

中国黄背草的植被地理分布格局及其斑块特征

赵文悦

华北电力大学环境科学与工程学院, 北京

收稿日期: 2024年12月7日; 录用日期: 2025年1月4日; 发布日期: 2025年1月13日

摘要

通过应用ArcGIS软件, 对《中国植被图集(1:1000000)》中的黄背草植被数据, 进行数字化处理, 空间配准和矢量化等操作, 并以此为基础计算得到黄背草植被各群系的斑块数量特征以及斑块形状指数, 分析与评价黄背草植被群系的地理分布格局与斑块特征。结果表明: 黄背草植被在全国多数省份均有分布, 主要集中分布于陕西和安徽等地。黄背草植被总面积为14219.39 km², 总共有488个斑块, 整体上黄背草植被的斑块面积、个数分布较均衡, 各斑块形状均相对不规则, 小斑块占比较高, 大斑块占比较少, 且斑块面积差别较大, 斑块破碎化程度较高。基于黄背草植被斑块的情况、黄背草植被的地理分布及其斑块特征、斑块形状的分析, 为黄背草植被的退牧还草及可持续发展、防止草场退化和恢复退化草场提供理论参考。

关键词

黄背草, 斑块特征, 形状指数, 退牧还草

Patterns of Vegetation Geographic Distribution and Characteristics of Patches of *Themeda japonica* in China

Wenyue Zhao

College of Environmental Science and Engineering, North China Electric Power University, Beijing

Received: Dec. 7th, 2024; accepted: Jan. 4th, 2025; published: Jan. 13th, 2025

Abstract

By applying ArcGIS software, we digitized, spatially aligned and vectorized the *Themeda japonica* vegetation data in the "China Vegetation Atlas (1:1000000)", and calculated the number of patches and the patch shape index of each group of *Themeda japonica* vegetation on the basis of the data, so

文章引用: 赵文悦. 中国黄背草的植被地理分布格局及其斑块特征[J]. 林业世界, 2025, 14(1): 85-92.

DOI: 10.12677/wjf.2025.141010

as to analyse and evaluate the geographic distribution pattern and the characteristics of the patches of *Themeda japonica* vegetation groups. The results showed that the *Themeda japonica* vegetation was distributed in most provinces in China, mainly in Shaanxi and Anhui. The total area of *Themeda japonica* vegetation is 14219.39 km², and there are 488 patches in total. On the whole, the patch area and number of *Themeda japonica* vegetation are more balanced, and the shape of each patch is relatively irregular, with a higher proportion of small patches and a smaller proportion of large patches, and the patch area varies greatly, with a higher degree of patch fragmentation. Based on the situation of *Themeda japonica* vegetation patches, the geographical distribution of *Themeda japonica* vegetation and its patch characteristics and the analysis of patch shapes, it provides theoretical references for the retreat of *Themeda japonica* vegetation to grassland and its sustainable development, the prevention of pasture degradation and the restoration of degraded pastures.

Keywords

Themeda japonica, Patch Characteristics, Shape Index, Return Pasture to Grassland

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

黄背草(*Themeda triandra*)是一种野生的多年生禾本科牧草, 又称为黄白草、征花草、苦房草等[1]。黄背草在非洲、亚洲、澳大利亚热带和亚热带地区等地区广泛分布, 在我国除新疆、青海、内蒙古等省区以外均有分布, 是生态及经济上最重要和最广泛的多年生草之一[2]。主要生境位于干燥山坡、草地、路旁、林缘等处[3]。此外, 多见于浅山丘陵的干旱山地阳坡, 常成片出现, 其在群落中占据重要地位[4]。黄背草具有相当大的保持水土的效能, 是瘠薄、荒坡、生长力很强的草种。黄背草须对增加覆盖、固土蓄水, 都有较好的作用。

黄背草在我国主要涉及三种群系, 分别是黄背草草从, 黄背草、苔草、芒草草从, 荆条、酸枣、黄背草灌草从。黄背草草从是暖温带常见的植物样落, 也见于亚热带地区。森林遭到破坏后形成草从, 在水分条件不十分适宜的条件下, 加之不断的割草采薪, 森林在短期内难以恢复。在生境稍好的暖温带荒山, 所见到的往往是黄背草草从, 种类组成一般较为复杂, 在有些情况下少有灌木而形成比较单纯的草从。松栎林或山杨、白桦林砍伐后的次生二色胡枝子灌从又遭连续破坏后形成衍生为黄背草、苔草、芒草草从群落[5]。在水分等生境条件较好的地段, 灌木种类和数量在黄背草草从中会逐步增加而达到共建种。在具灌木的黄背草型草地中, 其主要伴生植物有酸枣、荆条、柞栎、白茅、须芒草、委陵菜, 酸枣和荆条在群落中往往也居于重要地位, 与黄背草共同构成整个群落中的共优种或作为亚优种出现[6]。

随着全球大气 CO₂ 浓度升高、干旱胁迫和氮沉降的持续增加, 这一现象对草地生态系统的结构和功能产生了显著的影响[7]。在气候变化的背景下, 草地生态系统面临着巨大风险和挑战[8]。而黄背草在全球超过四分之一的草原上占据主导地位[9], 因此分析黄背草草从的地理分布及其斑块特征, 可以为黄背草草从的退牧还草及可持续发展提供理论参考。

本文通过《中国植被图集(1:1000000)》[10]中记录的黄背草草从(*Themeda triandra* var.), 黄背草、苔草、芒草草从(*Themeda triandra* var. *Japonca*, *Carex* spp., *Miscanthus sinensis* community), 荆条、酸枣、黄背草灌草从(*Vitex negundo* var. *Heterophylla*, *Zizyphus jujuba* var. *Spinousus*, *Themeda triandra* var. *japonica* scruband grass comiunity) 3 个群系信息, 对它们的形状以及空间特征进行了分析, 为黄背草草从的退牧还

草、防止草场退化和恢复退化草场提供理论参考。

2. 研究方法

2.1. 数据来源和处理方法

植被数据采用科学出版社 2001 年出版的《中国植被图集(1:1000000)》[10]中提取出的黄背草数据为基础,应用 ArcGIS 软件,进行矢量和栅格化处理,分析黄背草植被的空间地理分布;计算得到各植被类型斑块数量特征、形状指数,分析和评价各群系的斑块特征。本文研究内容如下:

1) 对黄背草植被的地理分布进行分析,得到其空间分布图;

2) 统计黄背草植被群落的斑块特征,对黄背草植被的斑块平均面积、斑块边缘密度、斑块密度、斑块面积极差、斑块的变异系数等斑块的数量特征,以及斑块圆环度指数、斑块扩展度指数和斑块方形指数等斑块的形状指数进行计算,并利用斑块的数量特征与形状指数对黄背草植被进行分析与评价,得到我国黄背草植被的斑块特征;

3) 根据黄背草植被的地理分布及其斑块特征的分析,为黄背草草丛的退牧还草及可持续发展、防止草场退化和恢复退化草场提供理论参考。

2.2. 计算方法

2.2.1. 斑块特征计算方法

以黄背草植被地理空间分布图为基础,应用软件 ArcGIS10.8.1 统计分析功能,计算黄背草植被群落斑块的数量特征,对其斑块平均面积、斑块边缘密度、斑块密度、斑块面积极差、斑块的变异系数进行计算[11],计算公式如下:

斑块平均面积计算公式如下:

$$S = A/n \quad (1)$$

式中: S ——黄背草植被斑块平均面积;

A ——黄背草植被总面积;

n ——黄背草植被斑块数。

斑块平均面积用于表示斑块各类型之间的差异,在一定意义上揭示景观要素的破碎化程度,景观级别上一个具有较小平均斑块面积值的景观比一个具有较大平均斑块面积值的景观更破碎。

斑块边缘密度计算公式如下:

$$ED = P/A \quad (2)$$

式中: ED ——黄背草植被斑块边缘密度;

P ——黄背草植被斑块边缘长度;

A ——黄背草植被总面积。

斑块边缘密度是景观(类型)破碎化程度的直接反映,用于揭示景观(类型)被边界分割的程度,斑块边缘密度越高,反映景观(类型)破碎化越严重。

斑块密度计算公式如下:

$$PD = n/A \quad (3)$$

式中: PD ——黄背草植被斑块密度;

n ——黄背草植被斑块数;

A ——黄背草植被总面积。

斑块密度表征景观(类型)被分割的破碎程度, 斑块密度越大, 破碎化程度越高, 在一定程度上反映了人类对景观(类型)的干扰程度。

斑块面积极差计算公式如下:

$$RA = X_{\max} - X_{\min} \quad (4)$$

式中: X_{\max} ——黄背草植被斑块面积最大值;

X_{\min} ——黄背草植被斑块面积最小值。

斑块面积极差能够反映斑块大小差异情况, 面积极差越大, 斑块大小差异越大。

变异系数计算公式如下:

$$CV = \frac{SD}{S} \times 100\% \quad (5)$$

式中: SD ——黄背草植被斑块面积标准差;

S ——黄背草植被斑块平均面积。

斑块的变异系数可以反映斑块大小的异质性, 即景观中斑块大小的变异程度。

2.2.2. 斑块形状指数计算方法

斑块圆环度指数公式如下:

$$C_i = P_i / A_i \quad (6)$$

式中: C_i ——第 i 类斑块的斑块圆环度指数;

A_i ——第 i 类斑块的面积;

P_i ——第 i 类斑块中第 i 个斑块的周长。

斑块扩展度指数公式如下:

$$D_i = \frac{P_i}{2\sqrt{\pi A_i}} \quad (7)$$

式中: D_i ——第 i 类斑块的斑块圆环度指数;

式中 A_i 、 P_i 字母含义同上。

斑块方形指数公式如下:

$$S_i = \frac{0.25P_i}{\sqrt{A_i}} \quad (8)$$

式中: S_i ——第 i 类斑块的斑块方形指数;

式中 A_i 、 P_i 字母含义同上。

3. 结果与分析

3.1. 黄背草植被的空间分布

我国黄背草植被类型和面积分布, 结果见表 1。

黄背草植被在全国多数省份均有分布, 主要集中分布于陕西和安徽等地。依据张新时的《中国植被图集(1:1000000)》中所用的植被区划标准, 可以得到黄背草草丛主要分布在汾河、渭河平原山地区、辽西低山丘陵区、桐柏山、大别山山地丘陵区、浙皖山地丘陵区、江淮丘陵区; 黄背草、苔草、芒草草丛主要分布在秦巴山地丘陵区、汾河、渭河平原、山地区; 荆条、酸枣、黄背草灌草丛主要分布在冀北间山盆地

区、汾河、渭河平原山地区、秦岭山地区、胶东丘陵区、冀辽山地、丘陵区、秦巴山地丘陵区。

由表 1 可知, 我国黄背草植被的总面积约为 14219.39 km²; 其中, 陕西地区黄背草植被的分布面积最广, 约占我国黄背草植被总面积的 38.35%, 分布面积约为 5523.83 km²; 分布面积约为 3567.30 km² 的安徽次之, 占比约为 25.09%; 再次是黄背草植被分布面积约为 1681.39 km² 的河北地区, 占比约为 11.82%; 分布面积占比均小于 10% 的省份分别为辽宁(1094.13 km²)、河南(716.91 km²)、山东(575.77 km²)、湖北(418.62 km²)、山西(368.35 km²), 占比分别为 7.69%、5.04%、4.05%、2.94%、2.59%; 分布面积占比均小于 1% 的省份分别为甘肃江苏(110.84 km²)、(70.97 km²)、北京(47.12 km²)、天津(44.15 km²), 占比分别为 0.78%、0.50%、0.33%、0.31%。黄背草草丛分布面积最大, 分布面积约为 7535.32 m²; 其次为荆条、酸枣、黄背草灌草丛, 分布面积约为 6208.02 m²; 黄背草、苔草、芒草草丛的分布面积最小, 分布面积约为 476.05 km²。

3.2. 黄背草植被的斑块特征

对我国黄背草植被的斑块特征进行计算分析, 结果见表 2。

Table 1. Vegetation types and area distribution of *Themeda japonica* vegetation (km²)

表 1. 黄背草植被类型和面积分布表(km²)

群落类型	陕西	甘肃	湖北	山西	辽宁	安徽	江苏	河北	河南	山东	天津	北京	全国
黄背草草丛	1591.90	46.94	47.82	343.43	1094.13	3567.30	103.80	530.20	209.79	0.00	0.00	0.00	7535.32
黄背草、苔草、芒草草丛	362.39	24.02	0.00	18.63	0.00	0.00	0.00	0.00	71.01	0.00	0.00	0.00	476.05
荆条、酸枣、黄背草灌草丛	3569.53	0.00	370.80	6.29	0.00	0.00	7.04	1151.19	436.12	575.77	44.15	47.12	6208.02
合计	5523.83	70.97	418.62	368.35	1094.13	3567.30	110.84	1681.39	716.91	575.77	44.15	47.12	14,219.39
占比(%)	38.85%	0.50%	2.94%	2.59%	7.69%	25.09%	0.78%	11.82%	5.04%	4.05%	0.31%	0.33%	100.00%

Table 2. Vegetation patch characteristics of *Themeda japonica* vegetation

表 2. 黄背草植被斑块特征

类型	斑块数	占比 (%)	总面积 (km ²)	占比 (%)	平均面积 (km ²)	最小面积 (km ²)	最大面积 (km ²)	斑块密度 (个/hm ²)	边缘密度 (m/hm ²)	面积极差 (km ²)	面积标准差	变异系数 (%)
黄背草草丛	293	60.04%	7535.32	52.99%	25.72	0.57	200.61	3.89E-02	10.39	200.04	28.83	112.10
黄背草、苔草、芒草草丛	16	3.28%	476.05	3.35%	29.75	11.94	72.42	3.36E-02	8.93	60.48	15.44	51.89
荆条、酸枣、黄背草灌草丛	179	36.68%	6208.02	43.66%	34.68	0.88	235.35	2.88E-02	8.88	234.47	35.69	102.91
总计	488	100	14,219.39	100	90.15	13.39	508.38	3.43E-02	28.20	/	/	/

黄背草植被的各植被类型斑块面积分布较不均衡, 其中总面积占比最大的黄背草草丛达到 52.99%; 荆条、酸枣、黄背草灌草丛总面积占比为 43.66%; 黄背草、苔草、芒草草丛总面积占比最小为 3.35%。各植被类型斑块个数分布也较不均衡, 黄背草植被共有 448 个斑块, 斑块数量最多的是有 293 个斑块的

黄背草草丛, 约占我国黄背草植被斑块数的 60.04%; 有 179 个斑块的荆条、酸枣、黄背草灌草从次之, 占比约为 36.68%; 斑块数量最少的是有 16 个斑块的黄背草、苔草、芒草草丛, 占比约为 3.28%。

在斑块级别上, 一个具有较小平均斑块面积值的斑块类型比一个具有较大平均斑块面积值的斑块类型更破碎。从表 2 中可以得到, 黄背草草丛(25.72 km²)和黄背草、苔草、芒草草丛(29.75 km²)的斑块平均面积均较小, 说明这两个群系比荆条、酸枣、黄背草灌草从的斑块破碎化均较高, 受人类活动干扰的程度较高。平均面积最大的是荆条、酸枣、黄背草灌草从, 斑块的平均面积为 34.68 km², 说明相较于黄背草植被的前两种类型, 荆条、酸枣、黄背草灌草从的斑块完整性比较高, 受人类活动干扰的程度较低。斑块密度同样可以在一定程度上反映人类对植被类型的干扰程度。从表 2 中可以得到, 黄背草草丛(3.89E-02 个/hm²)斑块密度最大, 其次为黄背草、苔草、芒草草丛(3.36E-02 个/hm²), 荆条、酸枣、黄背草灌草从斑块密度(2.88E-02 个/hm²)斑块密度最小。各植被类型的斑块密度均较大, 进一步说明黄背草植被斑块破碎化程度较高, 受人类对的干扰程度较高。而在草地生态系统的人类干扰中, 放牧是最大的影响因素[12]。因此, 放牧可能是影响黄背草植被斑块破碎化程度的主要因素。

斑块边缘密度越大, 表明景观(类型)的边缘效应[13]显著, 开放性较强, 易于同周围斑块的能量流、物质流和有机体流的流通。从表 2 可以看出, 黄背草草丛的斑块边缘密度最高, 为 10.39 m/hm², 说明黄背草草丛斑块破碎化程度更高, 连通性较好, 更易于同周围斑块的物质、能量流通。而黄背草、苔草、芒草草丛(8.93 m/hm²)和荆条、酸枣、黄背草灌草从(8.88 m/hm²)的斑块边缘密度均较小, 相较于黄背草草丛, 开放性弱, 有利于保存能量、物质和生物。总体上表明黄背草植被各类型边缘密度均较高, 表明斑块连通性较好, 斑块破碎化严重。

斑块面积极差和斑块面积标准差表示斑块大小的离散情况, 荆条、酸枣、黄背草灌草从斑块面积极差最大、斑块标准差也最大, 而黄背草植被斑块最大面积(235.35 km²)也出现在荆条、酸枣、黄背草灌草从, 说明荆条、酸枣、黄背草灌草从斑块大小差异大。斑块最小面积(0.57km²)出现在黄背草草丛, 且黄背草草丛的斑块面积极差和斑块面积标准差也很大, 同时黄背草草丛的斑块面积最大, 这表明黄背草草丛的斑块大小差异大、斑块离散情况较大。黄背草、苔草、芒草草丛相较于黄背草草丛斑块面积极差均较小, 斑块标准差也小, 这表明黄背草、苔草、芒草草丛从斑块大小相差较小, 离散程度小。

较高的斑块变异系数表明景观中斑块大小分布较广, 异质性较高; 而较低的斑块变异系数则表明景观中斑块大小较为均匀。从表 2 可以看出, 黄背草草丛斑块变异系数最大, 荆条、酸枣、黄背草灌草从次之, 分别为 112.10%、102.91%, 表明这两个群系斑块大小分布较广, 异质性较高, 斑块离散的程度较大。而黄背草、苔草、芒草草丛的变异系数(51.89%)最小, 表明黄背草、苔草、芒草草丛从斑块大小较为均匀, 斑块较聚集, 离散程度小。

3.3. 黄背草的斑块形状的分析

斑块圆环度指数(C)表征斑块的边界效应, 斑块面积越大, 单位面积中的边界数量越少, 斑块形状越不紧凑, 与外界的物质、能量交换越活跃。斑块扩展度指数(D)代表斑块形状与圆形相差的程度。D 最小值为 1, 越接近 1, 表示斑块形状越接近圆形; D 值越大, 斑块形状越偏离于圆形, 形状越不规则。斑块方形指数(S)代表斑块形状相差正方形的程度。S 值越大, 表示斑块形状偏离于正方形[14]。

对各黄背草植被类型的每个斑块通过圆环度、扩展度和斑块方形指数计算各形状指数, 取各黄背草植被类型所有斑块指数的平均值, 结果见表 3。综合来看, 黄背草草丛和荆条、酸枣、黄背草灌草从这两个群系的 C 值、D 值和 S 值均较大, 表明这两个群系斑块形状相对紧凑, 单位面积中的边界相对多, 其斑块形状多为狭长的不规则形, 偏离圆形和正方形, 与外界物质和能量交换相对活跃。黄背草、苔草、芒草草丛的 D 值和 S 值虽也较大, 但 C 值较小, 表明其斑块形状不规则, 单位面积的边界相对最少, 与

外界物质和能量交换较为稳定。总体上看这3个群系的斑块形状多为狭长的不规则形,形状指数D值和S值差异较小,表明黄背草各植被类型斑块异质性较小。

Table 3. The average value of vegetation patch shape index of *Themeda japonica* vegetation
表 3. 黄背草植被斑块形状指数的平均值

类型	C	D	S
黄背草草丛	1.31	1.51	1.34
黄背草、苔草、芒草草丛	0.97	1.39	1.23
荆条、酸枣、黄背草灌草丛	1.16	1.48	1.31

4. 总结与讨论

4.1. 总结

由我国黄背草植被的空间分布、斑块数量特征及形状指数分析得出斑块特征:黄背草各植被类型斑块面积、斑块个数分布较不均衡,斑块面积大小差异大,小斑块占比较高,大斑块占比较少,斑块连通性较好,斑块破碎化程度较高。而草地生境破碎化导致草地生境大小、连通性和结构发生变化,是草地生物多样性降低的主要原因之一[15]。因此黄背草斑块生物多样性的降低,可能与斑块破碎化程度有关。整体上黄背草各植被类型斑块的斑块形状均相对不规则,斑块异质性较小。黄背草草丛和荆条、酸枣、黄背草灌草丛的斑块离散程度相对较大,单位面积中的边界相对多,与外界物质和能量交换相对活跃。黄背草、苔草、芒草草丛的斑块离散程度小,较为稳定。

4.2. 讨论

黄背草原产于我国北部、华北、西北、东北等地,主要分布在江淮丘陵区、秦巴山地丘陵区、浙皖山地丘陵区、桐柏山、冀辽山地、丘陵区、大别山地丘陵区、辽西低山丘陵区、胶东丘陵区、汾河、渭河平原、山地区、秦岭山地区、辽东丘陵区等地区。黄背草对生长条件要求不严格,在一定的范围内可以调节气候、保持水土、优化生态环境,具有相当高的生态价值[16]。

黄背草是干旱贫瘠山区绿化荒山、控制水土流失、改善生态环境的优良草本植物,黄背草耐旱、耐瘠薄适应性强,但天然草坡产草量较低,采用人工插种栽培黄背草可加速荒山绿化,提高其产草量[17]。黄背草是家畜的饲草,可以做为放牧草种。黄背草幼嫩时可以作为牧草,供牲畜食用,但黄植株生长粗老后,枝叶变得高大且比较粗糙,因此牲畜只在春季和夏初采食。在全球变暖以及人为活动干扰的影响下,放牧等人为因素以及温度、降水等自然因素都会干扰草场的恢复与退化。而在草地生态系统中,放牧方式的变化,包括利用方式、强度、持续时间和频率等,是植被空间格局变化的关键驱动因素,温带草地的景观异质性受到放牧强度的影响显著[18]。适度放牧不仅可以不断满足牲畜对草牧草的需要而且牧草也可以保持正常的生长和繁殖,但放牧强度增大、草场利用时间、频度不合理,会使各类型草场发生了不同程度的退化现象[19]。而过度放牧会导致植被斑块的退化和破碎化,引起被喜食物种丧失,留下不喜食或入侵的物种,最终引起生物多样性和生态系统功能下降[20]。通过禁牧封育、补播草种等退牧还草方式,草原植被可以恢复。黄背草作为中国温带地区草地资源组成的重要植被之一。目前,国内外众多学者对黄背草进行了诸如生物学特性、种子萌发和繁殖等方面的大量研究,然而关于黄背草斑块的特征研究尚未见报道,因此探究黄背草草丛的地理分布及其斑块特征,对丘陵山地的自然生态平衡起着重要作用,对控制水土流失和放牧利用均有一定的价值。

综上, 根据黄背草植被植物斑块群落分布特征, 从而对因地制宜采取合适的科学方法来指导退牧还草策略具有一定意义。未来的研究需要进一步深化对黄背草斑块特征的成因, 以及对草地生态系统功能的影响的研究。特别是在全球变暖背景下, 黄背草植被的分布格局和斑块群落分布特征可能会发生显著变化, 直接影响生物多样性的保护。

参考文献

- [1] 王儒堂, 雷扶生, 宋丽雪. 黄背草种植利用的调查初报[J]. 辽宁农业科学, 1965(5): 47-48.
- [2] Snyman, H.A., Ingram, L.J. and Kirkman, K.P. (2013) *Themeda triandra*: A Keystone Grass Species. *African Journal of Range & Forage Science*, **30**, 99-125. <https://doi.org/10.2989/10220119.2013.831375>
- [3] 陈守良. 中国植物志第 10 卷 2 (禾本科 5) [M]. 北京: 科学出版社, 1997.
- [4] 樊文娜, 梁亚爽, 朱伟然, 等. 豫西天然草地资源现状及其评价[J]. 饲料博览, 2019(12): 24-29.
- [5] 张新时. 中国植被及其地理格局: 中华人民共和国植被图(1: 1000000)说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- [6] 张云霞, 王跃卿, 杨浩哲. 河南暖性灌草丛类分类研究[J]. 郑州师范教育, 2024, 13(4): 10-15.
- [7] 魏芙蓉. 氮添加影响白羊草草地土壤碳氮转化的机制[D]: [博士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2023.
- [8] 张煦庭. 中国温带地区草地植被动态时空特征及其对气候变化的响应[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国农业大学, 2018.
- [9] Downing, B.H. and Groves, R.H. (1985) Growth and Development of Four *Themeda triandra* Populations from Southern Africa in Response to Temperature. *South African Journal of Botany*, **51**, 350-354. [https://doi.org/10.1016/s0254-6299\(16\)31642-8](https://doi.org/10.1016/s0254-6299(16)31642-8)
- [10] 中国科学院中国植被图编辑委员会. 中国植被图集[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [11] 邬建国. 景观生态学: 格局, 过程, 尺度与等级[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [12] 张军, 申朝凤, 刘菊红. 放牧对草地生态系统恢复力稳定性影响的研究[J]. 草学, 2024(6): 34-41, 51.
- [13] 周宇峰, 周国模. 斑块边缘效应的研究综述[J]. 华东森林经理, 2007, 21(2): 1-8.
- [14] 李斌, 张金屯. 黄土高原草原景观斑块形状的指数和分形分析[J]. 草地学报, 2010, 18(2): 141-147.
- [15] 张海翔, 曹梓渝, 崔艺凡, 等. 草地生境破碎化对蝗虫暴发及其天敌昆虫多样性影响的研究概述[J]. 植物保护学报, 2024, 51(5): 988-997.
- [16] 李国荣, 毛小青, 倪三川, 等. 浅析灌木与草本植物护坡效应[J]. 草业科学, 2007, 24(6): 86-89.
- [17] 岳喜成, 郑观玉, 刘耀曾, 等. 野生黄背草人工繁殖及开发利用试验研究[J]. 中国水土保持, 1994(12): 29-30.
- [18] 康萨如拉, 闫瑞瑞, 字洪标, 等. 中国北方草地植被空间异质性对放牧强度的不同响应规律[J/O]. 科学通报: 1-15. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1784.N.20241024.1319.002.html>, 2024-11-03.
- [19] 赵宝山, 王健. 草场不同程度的利用对植被的影响[J]. 内蒙古草业, 2000(4): 20-24.
- [20] WallisDeVries, M.F., Laca, E.A. and Demment, M.W. (1999) The Importance of Scale of Patchiness for Selectivity in Grazing Herbivores. *Oecologia*, **121**, 355-363. <https://doi.org/10.1007/s004420050939>