输入模型的指标具有高度相关性而进行第三次筛选，保留了剩余的 10 个变量，如表 2 所示。

4 数据结果与验证

4.1 数据集组成

数据集内容包括：当前期、RCP4.5 未来近期、RCP8.5 未来近期、RCP4.5 未来中

[1] 美国地质调查所（United States Geological Survey）. https://topotools.cr.usgs.gov.

[2] 世界土壤数据库（International Soil Reference and Information Centre）. http://www.isric.org.

[3] 世界气候数据库（World Clim）. https://www.worldclim.org.

表 2　生境变量筛选后的 10 个最终变量

变量名称	变量含义	贡献率	变量名称	变量含义	贡献率
BIO1	年均温	50.50%	BIO4	温度季节性	1.70%
BIO12	年均降水	31.6%	BIO8	湿季均温	1.30%
BIO9	干季均温	5.40%	SDTO	砂砾百分比	1.00%
BIO5	暖季最高温	4.70%	ORGC	有机碳含量	1.00%
CECC	粘土部分的阳离子交换容量	2.50%	ECEC	有效阳离子交换量	0.30%

远期、RCP8.5 未来中远期青稞潜在适宜种植区。空间分辨率为 2.5′×2.5′。数据集存储为.tif 格式。

4.2　MaxEnt 模型模拟结果的精度评价

MaxEnt 模型整合作物现存分布数据与网格环境梯度指标，判断区域是否适合该作物种植。该模型以 0–1 为量化区间，衡量不同区域环境与目标作物生境需求的相似度，既能预测物种潜在分布范围，也可输出对应的分布概率估值。作者将 3,066 个青稞样本点按 75%和 25%的比例划分训练集与验证集，对应的 AUC 值为 0.888 和 0.885，表明模型精度较高，可用于青藏高原青稞潜在适宜种植区预测[14]。

4.3　当前期的预估结果与精度验证

4.3.1　当前期的预估结果

以适宜度 P 作为分区依据，将研究区域划分为 4 类：P∈[0%,1%)为不适宜区，P∈[1%,33%)为低适宜区，P∈[33%,66%)为中适宜区，P∈[66%,100%)为高适宜区。按照上述规则划分的青稞潜在种植适宜区空间分布见图 2。

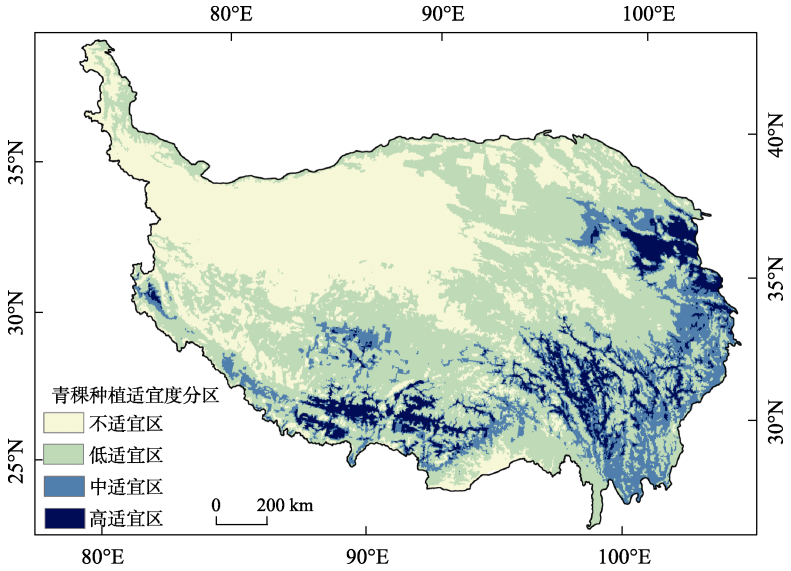


图 2　青藏高原当前期青稞种植潜在适宜区分布图
（参考审图号为 GS(2020)4630 号的标准地图制作）

4.3.2 当前期预估结果的精度验证

为验证青稞潜在种植适宜区的模拟结果，将实际种植面积数据作为检验样本，分别与模型输出的不适宜区、适宜区图层进行空间叠加，统计两类分区内实际种植面积及占比。当不适宜区内实际种植面积占比越接近 0%、适宜区内实际种植面积占比越接近 100%，说明模型预测结果精度越高。验证结果如表 3 所示。

表 3 青稞潜在适宜区当前期预估结果的精度验证

类别	面积	占比
适宜区中的青稞种植面积	27.37×10^4 hm^2	99.88%
不适宜区中的青稞种植面积	3.15 hm^2	0.12%

4.4 青藏高原未来近期青稞种植潜在适宜区分布

青藏高原未来近期的青稞种植潜在适宜区如图 3 所示，空间格局分布与当前期较为一致，不同情景下略有差异。从时间变化上来看，不适宜区面积在逐渐缩小，低、中、高适宜区的面积逐渐增大，适宜区紧密围绕高原东部的河谷地带及南部的雅鲁藏布江流域展开，原本处于气候边缘区的低适宜带向高海拔寒冷地区稳步推进，反映出气候暖湿化初期生境条件的改善。从不同情景来看，RCP8.5 下的不适宜区面积比 RCP4.5 下的要小，中、高适宜的面积比 RCP4.5 下的要大，这表明高浓度路径下的温室效应在短期内对提升高原农业热量资源具有更强的正向驱动作用。

4.5 青藏高原未来中期青稞种植潜在适宜区分布

青藏高原未来中期的青稞种植潜在适宜区如图 4 所示。到未来中期，青稞种植潜在适宜区的空间边界与适宜度等级均发生了显著位移。从时间变化上来看，从当前期到未来中期，适宜区种植边界跨越式突破，当前期大面积存在的不适宜区在未来中期剧烈萎缩，尤其是高原腹地、三江源东部地区和藏南谷地，青稞生境由“不适宜”向“低、中适宜”大规模转化；从未来近期到未来中期，青稞种植潜在适宜区结构更加趋向连片化。高适宜区核心范围由零散分布转变为以河谷地区为中心的规模化聚集，中适宜区的界线呈现出明显的向北、向高海拔延伸的趋势。

从长时间序列变化上来看，随着三个时期的演替，不适宜青稞种植的区域面积在收缩，相应地适宜青稞种植的区域面积在增大。在未来中期，两个情景对比来看，RCP4.5 情景下青稞种植中、高适宜区的面积小于 RCP8.5 情景，不适宜区面积比 RCP8.5 情景下的面积更大。同时 RCP8.5 情景下的未来中期是不适宜区占比最低、高适宜区占比最高的时期，体现了极端排放情景对高寒作物种植上限的深度重塑。从空间分布来看，青藏高原西北部以及柴达木盆地地区青稞种植适宜度减少或基本不变，而在高原的南部、中部和东部，青稞种植适宜度显著增加，且随着时间的变化增幅明显。

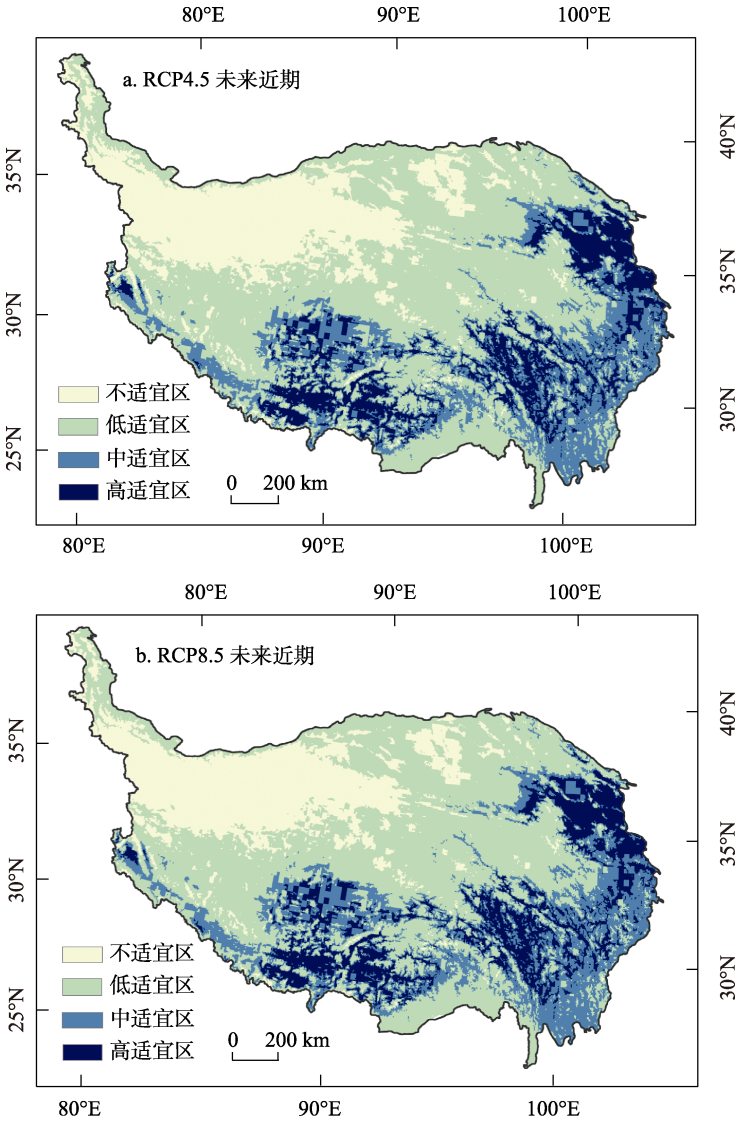


图 3　青藏高原未来近期青稞种植潜在适宜区分布图

（参考审图号为 GS(2020)4630 号的标准地图制作）

5　讨论和总结

本数据集基于当前青藏高原青稞种植面积数据，随机生成青稞样本点，基于 MaxEnt 模型和影响青稞种植的环境变量，对当前期、未来近期和未来中期的青稞种植潜在适宜区进行预估，同时将对当前期预估的结果与当前青藏高原青稞种植面积数据进行模拟结果的精度验证，以确保预测的未来两种情景下的青藏高原青稞种植潜在适宜区更加准确，获得青稞种植适宜区格网尺度的空间分布数据。数据集反映了未来时期青藏高原青稞种植潜在适宜区的总体格局随着时间的变化以及情景的不同，体现出气候暖湿化初期生境条件改善的同时，极端排放情景也影响着高寒作物的种植上限。

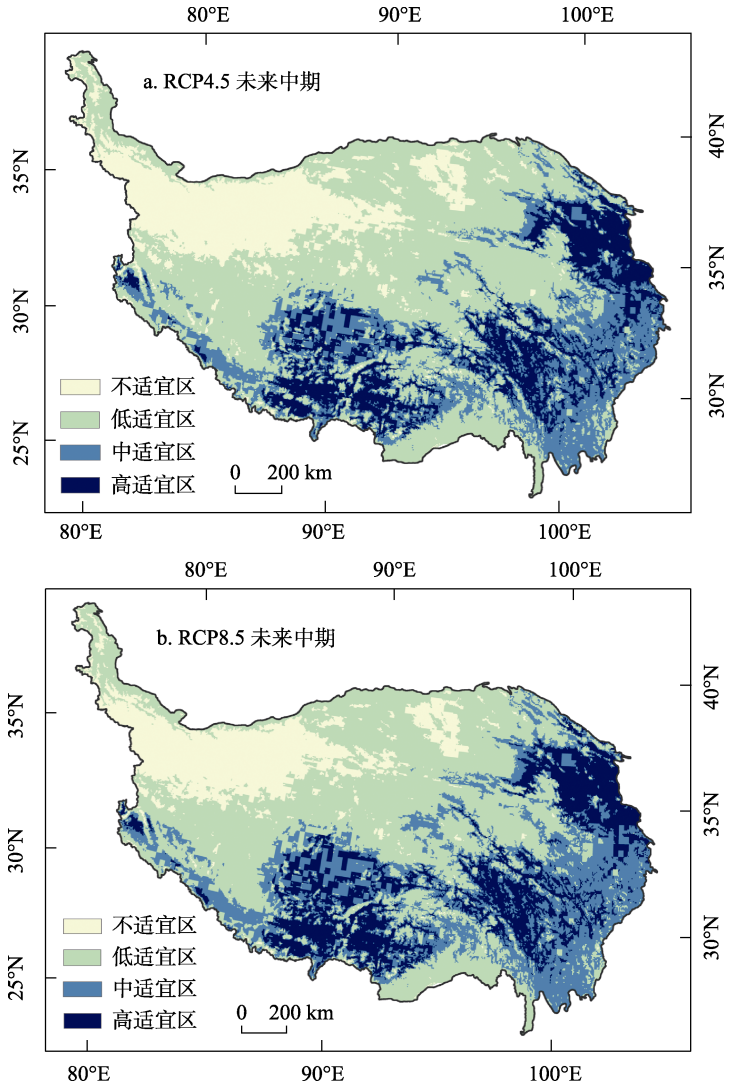


图 4 青藏高原未来中期青稞种植潜在适宜区分布图
（参考审图号为 GS(2020)4630 号的标准地图制作）

本数据集可用于分析不同未来情景下青稞种植适宜区的空间分布，既能为青稞种植布局优化、灾害暴露定量评估提供依据，也能为青藏高原特色农业发展、粮食安全保障及气候变化应对相关决策提供数据支撑。该数据集支持了通讯作者理学博士学位论文的完成。

作者分工：魏瑛和刘旋处理了数据并撰写了数据论文；刘峰贵、周强和陈琼依据模型设计了算法；马伟东对数据集的开发做了总体设计。魏瑛全程实施并验证数据。

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] 周天军, 陈晓龙, 张文霞等. IPCC 第七次评估报告第一工作组“气候变化科学基础”大纲解读及启示[J]. 气候变化研究进展, 2025, 21(4): 477–483.

[2] 丁杰, 曹左男, 胡国铮等. IPCC 第七次评估报告第二工作组气候变化影响、适应与脆弱性大纲解读及启示[J]. 气候变化研究进展, 2025, 21(4): 484–493.

[3] 谭显春, 程永龙, 闫洪硕等. IPCC 第七次评估报告第三工作组减缓气候变化概要解读及启示[J]. 气候变化研究进展, 2025, 21(4): 494–501.

[4] 张庆萍, 顾雪. 挑战与应对：气候变化与全球农业生产[J]. 生态经济, 2025, 41(4): 5–8.

[5] 潘开文, 何燕, 唐亚伟等. 青藏高原农田生态系统与粮食安全科学考察研究专题进展[J]. 应用与环境生物学报, 2022, 28(4): 813–821. DOI: 10.19675/j.cnki.1006-687x.2022.07032.

[6] 郝帅, 宋艳玲, 孙爽等. 气候变化对青藏高原青稞生产影响的研究综述[J]. 中国农业气象, 2023, 44(5): 398–409.

[7] 严应存, 豆青芳, 高贵生等. 青海高原青稞农艺性状变化特征及产量形成主要影响因素[J]. 气象科技进展, 2023, 13(4): 80–86.

[8] 马伟东, 苏鹏, 贾伟等. 气候变化背景下青藏高原青稞自然灾害暴露研究进展[J]. 灾害学, 2020, 35(4): 215–221.

[9] 魏瑛，刘旋，马伟东等. 两种不同气候情景下青藏高原青稞种植潜在适宜区数据集[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志，2026.https://doi.org/10.3974/geodb.2026.04.06.V1. https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2026.04.06.V1.

[10] 全球变化科学研究数据出版系统. 全球变化科学研究数据共享政策[OL]. https://doi.org/10.3974/dp.policy.2014.05 (2017 年更新).

[11] 马伟东, 贾伟, 冯星云等. 2019 年青藏高原地区青稞种植面积空间分布数据集[J/OL]. 中国科学数据, 2023, 8(1). (2023-03-09). DOI: 10.11922/11-6035.csd.2022.0092.zh.

[12] 张镱锂, 李炳元, 郑度. 青藏高原范围与界线地理信息系统数据[J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志，2014. https://doi.org/10.3974/geodb.2014.01.12.V1. https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.01.12.V1.

[13] 张镱锂, 李炳元, 郑度. 《论青藏高原范围与面积》一文数据的发表青藏高原范围界线与面积地理信息系统数据[J]. 地理学报. 2014, 69(增刊): 65–68.

[14] 马伟东. 气候变化对青藏高原青稞种植的影响评估[D]. 西宁: 青海师范大学, 2022. DOI: 10.27778/d.cnki.gqhzy.2022.000690.