

新疆北疆不同地貌区土壤多样性特征及主要影响因素分析

骆俊腾^{1,2}, 范燕敏^{1,2*}, 武红旗^{1,2}, 程军回^{1,2}, 盛建东^{1,2}, 杨睿^{1,2}, 愿彬彬^{1,2}

(1. 新疆农业大学资源与环境学院, 新疆乌鲁木齐 830052; 2. 新疆土壤与植物生态过程重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830052)

摘要:【目的】从不同地貌区的角度探索新疆北疆地区土壤多样性分布特征, 以及不同成土因素对土壤多样性特征的影响程度, 为新疆地区土壤保护和农业可持续发展提供科学依据。【方法】引入中国二级地貌区划作为研究区划分依据, 通过计算丰富度指数 (P_d)、多样性指数 (H)、均匀度指数 (E) 分析北疆地区土壤多样性分布特征; 利用地理探测器、种-面积曲线模型, 分析不同地貌区的母质、植被、地形地貌、气温和降水对土壤多样性的影响强度。【结果】棕漠土、棕钙土、灰棕漠土为北疆地区主要土壤类型, 不同地貌区面积与相应的 P_d 呈显著正相关; 土壤 H 表现为天山高山盆地 > 阿尔泰山高山 > 准噶尔盆地 > 新甘蒙丘陵平原, 其中新甘蒙丘陵平原土壤多样性、均匀度指数均为最低。北疆地区影响因素分析显示, 阿尔泰山高山的降水、新甘蒙丘陵平原、准噶尔盆地和天山高山盆地的母质是影响土壤多样性的主要因素。【结论】北疆地区土壤沙漠化严重, 土壤分布较为零散, 各土壤类型面积差别较大, 土壤环境和生态系统受到少数几种土壤影响; 不同地貌区的母质、植被、地形地貌、气温和降水对土壤多样性的影响强度有所差异, 但主要影响因素并未发生明显改变。

关键词: 种-面积曲线; 土壤多样性; 地理探测器; 北疆地区

中图分类号: S155 **文献标识码:** A **文章编号:** 0564-3945(2023)06-1261-10

DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2023051002

骆俊腾, 范燕敏, 武红旗, 程军回, 盛建东, 杨睿, 愿彬彬. 新疆北疆不同地貌区土壤多样性特征及主要影响因素分析 [J]. 土壤通报, 2023, 54(6): 1261 - 1270

LUO Jun-teng, FAN Yan-min, WU Hong-qi, CHENG Jun-hui, SHENG Jian-dong, YANG Rui, YUAN Bin-bin. Analysis of Soil Diversity Characteristics and Main Influencing Factors in Different Geomorphologic Regions of Northern Xinjiang [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2023, 54(6): 1261 - 1270

【研究意义】土壤是土地最为基础和重要的构成部分, 也是生物圈中最重要的生命支撑之一^[1]。而土壤多样性被广泛用于探索、量化和比较不同单元土壤模式的复杂性^[2]。新疆土壤类型繁多, 约占全国土壤类型的一半, 有着“中国盐碱土壤博物馆”的称号。因此, 探究北疆土壤多样性有助于新疆地区土壤管理和土壤保护, 同时为该地区农业可持续发展提供参考。【前人研究进展】Amundson 等^[3]提到: “保持土壤多样性对全球生物以及地球化学系统的稳定性和恢复力具有重要意义”。然而土壤多样性的概念和测量非常复杂, 这使其可以基于一系列定义进行广泛解释^[4-5]。1990 年 Ibáñez 等^[6]提出用生态学研究的方法来分析土壤圈层内土壤的类别多样性, 随后 Odeh^[7]对土壤多样性做了简单地定义。但因土壤多样性会受到内在因素 (土壤多样性本身) 和外在

因素 (影响土壤发生分类的因素) 的共同影响^[8], 直到如今都没有得出统一的定义。21 世纪初, 以张学雷^[9]、孙燕瓷^[10] 为代表将土壤多样性的概念引入中国, 并对国外研究进行深度剖析, 这为土壤多样性在中国的发展奠定了基础。近期研究中, Smirnova 等^[11] 利用香农和辛普森指数成功对西阿尔泰山区进行大规模生态系统测绘以及植被、土壤和生态系统多样性的定量评估。Tonggang 等^[12] 在对太行山地区土壤多样性进行的研究中进一步证实一定尺度下丰富度与面积呈现正相关关系。【本研究切入点】从土壤多样性的不断发展可以看出探索和量化土壤多样性的重要性是不容置疑的^[13-15], 然而通过阅读大量文献, 并未发现以往研究对干旱和半干旱地区新疆土壤多样性的影响因素进行过定性定量分析。【拟解决的问题】本研究引入中国二级地貌区划^[16] 作为研

收稿日期: 2023-05-10; 修订日期: 2023-07-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (32260280) 资助

作者简介: 骆俊腾 (1998-), 男, 新疆沙湾市人, 硕士研究生, 主要从事土壤分类调查和 3s 技术应用研究。E-mail: 2656748785@qq.com

*通讯作者: E-mail: fanymin@xjau.edu.cn

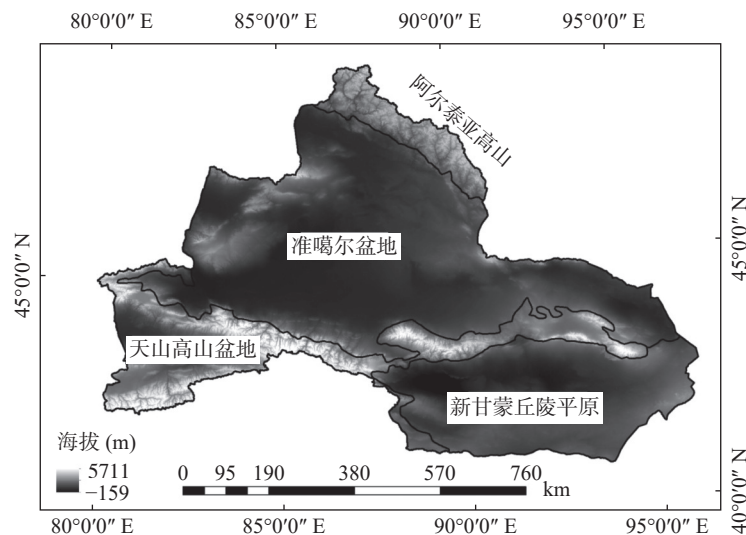
究区划分依据,选取相关景观格局指数探究北疆土壤多样性分布特征;应用地理探测器、种-面积曲线模型、移动窗口技术,讨论分析不同地貌区的母质、植被、地形地貌、气温和降水对土壤多样性的影响强度。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

新疆位于中国西北部,地貌大致可描述为“三山夹两盆”,是中国占地面积最广的行政区。研究区域位于新疆天山北部地区,常称为北疆(42°08′~48°03′N, 80°36′~95°55′E),该地区面积约占全疆

的 27%,属于温带大陆性干旱半干旱气候。全年平均气温约为 4~9℃,降水量可达到 150~200 mm,降水量自西向东逐渐递减,气候特征也随经度和降水量变化呈现出干旱趋势。北疆地区面积辽阔,土壤类型分布较广,地形地貌复杂多样,四季分明,不同的土壤类型,其成土母质、成土过程、土壤性质也有所变化。因此,对整个区域进行研究分析很难体现出土壤多样性特征规律,应当研究在不同地貌区上的土壤多样性特征。依据中国二级地貌区划将研究区分为:阿尔泰亚高山、新甘蒙丘陵平原、天山高山盆地、准噶尔盆地四个区域(图 1)。



注:本图基于地理空间数据云网站下载的 SRTMDEMUTM 90 m 分辨率数字高程数据制作,底图无修改。

图 1 研究区地貌区划图

Fig.1 Geomorphic zoning map of the research area

1.2 数据来源及处理

为探究研究区内土壤多样性分布特征及其主要影响因素,将成土因素(气候、母质、植物、地形、时间)作为土壤多样性的影响因子。由于在以往研究中已经证明每个地貌区当中土壤的成土时间是相对一致的^[16],故本研究不考虑时间因素。土壤类型数据和影响因子数据如图 2 所示。

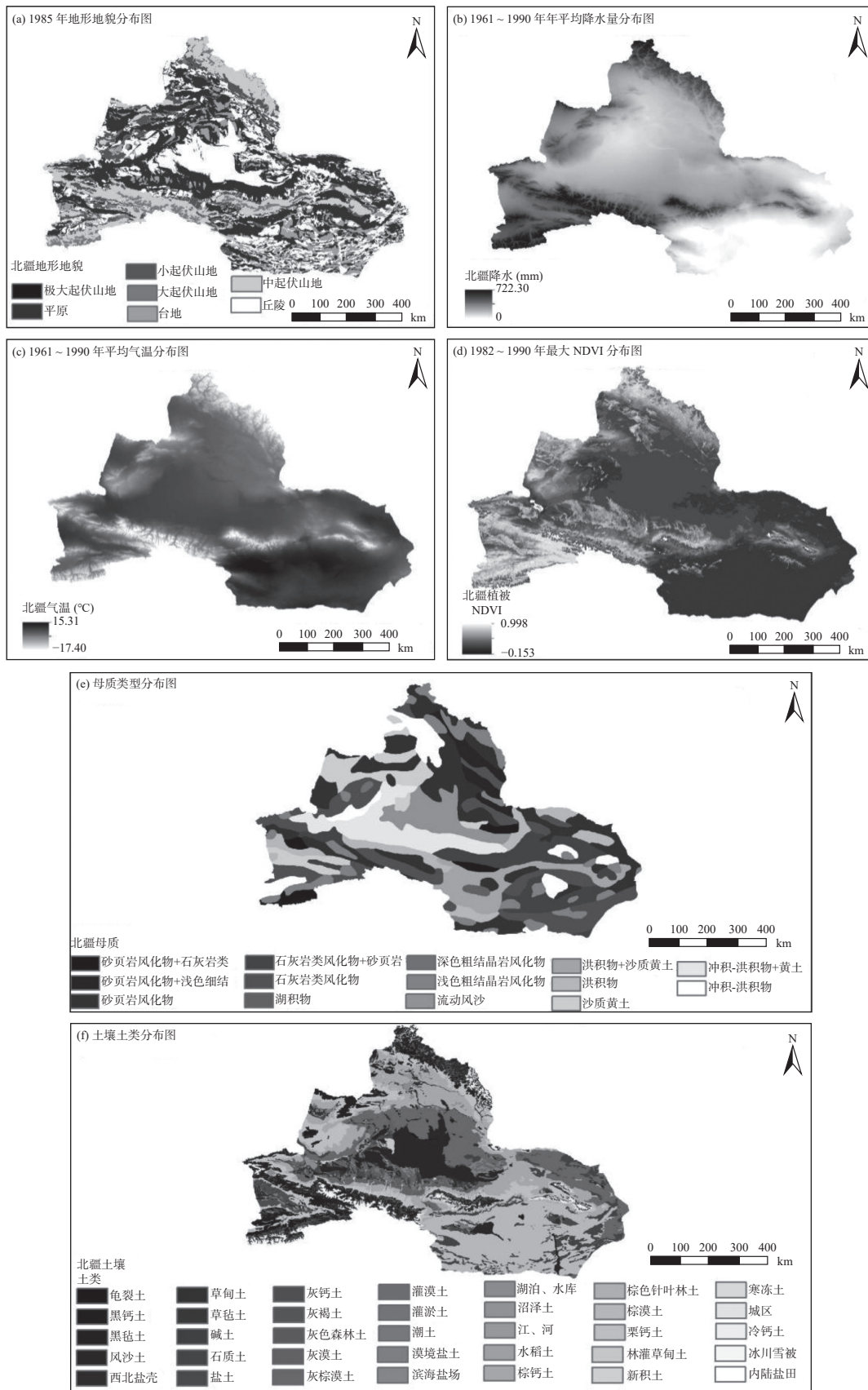
1.2.1 地形地貌数据 采用 SRTM 的 90 m 分辨率数字高程数据产品,使用 ArcGIS 10.7 的空间分析模块对该数据进行提取,得到北疆地区 DEM 数据。利用 3D 分析模块提取等值线,按照中国大陆地形划分标准,提取出平原、丘陵、台地、小起伏山地,中起伏山地、大起伏山地和极大起伏山地共 7 种地形

类别。

1.2.2 气象数据 使用 Python 3.7 对国家级地面气象站日值数据集进行提取,获得新疆 1961~1990 年间 104 个气象站点的气象数据。使用 Anusplin 结合 DEM 数据对其进行插值处理,获得北疆地区 30 年间降水量分布图和平均气温分布图。

1.2.3 植被 (NDVI) 数据 新疆地形的复杂多样使得新疆气候拥有多样性,这也意味着新疆植物的多样性。本研究植被数据来源于关晓斌等^[17]自 1982 年以来,通过融合 MODIS 和 AVHRR 产品生成全球 1 km 的 NDVI 数据集,每月间隔一次,从中提取得到北疆 1982~1990 年分布情况。

1.2.4 母质及土壤类型数据 母质数据来源于北京



注:NDVI 为归一化植被指数。

图 2 北疆地区土壤类型及影响因子分布图

Fig.2 Distribution map of soil type and influencing factors in Northern Xinjiang

大学城市与环境学院地理数据平台, 将全疆划分为 21 种母质类型, 使用 ArcGIS 10.7 提取出北疆地区母质类型。

土壤类型数据来自于新疆维吾尔自治区土壤普查办公室和中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所 1995 年联合编制并出版的《1:100 万新疆维吾尔自治区土壤图》矢量化生成, 依据全国土壤类别划分体系将其以土类单位进行显示划分。

1.3 研究方法

1.3.1 土壤多样性计算方法 在 20 世纪 90 年代, 西班牙学者伊伯内兹提出用生态学的方法分析土壤多样性^[18]。本研究引入景观格局指数, 以土壤土类为基础划分单位, 同时为使计算数据更具有代表性, 依据中国二级地貌区划^[16]将北疆地区划分为 4 个地貌区。探讨北疆地区土壤类型的离散程度高低以及多样性分布特征。利用丰富度指数 (P_a) 判断土壤类型的数量, 见公式 (1)。

$$P_a = S \quad (1)$$

式中, S 为一定区域土壤类型数量。

多样性指数 (H) 反映土壤之间的差异性以及多样性, 见公式 (2)。该指数在土壤类型分布不均匀的情况下效果最为明显。

$$H = - \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i \quad (2)$$

式中, S 是丰富度, P_i 是第 i 种土壤类型的面积占该区域总面积的比例。

均匀度指数 (E) 反映土壤类型在一定区域当中分布的均匀情况, 见公式 (3)。

$$E = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{H}{\ln S} \quad (3)$$

式中, $H_{\max} = \ln S$, 为所有土类以等概率出现时 H 的数值。 E 的取值范围为 0~1, 数值越大表明研究对象在该范围内分配越均匀。如果 $E = 1$ 说明在该范围内全部研究对象的数量一致, 就该范围内的土壤来说, 表明所有土类覆盖面积一致; 相反 $E = 0$ 则表明一种土类占了该区域的所有面积。

1.3.2 确定最佳分析窗口 为使定量分析四个地貌区影响因素的结果具有可靠性, 需确定每个地貌区土壤多样性研究的最佳分析窗口大小, 以保证每个地貌区具有相同采样精度 (即比例因子)。在以往研究中表明, 生物多样性和土壤多样性有着相类似的模式, 如丰富度—面积关系^[19]。本研究基于移动窗

口技术, 使用确定生物多样性最佳取样面积的种—面积曲线模型^[20]分别拟合不同分析窗口的土壤丰富度 (窗口范围为 5~100 km, 共设置 20 个分析窗口, 以每次 5 km 的大小逐渐递增), 寻找最佳拟合曲线, 使用其所对应的计算公式从而确定最佳分析窗口。该模型的拟合可以分为饱和曲线和非饱和曲线两种方法^[21], 两种曲线的区别在于非饱和曲线需要提前知晓群落中的总物种数, 而饱和曲线可以对总物种数进行估计。本研究使用 5 种非饱和曲线对不同地貌区进行拟合, 见公式 (4)~(8)。使用决定系数 (R^2) 来判别曲线模型拟合是否成功。 R^2 的结果越大, 说明此模型均方差和误差平方的比值就会越小, 实际值与所估计的值也就越接近, 数据更加准确。以此期望可以获得适用于北疆地区不同地貌区土壤类型多样性分析的最佳拟合曲线。

$$S = b + aA \quad (4)$$

$$S = b + a \ln(A) \quad (5)$$

$$S = a \ln(A+1) \quad (6)$$

$$S = a \ln(bA+1) \quad (7)$$

$$S = aA^b \quad (8)$$

式中, A 为窗口面积, S 为 A 当中的丰富度, a 、 b 为待估参数。方程的拟合使用 Origin 2021 软件完成。

上述五种非饱和曲线对应的最佳分析窗口计算方式为公式 (9)~(13)。

$$A = (\rho S_i - b) / a \quad (9)$$

$$A = \exp((\rho S_i - b) / a) \quad (10)$$

$$A = \exp(\rho S_i / a) - 1 \quad (11)$$

$$A = \exp(\rho S_i / a) / b - 1 \quad (12)$$

$$A = (\rho S_i / a)^{1/b} \quad (13)$$

式中, 比例因子 (ρ) 反映研究区域内所出现物种占全部物种数的百分比。因此, 想要得到最大土壤多样性 (S_i) 在一定比例下的最佳分析窗口, 需要确定比例因子 (ρ) 的大小。 ρ 值通常在 0.6~0.9 之间。

1.3.3 确定土壤多样性的影响因素 地理探测器是由因子探测器、交互探测器、风险探测器、生态探测器组成。地理探测器要求使用的自变量数据必须为独立且离散型的数据^[22], 需利用 ArcGIS 10.7 对连续型数据按照需求采用自然间断点的方式进行划分。本研究当中使用因子检测器和生态检测器, 王劲峰等^[22]提到因子探测器可以探测 y 的空间分异性, 同

时还可以用于判断某个因子 x 对 y 属性的解释程度, 解释程度越高表明该因子对土壤多样性有较强影响; 生态探测器可以探究因子对土壤多样性的影响是否存在显著的差异。使用因子探测器来定量描述土壤多样性的影响因素 (用 q 值来衡量), 见公式 (14)。同时使用生态探测器对定量结果进行验证, 可以保证数据准确性 (用 F 统计量来判断), 见公式 (15) ~ (16)。

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (14)$$

式中: q 为环境因子对土壤多样性的解释程度 ($0 < q < 1$); L 为子区域数; σ_h^2 为子区域中内部变化情况; σ^2 为研究区域方差; N_h 和 N 分别为子区域 h 以及这个区域的单元数。

$$F = \frac{N-L}{L-1} \frac{q}{1-q} \sim F(L-1, N-L; \lambda) \quad (15)$$

$$\lambda = \frac{1}{\sigma^2} \left[\sum_{h=1}^L Y_h^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{h=1}^L \sqrt{N_h} Y_h \right)^2 \right] \quad (16)$$

式中: L 是子区域的数量, N 是观测的数量, λ 是非中心参数; Y_h 是变量第 h 个子区域内观测值的平均值。 N_h 是第 h 个子区域内的观测次数; σ^2 表示研究区域的方差。

2 结果与分析

2.1 北疆地区土壤多样性分析

由图 3 可知阿尔泰山高山和天山高山盆地主要土壤类型为黑钙土、栗钙土等。由于受到高海拔的影响, 两个地区冬季漫长而酷寒, 降水量较高, 植被类型较为复杂; 同时生活在这里的人类主要以畜牧业为主, 不聚集居住, 因此人类和动物活动对土壤多样性的干扰有限。这使得两个地区的土壤均匀度指数和土壤多样性指数相比其他地区较高, 土壤分布比较均匀, 土壤稳定性强。

新甘蒙丘陵平原土壤类型较为单一, 主要为棕漠土, 占比达到 69.17%。准噶尔盆地中心拥有中国第二大沙漠古尔班通古特沙漠, 固定、半固定沙丘占绝对优势, 使得该地区土壤主要以棕钙土、灰棕漠土等为主。两个地区均以降水量低, 蒸发量高, 干燥、高温、多风, 植被类型简单为主要特征。作为人类主要生产生活区, 流动人口较为复杂, 农业和工业水平发达。在气候因素和人为因素双重影响下, 造成土壤类型变化剧烈, 继而使得多样性指数

和均匀度指数发生人为改变。同时受到沙漠所带来的影响, 土地荒漠化和沙化严重, 土壤类型分布极不均匀, 面积差异巨大, 最大相差 54.49%, 土壤稳定性弱。

综合来看, 表 1 当中各区的土壤丰富度指数, 土壤多样性指数, 均匀度指数均具有显著性差异。在四个二级地貌区当中, 准噶尔盆地的土壤丰富度指数最高, 阿尔泰山高山最低。由此可以看出北疆地区不同地貌区面积与土壤丰富度指数呈明显的正相关关系。相比来看, 土壤多样性指数与地貌区面积变化却不呈现出相应规律。多样性指数从高到低依次为天山高山盆地 > 阿尔泰山高山 > 准噶尔盆地 > 新甘蒙丘陵平原。在考虑土壤多样性的同时还需要考虑土壤类型在该范围内分配的均衡程度, 即均匀度指数。数据显示, 阿尔泰山高山土壤均匀度指数最高, 达到 0.81; 新甘蒙丘陵平原的土壤均匀度最低, 仅为 0.42。

2.2 最佳分析窗口的拟合

不同地貌区窗口面积—土壤丰富度关系见图 4。可以明显看出每个地貌区的土壤丰富度随窗口大小的增加而增加, 但是增长速率并不相同。起初, 土壤丰富度随着窗口面积的逐渐增加而急剧增加, 但是当窗口面积超过一个特定临界值时, 土壤丰富度的增加逐渐归于平缓。受到成土条件, 外部环境等因素的影响, 不同的研究区域最终获得的最优丰富度—面积曲线模型有可能是不同的。因此本研究利用 Origin 2021 采用公式 (4) ~ (8) 五种非饱和和曲线模型对窗口面积—土壤丰富度关系曲线进行拟合运算, 得到不同地貌区的最佳拟合方程, 各曲线模型拟合结果见表 2。

根据表 2 结果可知, 对于不同地貌区土壤土类的丰富度—面积关系, $S = aA^b$ 的 R^2 具有最高的拟合精度, 值均高于 0.98。由此可知需使用 $A = (\rho S_t / a)^{1/b}$ 来获得相同采样精度 (比例因子) 下 4 个地貌区土壤多样性研究的最佳分析窗口。本研究中比例因子设定为 0.7, 根据计算得到阿尔泰山高山最佳分析窗口为 32 km, 新甘蒙丘陵平原为 57 km, 天山高山盆地为 51 km, 准噶尔盆地窗口值最大, 达到 59 km。

2.3 北疆土壤多样性主要影响因素识别

因子探测器结果显示 (图 5), 在阿尔泰山高山, 降水对土壤多样性的解释程度为 8.96%, 高于其他影响因子, 这表明主要影响该地区土壤多样性的因素为降水。对于新甘蒙丘陵平原、天山高山盆地以及

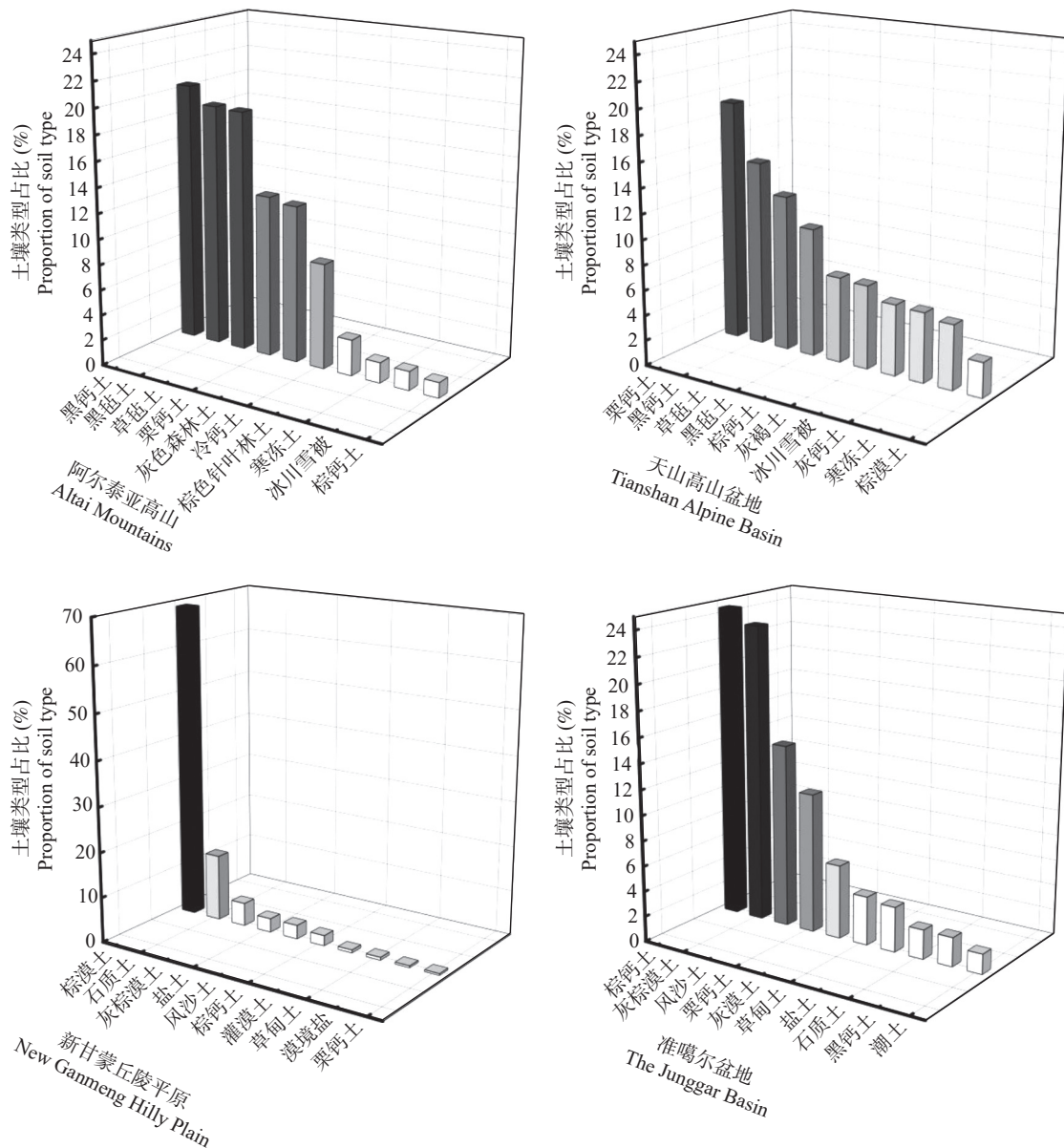


图 3 不同地貌区主要土壤类型
Fig.3 Main soil type in different geomorphologic regions

表 1 不同地貌区土壤类型丰富度指数、多样性指数、均匀度指数

Table 1 Richness index, Diversity index and Uniformity index of soil types in different geomorphologic regions

地貌区 Geomorphologic region	面积占比 (%) Area proportion	丰富度指数 Richness index	多样性指数 Diversity Index	均匀度指数 Uniformity Index
阿尔泰亚高山	6.300	14	1.385	0.809
新甘蒙丘陵平原	21.789	18	0.564	0.418
天山高山盆地	22.071	25	1.651	0.757
准噶尔盆地	49.840	30	1.065	0.563

准噶尔盆地而言，母质是影响土壤多样性的主要因素，解释程度分别为 24.04%，16.93% 和 45.15%。从生态探测器的显示结果来看（图 6），在四个地貌区中各因子对于土壤多样性的解释程度没有显著的差异，均小于 $p_{0.05}$ 水平，表明因子探测器计算结果可信。

由此可以看出，母质是土壤多样性特征变化的主要贡献者。母质在长期发育当中，通过众多自然变化逐步发展成为成熟的土壤类型，从根本上影响土壤多样性，不同母质形成的土壤其物理和化学性质均具有广泛差异；从空间的角度分析来看，这些自然变化是同步发生的。因此，哪怕是在相同的环

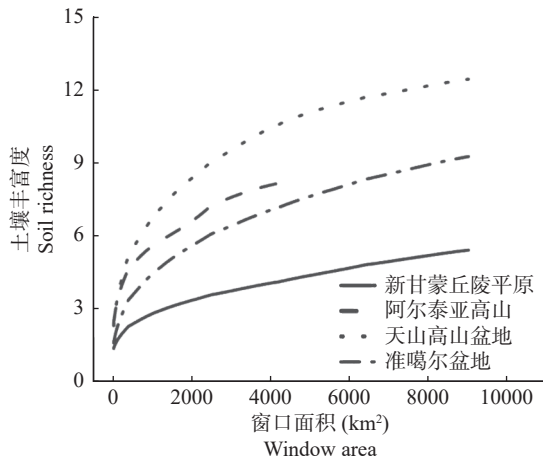


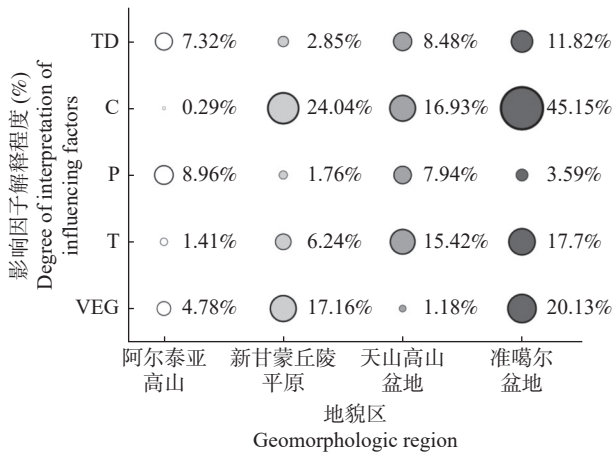
图4 窗口面积-土壤丰富度关系曲线
Fig.4 Window area -soil richness relationship curve

境条件当中也可能产生处于不同发育阶段的土壤, 这可能是导致土壤分类系统将土壤定义为不同土壤类型的原因之一。而气候条件的好坏又直接或间接地影响成土过程中物理、化学和生物作用的强度和方向, 从而影响土壤类型和属性的变化。但针对于北疆地区研究发现, 除阿尔泰亚高山特殊的自然条件导致降水成为其主要影响因素外, 在其他研究区域当中降水和地形地貌对土壤多样性的影响能力有限, 均处于较后位置。说明降水和地形地貌并不能决定北疆土壤多样性的变化特征, 这可能与相同地貌区地形地貌起伏程度较小有关, 同时与新疆常年降水量稀少的事实相符。

表2 不同地貌区拟合结果
Table 2 Fitting results of different geomorphologic regions

非饱和曲线模型 Unsaturated curve model	阿尔泰亚高山 Altai Mountains			新甘蒙丘陵平原 New Ganmeng Hilly Plain			天山高山盆地 Tianshan Alpine Basin			准噶尔盆地 The Junggar Basin		
	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b	R^2	a	b
$S = b + aA$	0.876	0.001	3.829	0.922	0.003	2.237	0.823	0.001	5.383	0.893	0.001	3.411
$S = b + a \ln(A)$	0.950	1.138	-1.891	0.890	0.741	-1.910	0.950	1.930	-5.710	0.912	1.440	-4.722
$S = a \ln(A + 1)$	0.893	0.863	\	0.792	0.792	\	0.807	1.196	\	0.746	0.834	\
$S = a \ln(bA + 1)$	0.958	1.215	0.133	0.920	0.892	0.030	0.978	2.321	0.021	0.964	1.947	0.010
$S = aA^b$	0.993	1.067	0.243	0.986	0.420	0.277	0.995	0.965	0.283	0.999	0.471	0.327

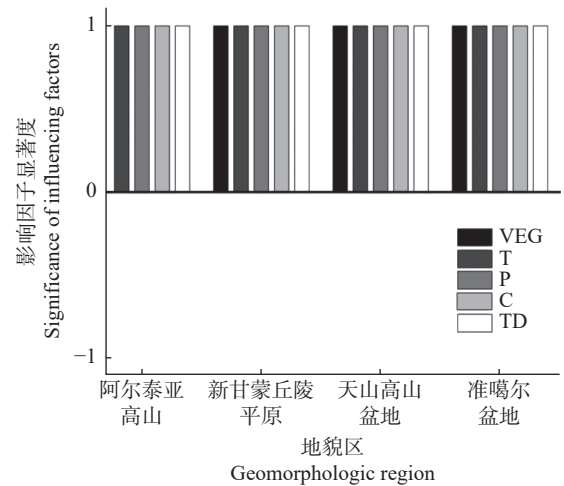
注: R^2 为决定系数, a 和 b 为待估参数。



注: TD 表示地形地貌; C 表示母质; P 表示降水量; T 表示平均气温; VEG 表示植被。下同。

图5 不同地貌区各因子解释程度

Fig.5 Interpretation degree of various factors in different geomorphologic regions



注: 1 表明环境因素对土壤多样性的影响存在显著差异, -1 表明没有显著差异。

图6 不同地貌区生态探测器结果

Fig.6 Ecological detector results in different geomorphologic regions

3 讨论

新疆北疆地区土壤以棕漠土, 棕钙土, 灰棕漠土等土壤为主, 其分布面积较大, 造成年降水量相比全国较少, 但蒸发蒸腾量大, 并且降水分布极不均匀, 给农业生产带来极大挑战^[23]。本研究通过使用

丰富度指数、多样性指数、均匀度指数等景观格局指数来关联分析土壤多样性分布特征, 并且使用地理探测器, 种-面积曲线定量分析影响土壤多样性的主要因素。为新疆北疆地区土壤多样性研究给予

重要理论补充,为进行合理化治理土壤,植被恢复、以及人为设施建设等方面的发展提供科学依据,同时突出不同影响因子对于改善土壤性质和促进土壤生物多样性发展的积极作用。

研究发现,土壤类型丰富度都随着研究区面积的增加而呈现出上升趋势,而 Ibáñez 等^[6]也同样指出:排除以大陆板块为研究区这种大尺度对全球土壤多样性进行分析的情况下可能造成一定差异,大多情况下丰富度与面积也呈现出相同趋势。但本研究中土壤多样性指数与研究区面积却不呈现正相关关系,这与陈杰等^[24]以海南岛不同母岩上发育的土壤为例,对土壤多样性进行分析与测度所得出的结果不同,这是由于多样性是表示在一定的生态系统当中土壤各方面的综合体现,并不是针对土壤的个体数目进行简单的测量,还要考虑土壤所处环境当中其他多种因素对它的影响程度。准噶尔盆地和新甘蒙丘陵平原为新疆北疆地区人类主要生产生活区,且土壤类型的识别与划分均由人为制定,在这一过程当中,也不排除受到人为因素的干扰,这与姚尧等^[13]得出土壤多样性受到土壤分类精度、地块单元面积以及所包含各土类面积等综合因素的影响观点不谋而合。

通过阅读大量文献发现,针对新疆地区土壤多样性进行定量分析的相关研究较少。刘洪蓬、蒋平安等^[15]利用土壤多样性理论方法分析罗布泊地区的土壤多样性,再次证实在新疆地区使用景观生态学的观点来解释土壤多样性的结果,能更好地说明土壤分布的性质,但并未对影响因素进行全方面的定量分析。因此,通过参考前人对于沙漠化地区土壤多样性研究理论,同时将地理探测器用于地学研究,对北疆地区土壤多样性的影响因素进行定性定量分析,与任圆圆等^[4]使用改进的仙农熵指数计算不同地形下土壤空间分布多样性的研究方法相比更加完善,所选取的研究区域也更具有代表性。本研究也有不足之处,与李笑莹等^[25]将耕地作为人为因素对中国中东部样区空间分布多样性特征进行研究相比,还缺少考虑人类活动对土壤多样性影响的定量分析,以及与其他地区或国家进行比较分析,从而增加研究结果的普遍适用性。

4 结论

将北疆地区划分为天山高山盆地、阿尔泰亚高

山、准噶尔盆地、新甘蒙丘陵平原四种不同地貌区,对各区分布土壤的多样性及其影响因素进行研究,得出以下结论:

(1)北疆地区土壤沙漠化较为严重,部分地区生态环境脆弱,分布的主要土类有棕漠土、棕钙土、灰棕漠土。各地貌区土壤类型丰富度随研究区面积的增加而呈现上升趋势,但土壤多样性指数与研究区面积之间却不呈正相关关系,说明当地土壤多样性特征是由土壤分类方法、各类土壤面积以及成土条件等因素综合决定的。

(2)各地貌区土壤多样性主要影响因素除阿尔泰亚高山区为降水以外,其他地貌区均为母质。但不同地貌区的母质、植被、地形地貌、气温和降水对土壤多样性的影响强度有所差异。

(3)实践表明,用生态学的观点和方法表征北疆地区土壤多样性特征及其影响因素,所得结果合理,且具有良好的可操作性。

参考文献:

- [1] 孙 鹏. 河南省土壤母质与其他多自然要素的多样性格局特征及关联分析[D]. 郑州: 郑州大学, 2018.
- [2] 任圆圆, 张学雷. 从土壤多样性到地多样性的研究进展[J]. 土壤, 2018, 50(2): 25 - 230.
- [3] Amundson R, Berhe A A, Hopmans J W, et al. Soil and human security in the 21st century[J]. Science, 2015, 348(6235): 36 - 8075.
- [4] 任圆圆, 张学雷. 以地形为基础的河南省域土壤多样性的格局[J]. 土壤通报, 2017, 48(1): 22 - 31.
- [5] 任圆圆, 张学雷. 土壤多样性研究趋势与未来挑战[J]. 土壤学报, 2015, 52(1): 9 - 18.
- [6] 段金龙, 张学雷, 李卫东, 等. 土壤多样性理论与方法在中国的应用与发展[J]. 地球科学进展, 2014, 29(9): 995 - 1002.
- [7] 高凤君, 章家恩, 郭治兴. 土壤多样性研究进展[J]. 中国土壤与肥料, 2012, 17(2): 1 - 7.
- [8] Mikhailova E A, Zurqani H A, Post C J, et al. Soil Diversity (Pedodiversity) and Ecosystem Services[J]. Land, 2021, 10(3): 2 - 34.
- [9] 任圆圆, 张学雷. 河南省多级地貌特征及与土壤多样性的关系[J]. 土壤, 2019, 51(1): 142 - 151.
- [10] 孙燕瓷, 张学雷, 陈 杰. 城市化对苏州地区土壤多样性的影响[J]. 应用生态学报, 2005, 16(11): 2060 - 2065.
- [11] Smirnova M A, Bochamnikov M V. Ecosystem, vegetation and soil diversity of the mountain forest-steppe of West Altai (a case study of the Tigirek State Natural Reserve)[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021, 908(1): 1755 - 1761.
- [12] Fu T G, Han L P, Gao H, et al. Pedodiversity and its controlling

- factors in mountain regions — A case study of Taihang Mountain, China[J]. *Geoderma*, 2018, 310(15): 230 – 237.
- [13] 姚 尧, 张有佳, 李晓丹, 等. 连古城国家级自然保护区的土壤多样性分布研究[J]. *云南农业大学学报:自然科学*, 2020, 35(5): 892 – 898.
- [14] 金 佳, 裴 亮. 基于阜新市的土壤多样性与土地利用类型关联性分析[J]. *测绘与空间地理信息*, 2018, 41(1): 205 – 210.
- [15] 刘洪蓬, 蒋平安, 武红旗, 等. 罗布泊地区土壤多样性研究[J]. *新疆农业科学*, 2011, 48(4): 707 – 711.
- [16] 李炳元, 潘保田, 程维明, 等. 中国地貌区划新论[J]. *地理学报*, 2013, 68(3): 291 – 306.
- [17] Guan X, Shen H, Wang Y, et al. Fusing MODIS and AVHRR products to generate a global 1-km continuous NDVI time series covering four decades[J]. *Copernicus GmbH*, 2021, 156(1): 1 – 32.
- [18] 邓红眉. 江汉平原土壤中、小尺度下的空间分异研究[D]. 武汉: 华中师范大学, 2013.
- [19] 刘灿然, 马克平, 于顺利, 等. 北京东灵山地区植物群落多样性研究Ⅵ. 几种类型植物群落物种数目的估计[J]. *生态学报*, 1998, 18(2): 28 – 40.
- [20] 马淑琴, 康佳鹏, 薛正伟, 等. 塔里木荒漠河岸林灰胡杨群落最小面积确定与研究方法比较[J]. *植物科学学报*, 2017, 35(4): 494 – 502.
- [21] 任学敏, 杨改河, 王得祥, 等. 长白山几类植物群落灌木及草本层的最小取样面积研究[J]. *西北植物学报*, 2011, 31(5): 1024 – 1031.
- [22] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116 – 134.
- [23] 吴秀兰, 张太西, 王 慧, 等. 1961—2017年新疆区域气候变化特征分析[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2020, 14(4): 27 – 34.
- [24] 陈 杰, 张学雷, 赵文君, 等. 土壤多样性及其测度——以海南岛不同母岩上发育的土壤为例[J]. *地理科学*, 2001, 21(2): 145 – 151.
- [25] 李笑莹, 张学雷, 任圆圆. 中国中东部样区土壤、地形与耕地空间分布多样性特征[J]. *土壤通报*, 2020, 51(2): 289 – 299.

Analysis of Soil Diversity Characteristics and Main Influencing Factors in Different Geomorphologic Regions of Northern Xinjiang

LUO Jun-teng^{1,2}, FAN Yan-min^{1,2*}, WU Hong-qi^{1,2}, CHENG Jun-hui^{1,2},
SHENG Jian-dong^{1,2}, YANG Rui^{1,2}, YUAN Bin-bin^{1,2}

(1. School of Resources and Environment, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. Key Laboratory of Soil and Plant Ecological Processes, Urumqi 830052, China)

Abstract: [Objective] Soil diversity is widely used to explore, quantify, and to compare the complexity of soil patterns in different units. This paper explores the distribution characteristics of soil diversity and the influence of different soil forming factors on soil diversity in Northern Xinjiang from the perspective of different geomorphic regions, providing scientific basis for Soil conservation and sustainable agricultural development in Xinjiang. [Method] This study introduces China's secondary geomorphic regions as the basis for dividing the study area, and introduces relevant indicators such as Richness Index (P_a), Diversity Index (H), and Uniformity Index (E) to explore the characteristics of soil diversity in Northern Xinjiang in arid and semi-arid regions; Using geographic detectors, species area curve models, and moving window techniques, discuss and analyze the intensity of the impact of parent materials, vegetation, topography, temperature, and precipitation on soil diversity in different geomorphologic regions. [Result] The results showed that brown desert soil, brown calcium soil and gray brown desert soil were the main Soil type in Northern Xinjiang, and the area of different geomorphic regions was significantly positively correlated with the corresponding richness index; And the soil Diversity index is Tianshan Alpine Basin > Altai Mountains > The Junggar Basin > New Ganmeng Hilly Plain. The soil diversity and uniformity index in the New Ganmeng Hilly Plain are the lowest, indicating that the soil distribution in this area is relatively scattered, and the area of each soil type varies greatly. A few soils control the soil distribution in this area. The results of the factor detector show that in the Altai Mountains, the explanation level of precipitation for soil diversity is 8.96%, which is higher than other influencing factors. This indicates that the main influencing factor of soil diversity in the region is precipitation. For the New Ganmeng Hilly Plain, Tianshan Alpine Basin and the Junggar Basin, parent material is the main factor affecting soil diversity, with the interpretation degree of 24.04%, 16.93% and 45.15% respectively. From the display results of the ecological detector, there is no significant difference in the degree of explanation of soil diversity among the four geomorphic regions, all of which are below the 0.05 level, indicating that the calculation results of the factor detector are reliable. [Conclusion] Based on this, two conclusions can be drawn: First, the soil desertification in Northern Xinjiang is relatively serious, and the ecology of some areas is fragile, and the ecological environment is controlled by a few kinds of soils. Secondly, there are differences in the intensity of the impact of parent material, vegetation, topography, temperature, and precipitation on soil diversity among different geomorphic regions in the Northern Xinjiang region, but the main influencing factors have not changed significantly. At the same time, different soil area, Soil type distribution and soil forming conditions will directly or indirectly affect the results of soil diversity.

Key words: Seed area curve; Soil diversity; Geographic detectors; Northern Xinjiang

[责任编辑: 韩春兰]