

# 蒙古北部4个苏木草地及畜牧业发展模拟 预测数据集（2022–2050）研发

徐增让<sup>1\*</sup>, 王卷乐<sup>1</sup>, 张彪<sup>2</sup>, Davaasuren Davaadorj<sup>3</sup>, 鲜运峰<sup>1</sup>

1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 包头师范学院, 包头 014030; 3. 蒙古国立大学, 乌兰巴托 210646, 蒙古

**摘要:** 在气候变化和牲畜数量快速增长的影响下, 蒙古国北部色楞格河流域草地退化明显, 可持续发展成为突出的区域性问题。作者基于 2015–2022 年社会经济统计数据、土地覆被数据及净初级生产力 (NPP) 数据, 结合 CMIP6 SSP-RCPs 未来社会经济-气候情景下的土地覆被和 NPP 数据, 利用 Vensim DSS 构建了蒙古北部位于色楞格河流域的 4 个苏木行政区草地-畜牧业系统动力学模型, 预估了 SSP1-RCP2.6、SSP2-RCP4.5、SSP5-RCP8.5 三种社会经济-气候情景下畜牧业动态, 得到蒙古北部 4 个苏木草地及畜牧业发展模拟预测数据集 (2022–2050)。该数据集内容包括 Tumurbulag、Khutag-Undur、Zuunburen、Orkhon 4 个苏木行政区的以下数据: (1) 区域范围数据; (2) 3 种社会经济-气候情景下预测的产草量、承载力、牲畜存栏量和牲畜出栏量数据。数据集存储为 .shp 和 .xlsx 格式, 由 9 个数据文件组成, 数据量为 142 KB (压缩为 1 个文件, 113 KB)。

**关键词:** 产草量; 承载力; 牲畜存栏量; 牲畜出栏量; 蒙古

**DOI:** <https://doi.org/10.3974/geodp.2025.01.03>

**CSTR:** <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.14.2025.01.03>

**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.2024.10.03.V1> 或 <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2024.10.03.V1>。

## 1 前言

蒙古高原位于欧亚温带草原的东缘, 属温带干旱和半干旱生态脆弱区<sup>[1]</sup>。由于过度放牧和气候变化, 2001–2020 年蒙古高原高生态风险区的面积增加了约 30%<sup>[2]</sup>, 生态退化<sup>[3]</sup>和沙尘暴威胁着蒙古国及东亚生态安全和可持续发展<sup>[4]</sup>。畜牧业是蒙古国的传统支柱产业<sup>[5]</sup>, 其牲畜数量从 2015 年的 5,598 万头迅速增加到 2022 年的 7,112 万头<sup>[6]</sup>。蒙古西南部荒漠草

收稿日期: 2024-10-15; 修订日期: 2025-01-23; 出版日期: 2025-03-25

基金项目: 国家自然科学基金 (32161143025, 42371283); 中华人民共和国科学技术部 (2022YFE0119200, 2019QZKK0603)

\*通讯作者: 徐增让, 中国科学院地理科学与资源研究所, xuzr@igsnr.ac.cn

数据引用方式: [1] 徐增让, 王卷乐, 张彪等. 蒙古北部 4 个苏木草地及畜牧业发展模拟预测数据集 (2022–2050) 研发 [J]. 全球变化数据学报, 2025, 9(1): 20–29. <https://doi.org/10.3974/geodp.2025.01.03>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.14.2025.01.03>.

[2] 徐增让, 王卷乐, 张彪等. 蒙古北部 4 个苏木草地及畜牧业发展模拟预测数据集 (2022–2050) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.10.03.V1>. <https://cstr.science.org.cn/CSTR:20146.11.2024.10.03.V1>.

原、中北部温带草原都出现了草原超载现象<sup>[7]</sup>。

蒙古北部的色楞格河流域（Selenga River Basin, SRB）是世界上最大淡水湖——贝加尔湖的上游。该流域的主要景观为温带草原和森林，分别占流域总面积的 66%和 29%<sup>[8]</sup>，是蒙古的主要牧区，提供了该国 60%以上的畜牧产品。然而，近 30 年来极端气候事件增多，过度放牧和人口增长加剧了荒漠化，威胁着区域生态安全和可持续发展<sup>[9]</sup>。本文在色楞格河流域选取了 4 个典型苏木，包括上游的 Tumurbulag、中游的 Khutag-Undur、下游干流的 Zuunburen、下游支流的 Orkhon（图 1），集成社会经济统计数据、空间数据和野外调查数据，在 Vensim DSS 中对未来 30 年 4 个苏木的畜牧业发展情景做了预估，为畜牧业与生态保护协调发展提供数据支撑。

## 2 数据集元数据简介

《蒙古北部 4 个苏木草地及畜牧业发展模拟预测数据集（2022–2050）》<sup>[10]</sup>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。

表 1 《蒙古北部 4 个苏木草地及畜牧业发展模拟预测数据集（2022–2050）》元数据简表

| 条目        | 描述  |
|-----------|---|
| 数据集名称     | 蒙古北部 4 个苏木草地及畜牧业发展模拟预测数据集（2022–2050）  |
| 数据集短名     | LivestockSoumsMongolia2022–2050   |
| 作者信息      | 徐增让，中国科学院地理科学与资源研究所，xuzr@igsnr.ac.cn<br>王卷乐，中国科学院地理科学与资源研究所，wangjl@igsnr.ac.cn<br>张彪，包头师范学院，zhangb8010@126.com<br>Davaadorj, D., 蒙古国立大学，davaadorjd@gmail.com<br>鲜运峰，中国科学院地理科学与资源研究所，a326376678@outlook.com  |
| 地理区域      | 蒙古国北部 4 个苏木（Tumurbulag、Khutag-Undur、Zuunburen、Orkhon）   |
| 数据年代      | 2022–2050   |
| 时间分辨率     | 年   |
| 数据格式      | .shp、.xlsx  |
| 数据量       | 142 KB  |
| 数据集组成     | 蒙古国北部 4 个苏木 2022–2050 年产草量、承载力、牲畜存栏量、牲畜出栏量数据  |
| 基金项目      | 国家自然科学基金（32161143025，42371283）；中华人民共和国科学技术部（2022YFE0119200，2019QZKK0603）  |
| 数据计算环境    | Vensim DSS version10.2.2  |
| 出版与共享服务平台 | 全球变化科学研究数据出版系统 <a href="http://www.geodoi.ac.cn">http://www.geodoi.ac.cn</a>  |
| 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 <sup>[11]</sup> |
| 数据和论文检索系统 | DOI, CSTR, Crossref, DCI, CSCD, CNKI, SciEngine, WDS, GEOSS, PubScholar, CKRSC  |

### 3 数据集研发方法

#### 3.1 数据来源

作者收集蒙古北部色楞格河流域 Tumurbulag、Khutag-Undur、Zuunburen、Orkhon 4 个典型苏木（图 1）2015 年以来牲畜存栏量、年新增幼畜、牧户数、户均收支、饲草价格等统计数据<sup>[6]</sup>，2015–2022 土地覆被数据来自 MCD12Q1<sup>[12]</sup>，土地覆被<sup>[13]</sup>、NPP 未来情景数据<sup>[14–16]</sup>来自 CMIP6 SSP-RCPs 数据，根茎比（ANPP/NPP）、可食牧草比例、补饲率来自 2023–2024 年野外调查。在 Vensim DSS 中模拟系统动态过程，预估未来 30 年畜牧业发展情景。

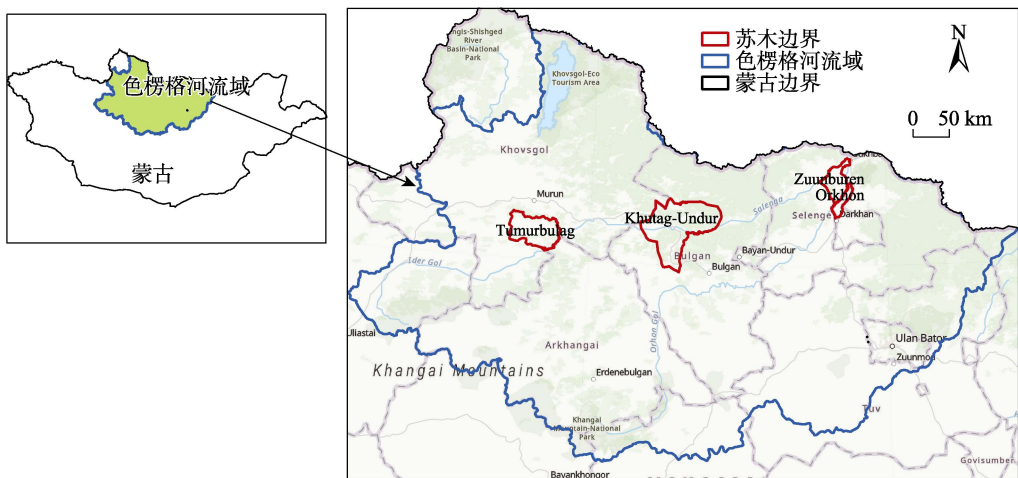


图 1 蒙古北部 4 个苏木位置图

#### 3.2 技术路线

一个有韧性的草地畜牧业系统由 3 个子系统组成：草地初级生产、牲畜次级生产和牧民生计。初级生产子系统包括草地面积、饲料产量和承载力等变量。次级生产子系统包括牲畜数量、新增幼畜数量和牲畜出栏量。牧民生计子系统包括牧户数量、收入、支出和补饲量<sup>[17]</sup>。分析各变量之间的因果关系，在 Vensim DSS 中构建变量流程图及变量方程式（图 2）。采用上述多元数据驱动模型，模拟草地畜牧业系统的动态过程。利用现状数据验证模型预估精度。主要变量方程如下：

$$\text{产草量} = \text{NPP} \times \text{ANPP/NPP} \times \text{可食牧草比例} \times \text{可利用草地面积} \quad (1)$$

$$\text{承载力} = \text{天然草地承载力} + \text{补饲承载力} = (\text{产草量} + \text{补饲量}) / \text{羊单位食量} \quad (2)$$

$$\text{牲畜存栏量} = \text{INTEG}(\text{年新增幼畜} - \text{出栏量}, \text{年初值}) \quad (3)$$

$$\text{出栏量} = \text{牲畜存栏量} - \text{承载力} \quad (4)$$

式中，各变量单位为：可利用草地面积， $\text{hm}^2$ ；产草量、补饲量，t；承载力，羊单位（sheep unit, SU）；牲畜存栏量、年新生牲畜量、出栏量，SU；羊单位食量， $\text{t/SU}$ 。

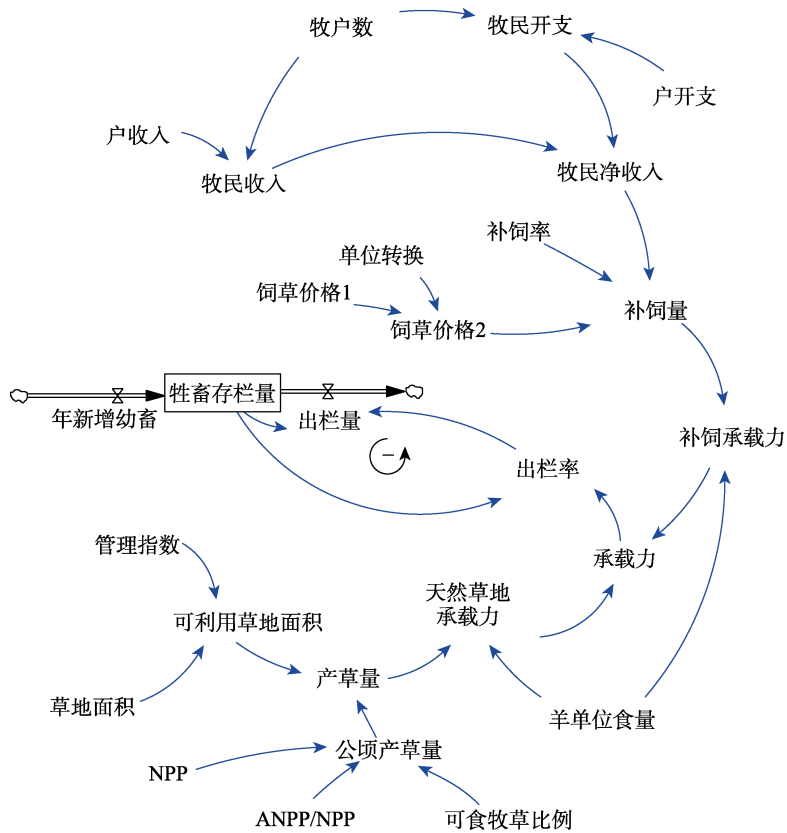


图 2 草地畜牧业系统动力学因果流图

## 4 数据结果与验证

### 4.1 数据集组成

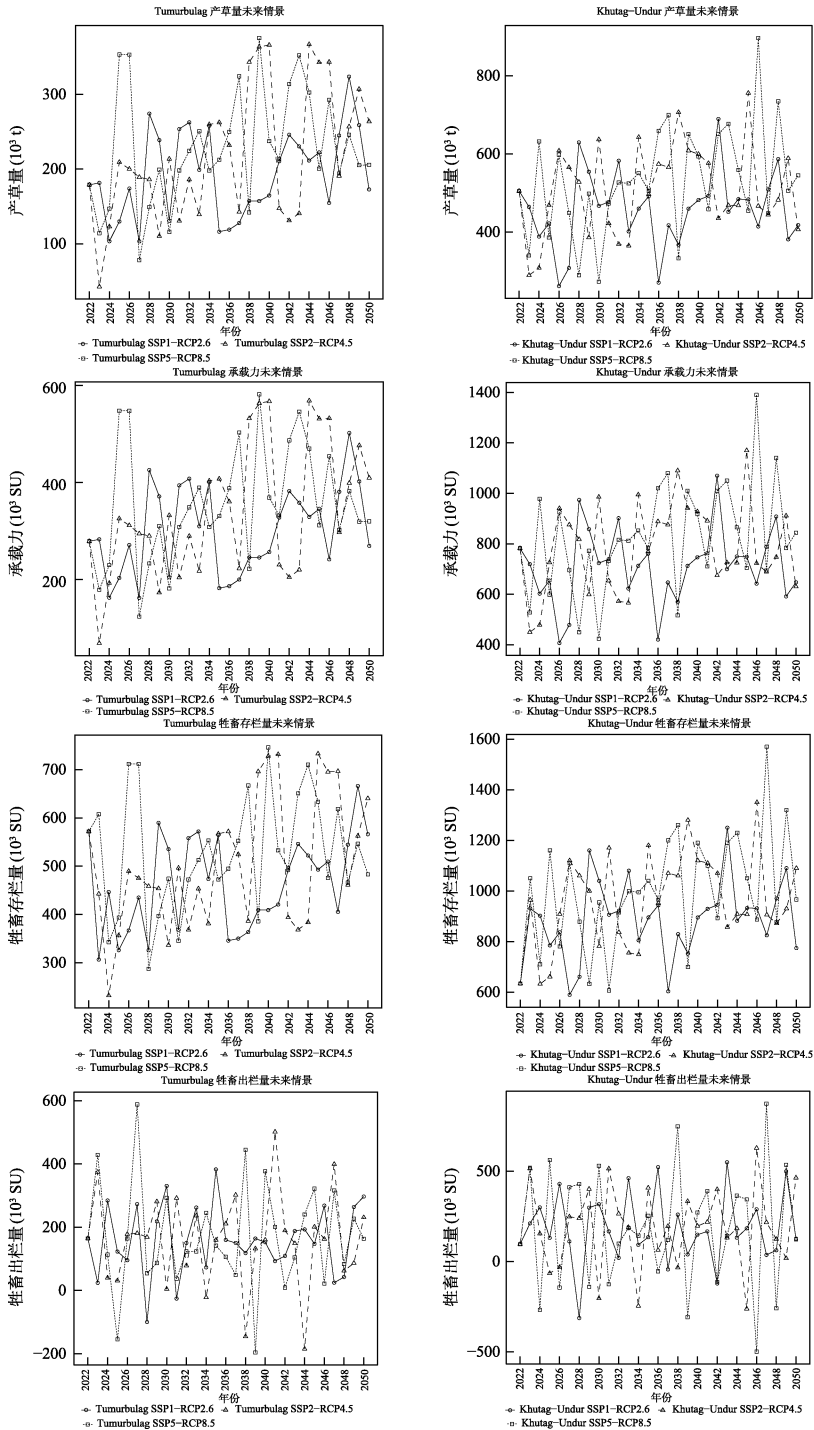
《蒙古北部 4 个苏木草地及畜牧业发展模拟预测数据集（2022–2050）》包含 4 个数据指标，分别为 Tumurbulag、Khutag-Undur、Zuunburen 和 Orkhon 2022–2050 年产草量、承载力、牲畜存栏量和牲畜出栏量。

### 4.2 数据结果

#### 4.2.1 草地产草量

IPCC 耦合模型比较计划（CMIP6）综合考虑了未来社会经济路径（SSP）<sup>[18]</sup>和温室气体排放路径（RCP）<sup>[19]</sup>，提出了多种未来社会经济-气候耦合情景（SSP-RCPs）<sup>[18]</sup>。其中 SSP1-RCP2.6（SSP126）、SSP2-RCP4.5（SSP245）、SSP5-RCP8.5（SSP585）分别指可持续发展、中间路线和经济发展优先情景<sup>[20]</sup>。2022–2050 年间不同情景下 Tumurbulag、Khutag-Undur、Zuunburen 和 Orkhon 的草地产草量年际间波动较大（图 3）。在 SSP5-RCP8.5 社会经济气候情景下产草量波动最大。SSP1-RCP2.6、SSP2-RCP4.5 情景下产草量年际间波动性相对较小，系统稳定性较高（图 3，表 2），是较为适宜的发展情景。未来 30 年 Tumurbulag、Khutag-Undur 在 SSP1-RCP2.6 情景下年均产草量分别为 190,260±61,785 t、458,577±95,749

t, Zuunburen 和 Orkhon 在 SSP2-RCP4.5 情景下年均产草量分别为 93,400±27,899 t、37,578±11,173 t。在 SSP1-RCP2.6 或 SSP2-RCP4.5 情景下, 各苏木产草量均呈现增长趋势, 但增长率从上游到下游衰减。Tumurbulag、Khutag-Undur、Zuunburen 和 Orkhon 年均产草量增加 2,420、1,560、570 和 200 t。



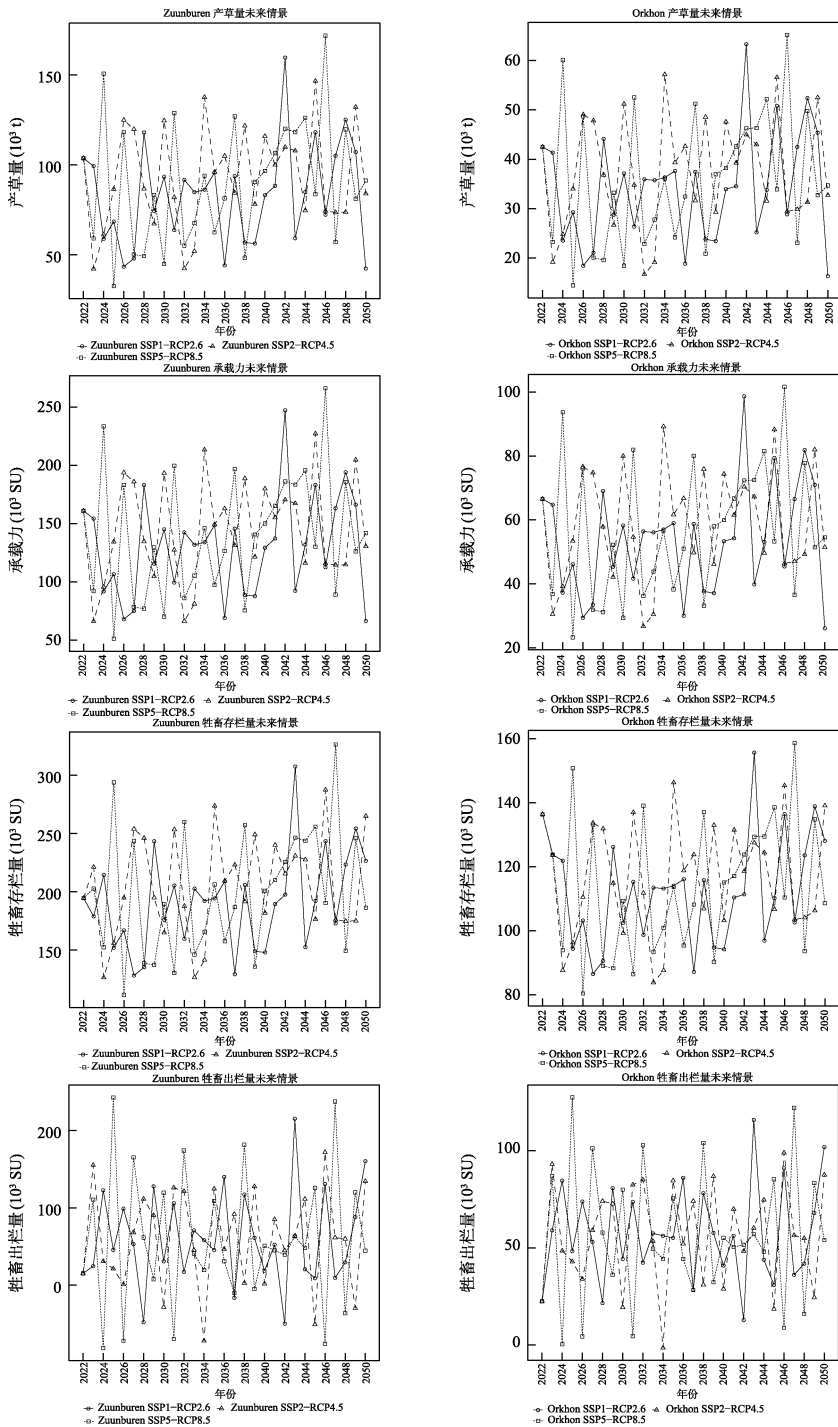


图 3 2022–2050 年 4 个苏木产草量、承载力、牲畜存栏量及出栏量预测系列图

### 4.2.2 牲畜存栏量

在不同情景下 2022–2050 年间牲畜存栏量在波动中增加(图 3)。未来 30 年 Tumurbulag、Khutag-Undur 在 SSP1-RCP2.6 情景下年均牲畜存栏量分别为 464,989±97,400 羊单位 (SU)、

886,259±155,052 SU, Zuunburen 和 Orkhon 在 SSP2-RCP4.5 情景下年均存栏量分别为 205,509±43,018 SU、117,018±17,589 SU (表 2)。在未来适宜发展情景下, Tumurbulag、Khutag-Undur、Zuunburen 和 Orkho 年均牲畜存栏量将分别增加 4,100、4,900、1,060 和 220 SU。

#### 4.2.3 牲畜出栏量

在不同情景下 2022–2050 年间牲畜出栏量年际间波动性大 (图 3)。未来 30 年 Tumurbulag、Khutag-Undur 在 SSP1-RCP2.6 情景下年均牲畜出栏量分别为 169,373±122,082 SU、191,782±195,890 SU, Zuunburen 和 Orkhon 在 SSP2-RCP4.5 情景下年均出栏量分别为 59,738±63,366 SU、56,427±26,318 SU (表 2)。

#### 4.2.4 草地承载力

考虑天然草地产草量和补饲量, 2022–2050 年间草地承载力在波动中略增加 (图 3)。未来 30 年 Tumurbulag、Khutag-Undur 在 SSP1-RCP2.6 情景下年均承载力为 296,133±95,348 SU、710,306±147,760 SU, Zuunburen 和 Orkhon 在 SSP2-RCP4.5 情景下承载力分别为 145,127±43,057 SU、58,953±17,243 SU。在未来适宜发展情景下, Tumurbulag、Khutag-Undur、Zuunburen 和 Orkho 年均承载力将分别增加 1,820、2,650、110 和 10 SU (表 2)。未来承载力稳中有增, 主要与该仿真系统是一个基于草畜平衡的动态自调节系统有关。另外, 未来气候变化与初级生产力变化及补饲能力提高也对承载力产生重要影响。

表 2 2022–2050 年蒙古北部 4 个苏木畜牧业系统生产力、稳定性和可持续性

| 变量                | 情景     | Tumurbulag |         |          |           |            | Khutag-Undur |         |          |           |            |
|-------------------|--------|------------|---------|----------|-----------|------------|--------------|---------|----------|-----------|------------|
|                   |        | 均值         | 标准差     | 均值得分(MV) | 标准差得分(SV) | 可持续性得分(TV) | 均值           | 标准差     | 均值得分(MV) | 标准差得分(SV) | 可持续性得分(TV) |
| 产草量<br>(t)        | SSP126 | 190,260    | 61,785  | -1       | 1         | 0          | 458,577      | 95,749  | -1       | 1         | 0          |
|                   | SSP245 | 219,591    | 89,172  | 0        | -1        | -1         | 508,202      | 113,803 | 0        | 0         | 0          |
|                   | SSP585 | 232,255    | 78,684  | 1        | 0         | 1          | 533,437      | 139,112 | 1        | -1        | 0          |
| 承载力<br>(SU)       | SSP126 | 296,133    | 95,348  | -1       | 1         | 0          | 710,306      | 147,760 | -1       | 1         | 0          |
|                   | SSP245 | 341,398    | 137,610 | 0        | -1        | -1         | 786,889      | 175,621 | 0        | 0         | 0          |
|                   | SSP585 | 360,941    | 121,426 | 1        | 0         | 1          | 825,832      | 214,680 | 1        | -1        | 0          |
| 牲畜<br>存栏量<br>(SU) | SSP126 | 464,989    | 97,400  | -1       | 1         | 0          | 886,259      | 155,052 | -1       | 1         | 0          |
| 牲畜<br>出栏量<br>(SU) | SSP245 | 505,415    | 137,582 | 0        | -1        | -1         | 963,438      | 184,251 | 0        | 0         | 0          |
|                   | SSP585 | 528,047    | 121,461 | 1        | 0         | 1          | 995,015      | 225,605 | 1        | -1        | 0          |
| 牲畜<br>出栏率         | SSP126 | 169,373    | 122,082 | 1        | 1         | 2          | 191,782      | 195,890 | 1        | 1         | 2          |
|                   | SSP245 | 159,574    | 147,885 | -1       | 0         | -1         | 184,978      | 225,530 | -1       | 0         | -1         |
| 牲畜<br>出栏率         | SSP585 | 165,001    | 169,971 | 0        | -1        | -1         | 189,844      | 334,522 | 0        | -1        | -1         |
|                   | SSP126 | 0.343,1    | 0.233,7 | 1        | 1         | 2          | 0.194,0      | 0.208,5 | 1        | 1         | 2          |
| 可持续<br>性得分        | SSP245 | 0.295,5    | 0.288,1 | 0        | -1        | -1         | 0.170,6      | 0.221,5 | 0        | 0         | 0          |
|                   | SSP585 | 0.278,5    | 0.286,3 | -1       | 0         | -1         | 0.138,5      | 0.324,6 | -1       | -1        | -2         |
|                   | SSP126 |            |         | -1       | 5         | 4          |              |         | -1       | 5         | 4          |
|                   | SSP245 |            |         | -1       | -4        | -5         |              |         | -1       | 0         | -1         |
|                   | SSP585 |            |         | 2        | -1        | 1          |              |         | 2        | -5        | -3         |

续表 2

| 变量                | 情景      | Zuunburen |         |          |           |            | Orkhon  |         |          |           |            |
|-------------------|---------|-----------|---------|----------|-----------|------------|---------|---------|----------|-----------|------------|
|                   |         | 均值        | 标准差     | 均值得分(MV) | 标准差得分(SV) | 可持续性得分(TV) | 均值      | 标准差     | 均值得分(MV) | 标准差得分(SV) | 可持续性得分(TV) |
| 产草量<br>(t)        | SSP126  | 82,712    | 27,552  | -1       | 1         | 0          | 34,090  | 11,097  | -1       | 1         | 0          |
|                   | SSP245  | 93,400    | 27,899  | 1        | 0         | 1          | 37,578  | 11,173  | 1        | 0         | 1          |
|                   | SSP585  | 89,911    | 34,513  | 0        | -1        | -1         | 36,210  | 13,532  | 0        | -1        | -1         |
| 承载力<br>(SU)       | SSP126  | 128,638   | 42,528  | -1       | 1         | 0          | 53,570  | 17,124  | -1       | 1         | 0          |
|                   | SSP245  | 145,127   | 43,057  | 1        | 0         | 1          | 58,953  | 17,243  | 1        | 0         | 1          |
|                   | SSP585  | 139,732   | 53,253  | 0        | -1        | -1         | 56,843  | 20,883  | 0        | -1        | -1         |
| 牲畜<br>存栏量<br>(SU) | SSP126  | 191,230   | 40,808  | -1       | 1         | 0          | 112,505 | 16,925  | -1       | 1         | 0          |
| SSP245            | 205,509 | 43,018    | 1       | 0        | 1         | 117,018    | 17,589  | 1       | 0        | 1         |            |
|                   | SSP585  | 199,733   | 53,265  | 0        | -1        | -1         | 114,804 | 21,286  | 0        | -1        | -1         |
| 牲畜<br>出栏量<br>(SU) | SSP126  | 64,681    | 62,781  | 1        | 1         | 2          | 58,394  | 24,053  | 1        | 1         | 2          |
| SSP245            | 59,738  | 63,366    | -1      | 0        | -1        | 56,427     | 26,318  | -1      | 0        | -1        |            |
|                   | SSP585  | 62,308    | 88,827  | 0        | -1        | -1         | 57,407  | 34,821  | 0        | -1        | -1         |
| 牲畜<br>出栏率         | SSP126  | 0.301,3   | 0.276,4 | 1        | 1         | 2          | 0.511,9 | 0.166,1 | 1        | 1         | 2          |
| SSP245            | 0.257,6 | 0.290,5   | 0       | 0        | 0         | 0.474,3    | 0.191,1 | 0       | 0        | 0         |            |
|                   | SSP585  | 0.232,2   | 0.403,1 | -1       | -1        | -2         | 0.474,2 | 0.238,8 | -1       | -1        | -2         |
| 可持续<br>性得分        | SSP126  |           |         | -1       | 5         | 4          |         |         | -1       | 5         | 4          |
| SSP245            |         |           |         | 2        | 0         | 2          |         |         | 2        | 0         | 2          |
|                   | SSP585  |           |         | -1       | -5        | -6         |         |         | -1       | -5        | -6         |

表 3 畜牧业系统未来情景与现状的比较

| 苏木           | 时期        | 产草量<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 承载力(SU) | 牲畜存栏<br>量(SU) | 承载力率 | 牲畜出栏<br>量(SU) | 牲畜<br>出栏率 |
|--------------|-----------|------------------------------|---------|---------------|------|---------------|-----------|
| Tumurbulag   | 2015–2022 | 880                          | 339,773 | 495,822       | 1.46 | 155,993       | 0.31      |
|              | 2022–2050 | 764                          | 300,824 | 464,989       | 1.55 | 169,373       | 0.36      |
| Khutag-Undur | 2015–2022 | 935                          | 768,670 | 560,087       | 0.73 | 110,293       | 0.20      |
|              | 2022–2050 | 868                          | 710,306 | 886,259       | 1.25 | 191,782       | 0.22      |
| Zuunburen    | 2015–2022 | 868                          | 155,231 | 166,225       | 1.07 | 37,288        | 0.22      |
|              | 2022–2050 | 800                          | 145,127 | 205,509       | 1.42 | 59,738        | 0.29      |
| Orkhon       | 2015–2022 | 920                          | 63,494  | 117,215       | 1.85 | 36,134        | 0.31      |
|              | 2022–2050 | 832                          | 58,953  | 117,018       | 1.98 | 56,427        | 0.48      |

### 4.3 数据验证

以牲畜存栏量为验证指标，将 2015–2022 年模型预估数据与现状统计数据进行对比分析（表 3），发现预估趋势与现状趋势较为吻合（图 4）。预估牲畜数量与现状牲畜数量的 Pearson 相关系数在 0.11–0.62。除 Khutag-Undur 外，多数苏木牲畜数量预估值与现状值无显著差异（ $\alpha=0.05$ ）（表 4），在中长期时间尺度上，预估精度可以接受。

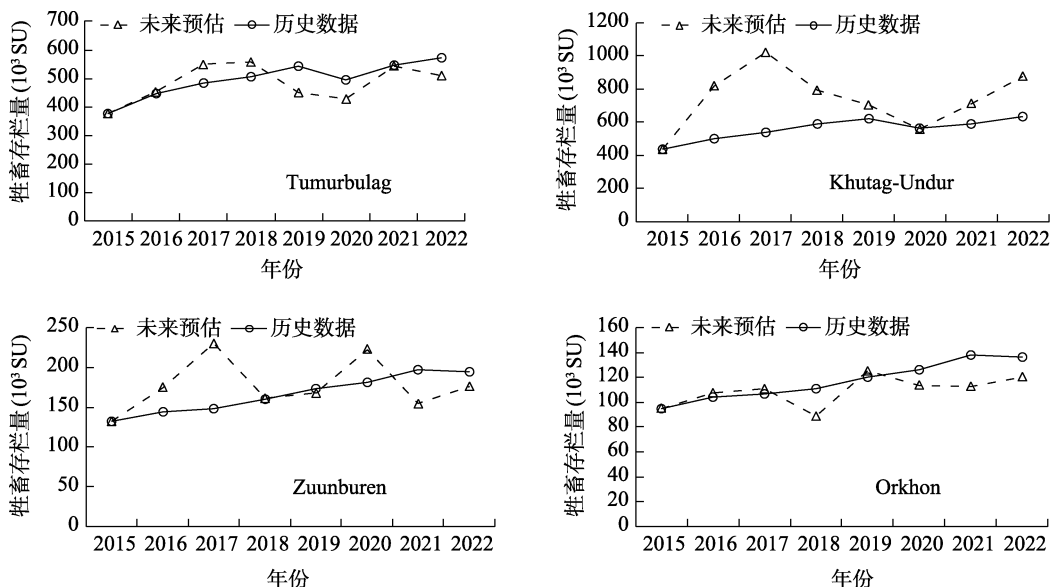


图4 2015–2022年畜牧业系统变量模型预估与统计值的比较图(牲畜存栏量)

表4 2015–2022 牲畜数量模型预估与现状值差异性 t 检验表

|               | Tumurbulag | Khutag-Undur | Zuunburen | Orkhon  |
|---------------|------------|--------------|-----------|---------|
| (预估值-现状值)/现状值 | -2.3%      | 32.2%        | 6.7%      | -6.9%   |
| Pearson 相关系数  | 0.615,8    | 0.419,0      | 0.105,1   | 0.621,6 |
| P(T<=t)双尾     | 0.578,8    | 0.018,5      | 0.442,1   | 0.111,5 |

## 5 讨论和总结

2022–2050年蒙古北部4个苏木草地畜牧业系统动态情景数据,展示了SSP1-RCP2.6可持续发展情景、SSP2-RCP4.5中间路径情景,SSP5-RCP8.5经济发展优先情景下各苏木的产草量、承载力、牲畜存栏量和牲畜出栏量未来路径。与现状时段(2015–2022年)相比,未来适宜情景下,色楞格河流域Tumurbulag、Khutag-Undur、Zuunburen和Orkhon草地产草量将分别下降13.2%、7.2%、7.8%和9.6%,承载力将分别下降11.5%、7.4%、6.5%和7.2%。但流域牲畜存栏量将增加1/4,导致各地载畜率都不同程度的增加,草地压力进一步增大,威胁着草地生态系统安全。

本研究集成统计数据、空间数据、野外调查数据,基于2015–2022年蒙古典型苏木的草地、牲畜及牧民生计等现状数据,运用系统动力学方法,对接自然生态子系统与社会经济子系统,贯通历史、现状与未来,构建了畜牧业系统动态模型,预估2022–2050年畜牧业系统关键变量的未来情景,可为畜牧业与环境协同管理提供可靠的方法论和数据支持。

**作者分工:** 王卷乐对数据集的开发做了总体设计;徐增让设计了模型和算法;Davaasuren Davaadorj采集了野外调查数据;张彪做了数据验证;鲜运峰撰写了数据论文。

**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] Joly, F., Sabatier, R., Hubert, B. Modelling interacting plant and livestock renewal dynamics helps disentangle equilibrium and nonequilibrium aspects in a Mongolian pastoral system [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 625: 1390–1404.
- [2] Guo, J. P., Shen, B. B., Li, H. X., *et al.* Past dynamics and future prediction of the impacts of land use cover change and climate change on landscape ecological risk across the Mongolian Plateau [J]. *Journal of Environmental Management*, 2024, 355: 120365.
- [3] Zhang, Y. Z., Wang, Q., Wang, Z. Q., *et al.* Impact of human activities and climate change on the grassland dynamics under different regime policies in the Mongolian Plateau [J]. *Science of the Total Environment*, 2020, 698: 134304.
- [4] Cai, Q. Y., Chen, W., Chen, S. F., *et al.* Recent pronounced warming on the Mongolian Plateau boosted by internal climate variability [J]. *Nature Geoscience*, 2024, 17(3): 1–8.
- [5] 唐海萍, 陈姣, 房飞. 世界各国草地资源管理体制及其对我国的启示[J]. 国土资源情报, 2014, 10: 9–17.
- [6] National Statistics Office of Mongolia. Mongolian Statistical Information Service [M]. Ulaanbaatar, 2024.
- [7] Mclaughlin, K. Exploding demand for cashmere wool is ruining Mongolia’s grasslands [J]. *Science*, 2019. <https://www.science.org/content/article/exploding-demand-cashmere-wool-ruining-mongolia-s-grasslands>.
- [8] Wang, J. L., Wei, H. S., Cheng, K., *et al.* Updatable dataset revealing decade changes in land cover types in Mongolia [J]. *Geoscience Data Journal*, 2022, 9(2): 341–354.
- [9] Xu, S. X., Wang, J. L., Altansukh, O., *et al.* Spatial-temporal pattern of desertification in the Selenge River Basin of Mongolia from 1990 to 2020 [J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2023(11): 1125583.
- [10] 徐增让, 王卷乐, 张彪等. 蒙古北部 4 个苏木草地及畜牧业发展模拟预测数据集(2022–2050) [J/DB/OL]. 全球变化数据仓储电子杂志, 2024. <https://doi.org/10.3974/geodb.2024.10.03.V1>. <https://cstr.escience.org.cn/CSTR:20146.11.2024.10.03.V1>.
- [11] 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).
- [12] Friedl, M., Sulla Menashe, D. MCD12Q1 MODIS/Terra+Aqua Land Cover Type Yearly L3 Global 500 m SIN Grid V006 [M]. Washington: NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center, 2019.
- [13] Hou, H. Y., Zhou, B. B., Pei, F. S., *et al.* Future land use/land cover change has nontrivial and potentially dominant impact on global gross primary productivity [J]. *Earth’s Future*, 2022, 10(9): e2021EF002628.
- [14] Xin, X. G., Wu, T. W., Shi, X. L., *et al.* BCC BCC-CSM2MR model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp245 [DB/OL]. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ, 2019. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.3030>.
- [15] Xin, X. G., Wu, T. W., Shi, X. L., *et al.* BCC BCC-CSM2MR model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp585 [DB/OL]. Earth System Grid Federation, 2019. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.3050>.
- [16] Xin, X. G., Wu, T. W., Shi, X. L., *et al.* BCC BCC-CSM2MR model output prepared for CMIP6 ScenarioMIP ssp126 [DB/OL]. Earth System Grid Federation, 2019. <https://doi.org/10.22033/ESGF/CMIP6.3028>.
- [17] Robinson, S., Petrick, M. Land access and feeding strategies in post-Soviet livestock husbandry: evidence from a rangeland system in Kazakhstan [J]. *Agricultural Systems*, 2024, 219: 104011.
- [18] van Vuuren, D. P., Carter, T. R. Climate and socio-economic scenarios for climate change research and assessment: reconciling the new with the old [J]. *Climatic Change*, 2014, 122(3): 415–429.
- [19] van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., *et al.* The representative concentration pathways: an overview [J]. *Climatic Change*, 2011, 109(1/2): 5–31.
- [20] O’neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., *et al.* The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6 [J]. *Geoscientific Model Development*, 2016, 9(9): 3461–3482.