

耕地质量分类导向下耕地土壤结构综合分析： 以锡林郭勒盟正蓝旗为例

杜钦源¹, 梁昊²

¹内蒙古地质测绘有限责任公司, 内蒙古 呼和浩特

²天津市地质研究和海洋地质中心, 天津

收稿日期: 2026年3月2日; 录用日期: 2026年3月25日; 发布日期: 2026年4月2日

摘要

【目的】耕地土壤条件是耕地质量状况的重要体现, 全面开展耕地土壤分析是实现耕地质量提升与保护的基础。【方法】基于多期耕地资源质量分类成果中的土层厚度、土壤质地、土壤有机质含量和土壤pH值四项耕地土壤条件数据, 采用GIS技术、层次分析法、模糊聚类法和综合指数法, 对正蓝旗耕地土壤进行系统分析, 揭示沙化进程对耕地土壤质量的影响机制, 提出靶向性改良技术方案。【结果】正蓝旗耕地土壤受地形与沙化影响呈现显著空间分异特征, 北部沙区耕地以风沙土为主, 土层浅薄(≤ 30 cm 占比75.3%)、质地松散、有机质含量偏低(平均7.8 g/kg); 南部低山丘陵区耕地以栗钙土、暗栗钙土为主, 土层厚度适中(50~80 cm 占比68.2%)、有机质含量相对较高(平均21.5 g/kg); 全旗耕地土壤pH值整体呈弱碱性, 沙化区域碱性强于非沙化区域; 耕地土壤综合质量指数介于35.2~72.6之间, 优质耕地集中分布于南部低山丘陵缓坡地带及河流两岸冲积平原, 沙化程度与耕地土壤质量呈显著负相关。【结论】基于多期耕地资源质量分类成果能够精准识别正蓝旗耕地土壤的关键特征与空间格局, 分区改良技术细则可有效支撑该区域耕地土壤改良、沙化阻控及“三位一体”耕地保护实践, 为北方沙化地区耕地治理提供范式参考。

关键词

耕地资源质量分类, 正蓝旗, 耕地土壤, 空间分异, 防沙治沙, 改良技术

Comprehensive Analysis of Cultivated Land Soil Structure Guided by Cultivated Land Quality Classification: A Case Study of Zhenglan Banner, Xilingol League

Qinyuan Du¹, Hao Liang²

Abstract

[Purpose] Cultivated land soil conditions are an important manifestation of cultivated land quality, and conducting comprehensive cultivated land soil analysis is the foundation for realizing the improvement and protection of cultivated land quality. **[Method]** Based on four types of cultivated land soil condition data (soil layer thickness, soil texture, soil organic matter content, and soil pH value) from multi-period cultivated land resource quality classification results, this study systematically analyzed the cultivated land soil in Zhenglan Banner using GIS technology, Analytic Hierarchy Process (AHP), fuzzy clustering method, and comprehensive index method. The aim was to reveal the impact mechanism of desertification process on cultivated land soil quality and propose targeted improvement technical schemes. **[Result]** The cultivated land soil in Zhenglan Banner showed significant spatial differentiation characteristics affected by terrain and desertification. Cultivated land in the northern sandy area was dominated by aeolian sandy soil, with thin soil layers (75.3% ≤ 30 cm), loose texture, and low organic matter content (average 7.8 g/kg); cultivated land in the southern low mountain and hilly area was dominated by chestnut soil and dark chestnut soil, with moderate soil thickness (68.2% between 50~80 cm) and relatively high organic matter content (average 21.5 g/kg). The soil pH value of cultivated land in the whole banner was generally weakly alkaline, and the alkalinity in desertified areas was stronger than that in non-desertified areas. The comprehensive quality index of cultivated land soil ranged from 35.2 to 72.6, with high-quality cultivated land concentrated in the gentle slope areas of the southern low mountains and hills and the alluvial plains along rivers. There was a significantly negative correlation between desertification degree and cultivated land soil quality. **[Conclusion]** Based on multi-period cultivated land resource quality classification results, the key characteristics and spatial pattern of cultivated land soil in Zhenglan Banner can be accurately identified. The zoned improvement technical rules can effectively support the practices of cultivated land soil improvement, desertification control, and “trinity” cultivated land protection in this region, providing a paradigm reference for cultivated land management in desertified areas of northern China.

Keywords

Cultivated Land Resource Quality Classification, Zhenglan Banner, Cultivated Land Soil, Spatial Differentiation, Desertification Prevention and Control, Improvement Technology

Copyright © 2026 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

1.1. 研究背景

耕地是保障粮食安全与区域生态稳定的核心资源, 其土壤条件直接决定耕地生产能力与抗逆性。正蓝旗地处内蒙古自治区锡林郭勒盟南部, 阴山山脉北麓东端, 是浑善达克沙地的核心区域, 也是京津风沙源治理的关键战场, 境内沙化土地面积达 1278.31 万亩, 占浑善达克沙地总面积的 22.2%, 沙化对耕地

土壤的侵蚀与退化影响显著[1]。近年来, 第三次全国国土调查及年度更新调查形成的耕地资源质量分类成果, 涵盖了土层厚度、土壤质地等关键土壤指标, 为区域耕地土壤的精准分析提供了标准化、现势性强的数据源。在此背景下, 基于多期耕地资源质量分类成果开展正蓝旗耕地土壤分析, 并耦合分区改良技术研究, 对破解沙区耕地保护与生态治理协同难题具有重要实践价值。

1.2. 研究意义

正蓝旗作为距离北京最近的草原牧区, 其耕地土壤质量不仅关系到当地农牧业的可持续发展, 更直接影响京津地区的生态安全。本研究通过明确正蓝旗不同区域耕地土壤的理化特征、空间分异规律及沙化耦合关系, 构建靶向性的分区改良技术体系, 可为制定差异化的耕地改良与防沙治沙措施提供理论支撑; 同时, 本研究构建的基于耕地资源质量分类成果的沙区耕地土壤分析与改良技术框架, 可为北方沙化地区同类研究提供参考范式, 助力全国耕地“数量、质量、生态”三位一体保护战略的落地实施[1]。

1.3. 研究现状

当前关于耕地土壤分析的研究已广泛运用 GIS 空间分析、综合指数评价等方法, 但针对北方沙化地区耕地土壤的研究, 多聚焦于单一土壤指标或小尺度田间试验, 缺乏基于系统性、标准化数据源的全域性分析。此外, 现有研究对沙化与耕地土壤质量的耦合关系探讨不足, 改良技术多侧重单一固沙或培肥措施, 未能形成“土壤诊断-机制分析-技术适配”的完整链条, 难以满足沙区耕地保护与生态治理协同推进的需求。基于多期耕地资源质量分类成果的正蓝旗耕地土壤分析与改良技术研究见表 1, 可有效弥补上述研究短板, 提升沙区耕地土壤研究的精准性与系统性。

2. 研究区概况

正蓝旗隶属于内蒙古自治区锡林郭勒盟, 位于盟域中部与南部, 地理坐标介于东经 115°00′~116°42′、北纬 41°56′~43°11′之间, 属中温带大陆性季风气候, 四季分明, 降水集中且年际变化大, 年均降水量 365 mm, 年均蒸发量 1925 mm, 蒸发量远大于降水量, 气候干旱特征显著。

区域内土壤类型丰富, 共分为六大类, 其中风沙土与栗钙土为主要土壤类型, 两者合计占总土地面积的 77.29%。风沙土分布于北部沙地区, 面积约 4082.9 平方千米, 占总面积的 40.09%, 由第四纪风积物组成, 颗粒均匀、结构松散、可塑性差、渗透性强, 易受风力侵蚀; 栗钙土面积 3786.6 平方千米, 占总土地面积的 37.2%, 北部沙区沙丘间平原以普通栗钙土为主, 南部低山丘陵区则分布暗栗钙土, 土壤肥力与结构相对优于风沙土。草甸土、沼泽土、黑钙土、石质土占比均不足 1%, 其中草甸土与沼泽土分布于河流两岸冲积平原及淖尔周边, 土壤水分条件好, 有机质含量较高; 黑钙土零星分布于沼泽地表层; 石质土则分布于中南部坡状丘陵地区, 土层浅薄, 砾石含量高[2]。

正蓝旗作为浑善达克沙地歼灭战的核心战区, 肩负着“双提高、双减少”的生态治理目标, 即实现草原植被盖度和森林覆盖率双提高、荒漠化和沙化土地双减少[2]。境内耕地多分布于沙丘间平原、南部丘陵缓坡及河流沿岸, 受沙化威胁严重, 开展耕地土壤分析与改良技术研究对区域生态安全与农牧业发展至关重要。

3. 数据来源与研究方法

3.1. 数据来源

核心数据: 多期耕地资源质量分类成果数据见图 1, 包含 2019~2024 年耕地图斑的土层厚度、土壤质地、土壤有机质含量、土壤 pH 值四项土壤条件指标见表 2, 数据精度为图斑级, 属性信息完整。

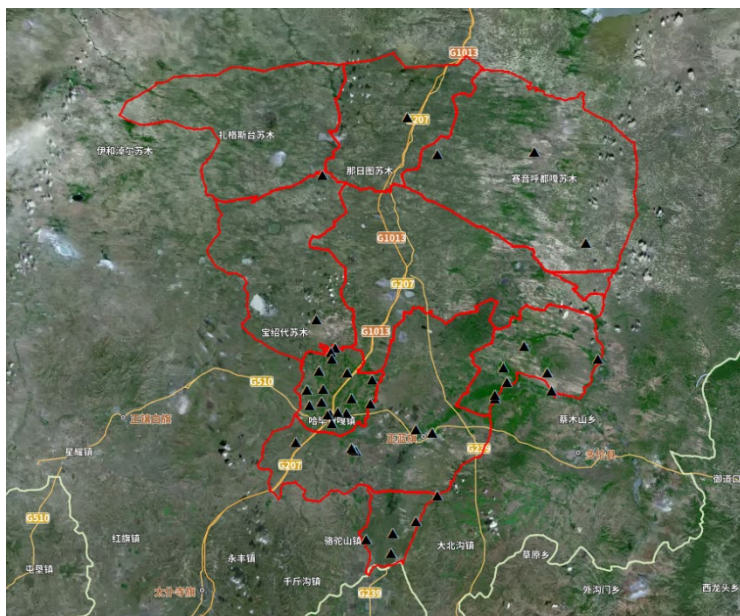


Figure 1. Distribution of sampling sites in Zhenglan Banner
图 1. 正蓝旗采样点分布

辅助数据：正蓝旗行政区划图、数字高程模型(DEM)、土地利用现状图，用于耕地土壤空间分布的叠加分析；正蓝旗气象站 2019~2024 年的降水、气温数据，用于探讨气候因素对土壤特征的影响；野外调查采样数据，用于验证耕地资源质量分类成果数据的准确性。

3.2. 数据预处理

采用 ArcGIS10.8 软件对耕地资源质量分类成果数据进行投影转换，统一为高斯 - 克吕格投影；通过野外采样数据与图斑属性数据的比对，剔除异常值，保证数据精度；对不同年份的数据进行一致性校正，确保多期数据的可比性。

3.3. 研究方法

GIS 空间分析技术：利用 ArcGIS 软件的空间叠加分析、缓冲区分析、空间插值等工具，绘制正蓝旗耕地土壤四项指标的空间分布图，揭示其空间分异特征；通过叠加沙化土地分布图，分析沙化程度与耕地土壤指标的相关性[3]。

层次分析法(AHP)：构建耕地土壤质量评价指标体系，以土层厚度、土壤质地、有机质含量、pH 值为评价因子，通过专家打分与层次分析确定各因子权重，权重值分别为 0.32、0.28、0.25、0.15，为土壤质量综合评价提供依据。

模糊聚类法：基于四项土壤指标数据，采用模糊聚类法对正蓝旗耕地土壤进行类型划分，将耕地土壤划分为优质、中质、劣质三类，明确不同类型土壤的分布区域[3]。

综合指数法：根据层次分析法确定的权重，结合模糊聚类结果，构建耕地土壤质量综合指数模型，计算公式为：

$$SQI = \sum_{i=1}^n w_i \times x_i$$

式中，SQI 为土壤质量综合指数， w_i 为第 i 项指标的权重， x_i 为第 i 项指标的标准化值。通过计算 SQI 值，

实现耕地土壤质量的量化评价。

4. 结果与分析

4.1. 耕地土壤单项指标特征分析见表 3

土层厚度: 正蓝旗耕地土层厚度介于 15~80 cm 之间, 整体呈现“南部厚、北部薄”的分布特征。南部低山丘陵区暗栗钙土耕地土层厚度多在 50~80 cm, 占该区域耕地总面积的 68.2%, 深厚的土层为作物生长提供了稳定的基质条件; 北部沙区风沙土耕地土层厚度普遍不足 30 cm, 占北部耕地总面积的 75.3%, 且受风力侵蚀影响, 土层变薄已成为制约北部耕地生产能力的首要因素[4]。

土壤质地: 耕地土壤质地以砂质壤土和砂土为主, 分别占总耕地面积的 52.1%和 37.6% [5]。砂土集中分布于北部风沙土区域, 颗粒松散, 黏粒含量不足 10%, 保水保肥能力极差, 土壤易被风力搬运; 砂质壤土主要分布于南部栗钙土区域及沙丘间平原, 质地适中, 黏粒含量介于 15%~20%, 耕作性能较好; 黏质壤土仅分布于河流两岸草甸土耕地, 占比不足 11%, 土壤保水保肥能力强, 是全旗质量最优的耕地土壤类型。

土壤有机质含量: 全旗耕地土壤有机质含量介于 5.2~28.6 g/kg 之间, 平均含量为 12.3 g/kg, 整体处于中等偏低水平。南部暗栗钙土耕地有机质含量最高, 平均达 21.5 g/kg, 高有机质含量得益于该区域相对湿润的气候与较少的风沙扰动; 北部风沙土耕地有机质含量最低, 平均仅 7.8 g/kg, 且随沙化程度加剧呈显著下降趋势, 重度沙化区耕地有机质含量不足 6 g/kg, 土壤有机质流失已成为北部耕地退化的核心表征。

土壤 pH 值: 耕地土壤 pH 值介于 7.5~9.2 之间, 整体呈弱碱性至碱性, 符合北方干旱半干旱地区土壤特征。北部沙区耕地 pH 值普遍高于 8.5, 强碱性土壤占比达 62.8%, 主要受风沙土含盐量较高与蒸发强烈导致的盐分表聚影响; 南部低山丘陵区及河流沿岸耕地 pH 值介于 7.5~8.2 之间, 弱碱性土壤占比达 78.3%, 更适宜莜麦、小麦、豌豆等作物生长[5]。

Table 1. The connotation and grade of soil condition index of cultivated land quality classification

表 1. 耕地资源质量分类土壤条件指标内涵及等级

分类指标	指标内涵	指标等级
土层厚度	土层厚度指土壤层和松散的母质层之和	≥100 cm; 60~100 cm; <60 cm
土壤质地	土壤质地指耕层土壤中不同大小直径的矿物颗粒的组合状况	壤土; 粘土; 砂土
土壤有机质含量	土壤有机质含量指单位体积土壤中所含有机物质的数量	≥20 g/kg; 10~20 g/kg; <10 g/kg
土壤 pH 值	土壤 pH 值指耕层土壤的酸碱程度	6.5~7.5; 5.5~6.5; 7.5~8.5; <5.5; >8.5

Table 2. Numerical indicator variables all show a flat-topped distribution

表 2. 数值型指标变量均呈平峰分布

变量名称	均值 ± 标准差	中位数	最小值~最大值	变异系数(%)	偏度	峰度
土层厚度	61.95 ± 27.39	55.00	15~80	44.21	0.525	-1.053
土壤黏粒含量	14.93 ± 5.70	15.50	4~26	38.16	-0.169	-0.767
土壤粉砂粒含量	26.60 ± 11.62	26.00	7~52	43.68	0.305	-0.582
土壤砂粒含量	58.48 ± 16.79	57.50	26~88	28.71	-0.039	-0.740

Table 3. Results of one-way ANOVA for core soil indicators of cultivated land
表 3. 耕地核心土壤指标单因素方差分析(ANOVA)结果

检测指标	平方和 (组间)	平方和 (组内)	自由度 (组间/组内)	F 值	P 值 (Sig.)	方差齐性检验 (Levene) P 值	差异显著性结论 ($\alpha = 0.05$)
pH 值	12.872	14.653	3/114	33.986	<0.001	0.215	极显著差异
有机质含量(g/kg)	6428.531	3845.672	3/114	62.019	<0.001	0.187	极显著差异
粘粒含量(%)	2245.368	2876.491	3/114	28.243	<0.001	0.302	极显著差异
砂砾含量(%)	8972.154	7643.289	3/114	43.175	<0.001	0.259	极显著差异

注: 1) F 值为方差分析检验统计量, $P < 0.001$ 表示组间差异极显著; 2) Levene 检验 $P > 0.05$, 所有指标均满足方差齐性假设, 无需校正。

Table 4. Mean values and multiple comparison results of core indicators for different cultivated land quality grades (Tukey HSD method)

表 4. 不同耕地质量等级核心指标均值及多重比较结果(Tukey HSD 法)

耕地质量等级	样本数 (n)	pH 值 (均值 \pm 标准差)	有机质含量 (g/kg, 均值 \pm 标准差)	粘粒含量 (%, 均值 \pm 标准差)	砂砾含量 (%, 均值 \pm 标准差)
一等耕地	2	7.42 \pm 0.15a	33.44 \pm 2.18a	28.65 \pm 3.21a	32.17 \pm 4.52d
二等耕地	33	7.69 \pm 0.28a	20.43 \pm 3.56b	22.34 \pm 4.15b	41.58 \pm 5.87c
三等耕地	54	8.07 \pm 0.35b	16.53 \pm 2.89c	16.87 \pm 3.72c	53.26 \pm 6.31b
四等耕地	29	8.34 \pm 0.42c	9.20 \pm 2.15d	11.52 \pm 2.98d	68.43 \pm 7.15a

注: 同列数据后不同小写字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著, 相同字母表示差异不显著; 标准差(\pm SD)反映组内数据离散程度。

1) 按等级制定改良优先级见表 4

一等耕地(2 个样本, 1.7%): 各指标均最优(pH 7.42、有机质 33.44 g/kg、粘粒 28.65%), 无需改良, 重点采取“维持措施”(如秸秆还田、轮作绿肥), 防止有机质流失导致等级下降[6];

二等耕地(33 个样本, 28.0%): 仅需“轻微调控”——pH 值与一等无显著差异, 可通过增施腐熟有机肥(目标提升有机质至 25 g/kg 以上), 推动其向一等耕地转化;

三等耕地(54 个样本, 45.8%): 需“靶向改良”——核心问题是 pH 值跃升(8.07), 可施用硫磺粉或腐殖酸(每公顷 150~200 kg)调节 pH 至 7.8 以下, 同时补充有机肥, 避免向四等耕地退化;

四等耕地(29 个样本, 24.6%): 需“综合重度改良”——同步解决“高 pH(8.34)、低有机质(9.20 g/kg)、高砂砾(68.43%)”三大问题, 建议采用“黏土客土(降低砂砾占比)+ 酸性改良剂(调 pH)+ 高量有机肥(30 t/公顷)”的组合方案, 周期不少于 3 年。

2) 指标协同改良的关键路径

优先提升有机质: 通过秸秆还田、有机肥施用, 同步实现“降 pH、促粘粒团聚、减砂砾危害”三大效果;

针对性调节物理结构: 对砂砾含量 $> 60\%$ 的四等耕地(表 4 中四等均值 68.43%), 补充黏土(每公顷 200~300 m^3), 将砂砾含量控制在 50% 以下, 为有机质积累创造物理条件;

动态监测 pH 值: 将 pH=8.0 作为“警戒值”(表 4 中三等耕地均值 8.07), 超过此值及时干预, 避免进入“强碱-低肥”恶性循环。

4.2. 耕地土壤质量空间分异特征

基于综合指数法计算的耕地土壤质量综合指数(SQI)介于 35.2~72.6 之间,并结合模糊聚类分析结果,对耕地土壤质量等级进行划分。

优质耕地	$SQI \geq 60$
中质耕地	$40 \leq SQI < 60$
劣质耕地	$SQI < 40$

优质耕地占总耕地面积的 18.3%,集中分布于南部低山丘陵缓坡地带的暗栗钙土区及河流两岸的草甸土区,该区域土层深厚、质地适中、有机质含量高,且受沙化影响较小,土壤质量稳定;中质耕地占总耕地面积的 56.7%,主要分布于北部沙丘间平原的栗钙土区,土壤质地与肥力中等,存在轻度沙化风险,是全旗耕地的主体部分;劣质耕地占总耕地面积的 25.0%,全部集中于北部风沙土重度沙化区,土层浅薄、质地松散、有机质匮乏,耕地生产能力极低,且沙化风险持续加剧。

从空间分布来看,正蓝旗耕地土壤质量呈现明显的“南高北低”格局,与沙化土地的分布高度相关,沙化程度是制约耕地土壤质量的核心因素。

4.3. 沙化与耕地土壤质量的耦合关系

将沙化土地分布图与耕地土壤质量分布图叠加分析发现,沙化程度与耕地土壤质量呈显著负相关,相关系数达-0.87。轻度沙化区耕地 SQI 平均值为 58.2,中度沙化区为 45.7,重度沙化区仅为 32.5。沙化通过风力侵蚀导致耕地土层变薄、土壤粗粒化,同时破坏土壤团聚体结构,加速有机质分解流失,进而降低耕地土壤质量;而土壤质量下降又会导致地表植被覆盖度降低,进一步加剧沙化进程,形成“沙化-土壤退化”的恶性循环。

5. 讨论

5.1. 耕地资源质量分类成果的应用价值

多期耕地资源质量分类成果为正蓝旗耕地土壤分析提供了标准化、高精度的数据源,相较于传统野外采样方法,该成果覆盖全域耕地图斑,能够精准反映不同区域、不同年份耕地土壤的动态变化特征,尤其在北部沙区耕地的动态监测中优势显著。基于该成果的分析,可快速识别耕地土壤质量的关键制约因子,明确沙化与土壤退化的耦合机制,为沙区耕地保护提供靶向性依据。同时,耕地资源质量分类成果的连续性特征,可支撑耕地土壤质量的长期动态监测,为改良技术的效果评估提供数据支撑。

5.2. 正蓝旗不同沙化程度耕地土壤分区改良技术细则

基于正蓝旗耕地土壤“南高北低”的质量格局及沙化程度的空间分异特征,针对北部重度沙化劣质耕地区、中部中轻度沙化中质耕地区、南部低沙化风险优质耕地区三类区域,制定靶向性、可操作的土壤改良技术细则,打破“沙化-土壤退化”的恶性循环,实现耕地质量提升与防沙治沙协同推进[7]。

一、北部重度沙化劣质耕地区改良技术细则

该区域耕地土壤质量指数(SQI) < 40 ,核心特征表现为土层浅薄、质地松散、有机质匮乏,沙化风险等级达“极高”。改良核心目标聚焦三点:一是高效阻控风沙侵蚀,降低地表风蚀量;二是修复退化土壤结构,提升土壤黏结性与保水保肥能力;三是逐步退出耕地生产功能,平稳转向生态防护用地。

关键技术及用量标准

1) 工程固沙技术(秸秆方格沙障): 秸秆覆盖用量: 8170 kg/hm^2 , 用量依据为土壤有机质差距, 每缺失 1 g/kg 有机质增补 500 kg/hm^2 秸秆, 确保覆盖厚度 $8\sim 10 \text{ cm}$, 实现固沙与培肥双重效果。

2) 退耕还林还草技术(乔灌草混播): 种子用量: 19.1 kg/hm^2 , 用量依据为土壤砂砾含量差距, 通过灌木占比不低于 60% 的“乔-灌-草”混配模式, 强化固沙效率。

3) 耕地应急改良技术(耐贫瘠作物种植): 腐熟羊粪用量: $19,340 \text{ kg/hm}^2$, 用量依据为土壤有机质差距, 每缺失 1 g/kg 有机质增补 1000 kg/hm^2 腐熟羊粪, 同步提升土壤肥力与结构稳定性。

二、中部中轻度沙化中质耕地区改良技术细则

该区域耕地土壤质量指数(SQI)介于 $40\sim 60$ 之间, 是全旗耕地的主体部分, 土壤质地与肥力处于中等水平, 存在轻度沙化扩展风险。改良核心目标为: 提升土壤有机质含量, 改善土壤团粒结构, 降低沙化扩散风险, 稳定并提升耕地生产能力。

关键技术及用量标准

1) 保护性耕作技术(秸秆还田 + 免耕轮耕): 秸秆还田用量: 6000 kg/hm^2 , 用量依据为土壤有机质差距, 每缺失 1 g/kg 有机质增补 300 kg/hm^2 秸秆, 配合浅旋作业实现秸秆与表层土壤充分融合。

2) 有机肥配施技术(有机肥 + 微生物菌肥): 有机肥用量: $25,710 \text{ kg/hm}^2$, 用量依据为土壤有机质差距, 每缺失 1 g/kg 有机质增补 750 kg/hm^2 有机肥; 微生物菌肥固定用量 300 kg/hm^2 , 强化土壤养分循环效率。

3) 农田防护林配套技术: 配套施肥调整: 氮肥施用量 120 kg/hm^2 , 较常规种植减量 20% , 避免化肥过量导致土壤板结, 兼顾肥力提升与土壤保护。

三、南部低沙化风险优质耕地区改良技术细则

该区域耕地土壤质量指数(SQI) ≥ 60 , 土层深厚、质地适中、有机质含量较高, 沙化风险低。改良核心目标为: 维持土壤肥力稳定, 预防沙化入侵, 实现耕地质量持续提升, 保障优质高产可持续。

关键技术及用量标准

1) 测土配方精准施肥技术: 磷钾肥用量: 85.4 kg/hm^2 , 用量依据为土壤 pH 值差距, 每高于目标值 0.1 个单位, 磷钾肥用量增加 10% ; 氮肥用量 115.7 kg/hm^2 , 每高于目标值 0.1 个单位, 氮肥用量减少 5% , 预防土壤次生盐渍化。

2) 轮作休耕与土壤培肥技术: 绿肥翻压用量: $13,015 \text{ kg/hm}^2$, 用量依据为土壤有机质差距, 精准匹配土壤培肥需求, 提升土壤通气性与保水保肥能力。

3) 沙化预警与防控技术

核心作用: 建立沙化风险早期预警机制, 及时采取防控措施, 阻断沙化入侵路径, 保障优质耕地质量稳定。

5.3. 研究不足与展望

本研究仅选取四项土壤理化指标进行分析, 未纳入土壤微生物、酶活性等生物指标, 对土壤质量的评价不够全面; 此外, 对人为耕作措施与土壤质量演变的耦合关系探讨不足。未来可结合长期定位观测数据, 增加生物指标与人为因素的分析, 构建更全面的耕地土壤质量评价体系; 同时, 开展沙化区耕地土壤改良技术的田间试验, 量化不同改良技术的实施效果, 为正蓝旗耕地保护与生态治理提供更精准的技术支撑。

6. 结论

本研究基于多期耕地资源质量分类成果, 运用 GIS 技术、层次分析法等方法, 系统分析了正蓝旗耕

地土壤的理化特征、空间分异规律及沙化耦合关系, 并构建了分区改良技术体系, 得出以下结论:

正蓝旗耕地土壤呈现“南部厚、北部薄”的土层厚度格局, 质地以砂质壤土和砂土为主, 有机质含量中等偏低, 土壤整体呈弱碱性至碱性, 北部沙区土壤碱性强于南部低山丘陵区。

耕地土壤质量综合指数介于 35.2~72.6 之间, 空间分布呈“南高北低”格局, 优质耕地集中于南部丘陵及河流沿岸, 劣质耕地全部位于北部重度沙化区, 沙化程度与耕地土壤质量呈显著负相关, 相关系数达-0.87。

针对不同沙化程度耕地构建的分区改良技术细则, 可有效阻控风沙侵蚀、提升土壤肥力、打破“沙化-土壤退化”的恶性循环, 为正蓝旗耕地“三位一体”保护及防沙治沙工作提供科学依据。

参考文献

- [1] 自然资源部. TD/T1100-2024 耕地资源分区分类评价技术规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.
- [2] 国家林业和草原局. 全国防沙治沙规划(2021-2030年)[Z]. 2021.
- [3] 李保国, 张福锁. 土壤质量演变与持续利用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [4] 赵哈林, 李玉强. 科尔沁沙地土壤质量变化与生态恢复[J]. 生态学报, 2010, 30(12): 3317-3323.
- [5] 内蒙古自治区土壤普查办公室. 内蒙古土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1994.
- [6] 王涛, 吴薇. 中国北方沙漠化过程及其防治[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- [7] 张兴昌, 卢宗凡. 黄土高原保护性耕作与土壤水分管理[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 6-10.