

分类号：
学号：20212018024

密级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



天山北坡生态系统服务权衡/协同分析 及服务簇识别

学位申请人	张明羽
指导教师	张正勇教授
申请学位门类级别	理学硕士
学科、专业名称	地理学
研究方向	生态系统服务
所在学院	理学院

中国·新疆·石河子
2024年5月

分类号：
学号：20212018024

密级：公开
单位代码：10759

石河子大学

硕士学位论文



天山北坡生态系统服务权衡/协同分析 及服务簇识别

学位申请人	张明羽
指导教师	张正勇教授
申请学位门类级别	理学硕士
学科、专业名称	地理学
研究方向	生态系统服务
所在学院	理学院

中国·新疆·石河子
2024年5月

**Trade-offs and synergies analysis and service bundles
identification of ecosystem services on the northern slope of Tianshan
Mountains**

A Dissertation Submitted to

Shihezi University

In Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Natural Science

By

Zhang Mingyu

(Cartography and Geography Information System)

Dissertation Supervisor: Prof. Zhang Zhengyong

May, 2024

石河子大学学位论文独创性声明及使用授权声明

学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是在我导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确的说明并表示谢意。

研究生签名：

张明羽

时间：2024年5月6日

使用授权声明

本人完全了解石河子大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文在学校图书馆保存并允许被查阅。有权自行或许可他人将学位论文编入有关数据库提供检索服务。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

研究生签名：

张明羽

时间：2024年5月6日

导师签名：

张正勇

时间：2024年5月6日

摘要

生态系统服务 (ESs) 是生态系统向人类提供的具有经济、生活和文化价值的服务, 与生态过程紧密相连。在全球变暖和城市化进程加快的背景下, 人类活动加剧了生态系统的退化, 进而影响生态系统产品和服务的供给和协调, 给人类社会及生态环境的可持续发展带来挑战。天山北坡作为中国西北典型的干旱区绿洲, 生态环境脆弱, 对气候变化与人类活动高度敏感。人类生产生活空间不断挤占生态空间, 加剧影响了天山北坡生态系统的平衡和稳定, 使得经济与生态之间可持续的双赢目标难以实现。因此定量分析 ESs 时空格局及其内在关联和相互作用, 识别生态系统服务簇 (ESB) 及其影响因子, 对实现多种 ESs 间良性互动的生态功能分区管控具有重要理论价值和现实意义。本文通过模拟天山北坡 2000、2010 和 2020 年水源供给 (WY)、土壤保持 (SDR)、生境质量 (HQ)、碳储存 (CS)、防风固沙 (SFC) 和食物供给 (FS) 等典型生态服务功能, 分析其时空格局及变化规律, 并采用 Pearson 分析方法和地理加权回归 (GWR) 模型探测多重 ESs 功能权衡/协同的空间关系, 借助自组织映射网络 (SOM) 和随机森林模型识别 ESB 及其驱动因子, 最后提出相应的分区管理意见和建议。结果表明:

(1) 2000-2020 年天山北坡生态系统服务空间分布格局相对稳定, WY、SDR、SFC 均呈现“南高北低”的空间分布特征, HQ、CS 和 FS 则呈现“高低相间”的带状分布格局; 研究期间, 除 HQ 和 SFC 服务外, 其余服务均波动增加; 北部荒漠及城市群的生态系统服务功能普遍趋于降低; 冰川和未利用地 WY 能力最强; 草地、林地的 SDR、SFC、CS 和 HQ 功能突出; 耕地、建设用地和未利用地 HQ 较差; 高寒区是水源供给的主产区, 绿洲区是主要食物供给区, 荒漠区各项功能均最低。

(2) 天山北坡 ESs 存在 12 种协同关系, WY 是产生权衡关系的主要服务功能; 20 年间 WY-SDR、WY-SFC、HQ-FS 的协同关系减弱, WY-CS 的权衡关系持续增强, 其余服务对均趋向于相互增益。GWR 回归结果显示, 生态系统服务间存在明显的时空分异, 强权衡和强协同区域较少, 弱权衡和弱协同区域居多, 研究期间仅有 WY-SDR 和 HQ-FS 于 2010 年由协同转变为权衡关系。草地是协同关系最多的地类; 城建用地、冰川则是权衡关系最多的地类; 耕地则普遍趋向权衡发展。高寒区整体表现为协同状态; 绿洲区协同组合多但关系较弱, 除 SFC-FS 外均渐趋权衡方向, 且以 HQ 为主导; 荒漠区亦以协同组合居多, SFC 与其他 ESs 间的权衡关系突出。

(3) 基于 DBI 指数利用 SOM 将天山北坡划分为: 供给生活簇 (B1)、固土保育簇 (B2)、水源涵养簇 (B3)、生态过渡簇 (B4)、服务贫瘠簇 (B5) 和固碳调节簇 (B6)。B1 位于天山北坡中部绿洲区, FS、CS 和 HQ 功能优势明显; B2 是生态系统服务功能最丰富的区域, SDR 和 SFC 功能占比最大; B3 是面积最小的服务簇, 集中分布于高寒冰雪带, 簇内 WY 功能最强; B4 介于冰川和森林之间, 是一个复合过渡簇; B5 多年平均面积占比 33.13%, 是面积最大的服务簇; B6 多年平均

面积占比为 29.32%，CS 和 HQ 功能突出。20 年间，B5 簇面积减少最多，B1、B4 簇面积增加，B2 和 B6 簇面积较稳定。

(4) 不同时期各因子对生态系统服务簇的形成贡献度差异显著，自然因素为其空间分布及演化奠定了基础，但是社会经济发展的影响正逐年增加。POP 对 B1 分布的影响最大；B2、B3、B4 主要受降水、温度和高程等自然因素的影响；B5 和 B6 既受自然因素的影响，也受社会经济因子的控制，但 GDP 对 B1、B2、B6 的影响力在逐年上升；最后针对六类服务簇提出相应的管理建议。

关键词：生态系统服务；权衡与协同；生态系统服务簇；随机森林；天山北坡

Abstract

Ecosystem services (ESs) are the services provided by ecosystems to humans with economic, living and cultural values, which are closely related to ecological processes. Under the background of global warming and accelerated urbanization, human activities have aggravated the degradation of ecosystems, which in turn affects the supply and coordination of ecosystem products and services, and brings challenges to the sustainable development of human society and ecological environment. As a typical arid oasis in Northwest China, the northern slope of the Tianshan Mountains has a fragile ecological environment and is highly sensitive to climate change and human activities. The continuous occupation of ecological space by human production and living space has exacerbated the impact on the balance and stability of the ecosystem on the northern slope of the Tianshan Mountains, making it difficult to achieve a sustainable win-win goal between economy and ecology. Therefore, it is of great theoretical value and practical significance to quantitatively analyze the spatial and temporal pattern of ESs and their internal correlation and interaction, and to identify the ecosystem service cluster (ESB) and its influencing factors, so as to realize the management and control of ecological function zoning with benign interaction among various ESs. In this thesis, the typical ecological service functions such as water yield (WY), soil conservation (SDR), habitat quality (HQ), carbon storage (CS), windbreak and sand fixation (SFC) and food supply (FS) in the northern slope of Tianshan Mountains in 2000, 2010 and 2020 were simulated, and their spatial and temporal patterns and changes were analyzed. Pearson analysis method and geographically weighted regression (GWR) model were used to detect the spatial relationship of multiple ESs function trade-offs/synergies, and self-organizing map (SOM) and random forest model were used to identify ESB and its driving factors. Finally, the corresponding zoning management opinions and suggestions were put forward. The results show that:

(1) From 2000 to 2020, the spatial distribution pattern of ecosystem services on the northern slope of the Tianshan Mountains was relatively stable. WY, SDR and SFC all showed the spatial distribution characteristics of 'high in the south and low in the north', while HQ, CS and FS showed the zonal distribution pattern of 'high and low'. During the study period, except for HQ and SFC services, the other services fluctuated and increased; the ecosystem service of the northern desert and urban agglomeration generally tends to decrease; glaciers and unused land have the strongest WY capacity; the SDR, SFC, CS and HQ of grassland and woodland are prominent; the HQ of cultivated land, construction land and unused land was poor; the alpine region is the main producing area of water supply, the oasis area is the main food supply area, and the desert area has the lowest functions.

(2) There are 12 kinds of synergistic relationships in ESs on the northern slope of Tianshan Mountains, and WY is the main service function to generate trade-off relationship. In the past 20 years, the synergy

between WY-SDR, WY-SFC and HQ-FS has weakened, the trade-off between WY-CS has continued to increase, and the remaining service pairs have tended to gain each other. The GWR regression results show that there are obvious spatial and temporal differences between ecosystem services. There are few strong trade-offs and strong synergy areas, and most of them are weak trade-offs and weak synergy areas. During the study period, only WY-SDR and HQ-FS changed from synergy to trade-off relationship in 2010. The grassland is the land type with the most synergistic relationship; urban construction land and glaciers are the most trade-off land types; cultivated land generally tends to balance development. The overall performance of the alpine region is in a synergistic state; there are many synergistic combinations in the oasis area, but the relationship is weak. Except for SFC-FS, they are gradually balanced and dominated by HQ. The desert area is also dominated by synergistic combinations, and the trade-off relationship between SFC and other ESs is prominent.

(3) Based on the DBI, SOM was used to divide the northern slope of the Tianshan Mountains into: supply life bundle (B1), soil conservation bundle (B2), water conservation bundle (B3), ecological transition bundle (B4), service barren bundle (B5) and carbon sequestration regulation bundle (B6). B1 is located in the central oasis area of the northern slope of Tianshan Mountains, with obvious functional advantages of FS, CS and HQ. B2 is the region with the most abundant ecosystem service functions, with SDR and SFC functions accounting for the largest proportion; B3 is the smallest service bundle, which is concentrated in the alpine ice and snow zone, and the WY in the bundle is the strongest. B4 is a composite transition cluster between glaciers and forests. The multi-year average area of B5 accounted for 33.13 %, which was the largest service bundle. The multi-year average area of B6 accounts for 29.32 %, and CS and HQ have outstanding functions. During the 20 years, the area of B5 bundle decreased the most, the area of B1 and B4 bundles increased, and the area of B2 and B6 bundles was relatively stable.

(4) The contribution of each factor to the formation of ESB in different periods is significantly different. Natural factors have laid the foundation for its spatial distribution and evolution, but the impact of social and economic development is increasing year by year. POP has the greatest influence on the distribution of B1; B2, B3 and B4 are mainly affected by natural factors such as precipitation, temperature and elevation; B5 and B6 are affected by both natural factors and socio-economic factors, but the influence of GDP on B1, B2 and B6 is increasing year by year. Finally, the corresponding management suggestions are put forward for the six types of service clusters.

Key words: Ecosystem services; Trade-off and coordination; Ecosystem services bundle; Random forest; Northern slope of Tianshan Mountains

目 录

摘 要	I
ABSTRACT.....	III
第一章 绪 论.....	1
1.1 选题背景与研究意义.....	1
1.2 国内外研究综述.....	3
1.2.1 生态系统服务内涵及评估	3
1.2.2 生态系统服务权衡/协同关系研究进展	5
1.2.3 基于生态系统服务簇的生态管控研究	6
1.3 研究目标、内容与技术路线.....	8
1.3.1 研究目标.....	8
1.3.2 研究内容.....	8
1.3.3 研究思路与技术路线.....	8
1.4 研究拟解决的关键问题.....	9
第二章 研究方法与数据来源.....	10
2.1 研究区概况	10
2.1.1 地理空间位置	10
2.1.2 自然资源条件	10
2.1.3 社会经济条件	11
2.2 数据来源及处理.....	12
2.3 生态系统服务评估.....	14
2.3.1 水源供给	14
2.3.2 土壤保持	15
2.3.3 生境质量	16
2.3.4 碳储存.....	17
2.3.5 防风固沙.....	18
2.3.6 食物供给	18
2.4 生态系统服务权衡/协同关系.....	19
2.4.1 相关性分析.....	19
2.4.2 地理加权回归模型	19
2.5 自组织映射网络.....	19
2.6 随机森林模型	20

2.7 小结	21
第三章 天山北坡生态系统服务时空分异特征	22
3.1 水源供给功能时空分异.....	22
3.1.1 水源供给功能时空分异整体特征	22
3.1.2 不同土地利用类型水源供给功能时空分异特征.....	23
3.1.3 不同地理分区水源供给功能时空分异特征.....	24
3.2 土壤保持功能时空分异.....	25
3.2.1 土壤保持功能时空分异整体特征	25
3.2.2 不同土地利用类型土壤保持功能时空分异特征	26
3.2.3 不同地理分区土壤保持功能时空分异特征.....	27
3.3 生境质量功能时空分异.....	28
3.3.1 生境质量功能时空分异整体评估	28
3.3.2 不同土地利用类型生境质量功能时空分异特征	29
3.3.3 不同地理分区生境质量功能时空分异特征评估	30
3.4 碳储存功能时空分异.....	31
3.4.1 碳储存功能时空分异整体特征	31
3.4.2 不同土地利用类型碳储存功能时空分异特征	32
3.4.3 不同地理分区碳储存功能时空分异特征	33
3.5 防风固沙功能时空分异.....	34
3.5.1 防风固沙功能时空分异整体特征	34
3.5.2 不同土地利用类型防风固沙功能时空分异特征	35
3.5.3 不同地理分区防风固沙功能时空分异特征	35
3.6 食物供给功能时空分异.....	36
3.6.1 食物供给功能时空分异整体特征	36
3.6.2 不同土地利用类型食物供给功能时空分异特征	37
3.6.3 不同地理分区食物供给功能时空分异特征	38
3.7 小结	39
第四章 生态系统服务权衡/协同时空格局分析	41
4.1 生态系统服务权衡/协同整体特征分析.....	41
4.1.1 生态系统服务权衡/协同相关性分析	41
4.1.2 生态系统服务权衡/协同分布特征分析	43
4.2 不同土地利用类型生态系统服务权衡/协同分析.....	44
4.3 不同地理分区生态系统服务权衡/协同分析.....	47
4.4 小结	49

第五章 生态系统服务簇时空格局及分区生态管控	51
5.1 生态系统服务簇空间分布	51
5.2 生态系统服务簇内权衡/协同关系	53
5.3 生态系统服务簇驱动因素分析	55
5.4 基于生态系统服务间关系的空间规划和管控对策	57
5.5 小结	60
第六章 结论与展望	62
6.1 主要结论	62
6.2 不足与展望	63
6.3 研究创新之处	64
致谢	72
作者简介	75

第一章 绪论

1.1 选题背景与研究意义

生态系统服务 (ESs) 是自然生态系统的属性, 直接或间接提供人文社会生产生活所需的产品, 实现生态系统服务的监测、模拟和评估, 不仅可以用于生态环境治理和土地空间规划等领域, 还能搭建起从生态系统研究到政策制定的重要桥梁, 用以维系并推动人类生存的可持续发展 (欧阳志云等, 1999; 傅博杰等, 2009; 李双成等, 2014; 彭建等, 2017)。社会经济发展加剧了人类活动对区域生态环境的影响, 造成了生态系统的失衡发展 (Vitousek P M et al., 1997; Fisher B et al., 2011)。联合国于 2005 年发布的千年生态系统评估 (MA) 报告揭示, 在过去半个世纪人口的迅猛增长、不合理开发应用、生境破碎等因素导致全球超过一半的生态系统服务发生了退化 (Assessment M E, 2005)。在生态文明建设的大背景下和人类社会快速发展的过程中, 如何促进经济发展与多种生态服务间良性互动, 如何有效评估和管理生态功能并进行有必要恢复以及加强对生态系统服务的有效管理, 依然是可持续发展研究领域最为紧迫的问题 (戴尔阜等, 2016; 匡文慧等, 2017; Xia H et al., 2023)。

生态系统服务间关系是制定生态系统可持续管理战略的前提条件, 对改善人类福祉具有积极的作用 (Xia H et al., 2023)。生态系统服务类型的多样性、空间异质性以及人类活动的干预导致生态系统服务之间在空间上呈现一种非线性关系 (朱广宇, 2019)。当一种生态系统服务的增强引起另一种生态系统服务的减少时就会产生权衡, 即二者间为此消彼长的权衡关系; 当多种生态系统服务同时增强时, 就会产生协同效应, 即相互增益的关系 (戴尔阜等, 2016)。如若缺乏对生态系统服务间关系的深入认识与理解, 过分依赖某一生态系统服务功能, 则会加剧其他生态系统功能的锐减和分布的萎缩, 从而导致生态系统服务、社会经济和生态环境间的恶性循环 (匡文慧等, 2017)。近年来, 生态系统服务权衡和协同关系研究区多集中于生态系统服务功能相对优越或经济发达的区域, 忽视生态敏感的干旱区域。虽然先前已有研究开展生态系统服务权衡/协同的研究, 但通常局限于单个的时间尺度, 但生态系统服务会随着时间的变化而变化, 忽视时间尺度的变化可能会导致对生态系统服务权衡/协同关系在时空上的错误理解。并且, 聚焦于测算多种生态系统服务间的关系, 辨识不同空间单元下权衡的类型特征, 可帮助决策者在区域可持续发展的框架下做出科学决策。但目前仅从定性角度检测 ESs 间的权衡/协同关系, 呈现出权衡和协同的二元结果, 不能精细刻画生态系统服务权衡/协同的空间异质性。因此, 如何定量表征具有连续结果的 ESs 间

权衡/协同强度，对生态过程机理探究和管理规划实践均具有重要意义。

在自然和社会经济因素的综合作用下，生态系统服务簇（ESB）内生态系统服务的供给水平、权衡或协同关系相似，不同 ESB 可以反映不同程度的人地耦合关系（申嘉澍等，2020）。划分 ESB 有助于更好的揭示生态系统服务在时空上的集聚模式，探究簇内生态系统服务间此消彼长或相互增益的权衡与协同关系，不仅有助于理解区域和内部的差异，也对多种生态系统服务优化管理具有重要意义（Bennett E M et al., 2009）。区域内生态环境问题繁多而导致无法针对性的提出政策建议，如若将不同耦合强度的复杂系统区分开来，将是最大化生态系统福祉的有效方式。近年来，自然过程受到人类活动的干扰造成多种生态系统服务交互关系的稳定性发生复杂变化（彭建等，2018）。越来越多的研究虽量化了不同驱动因素对生态系统服务形成的影响，但当某个因子对生态系统服务间权衡/协同关系同时具有相同的影响力时，并不一定会对服务簇产生重要影响（Huang J et al., 2023）。因此，开展服务簇驱动因素的研究，并在规划管理时加深对簇内权衡/协同关系、及不同簇内同种生态系统服务权衡/协同表现的认知，在保障生态系统健康和稳定的同时，更好的实现各分区对生态系统服务的多元化需求。

干旱区脆弱敏感的生态系统更容易受到人类活动和严重生态胁迫的影响，使得具有积极性的生态保护和可持续发展更难以实现。在全球气候变化的背景下，干旱事件的增加将对其他生态问题产生连锁效应，对生态系统产生不利影响（Stocker T F et al., 2013）。天山北坡坐落于亚欧大陆的核心地带，位于新疆准噶尔盆地的南端，北接广袤的古尔班通古特沙漠，南靠绵延的天山山脉，是我国西北干旱区内一个典型的山地与盆地相结合的自然系统。目前边缘荒漠化加剧、山地冰川融化退缩等问题已经严重制约了该区域的可持续发展。而天山北坡不仅是新疆经济最发达的区域，也是西部大开发的重点地区，绿洲城市群面临着资源和生态环境等突出的压力，不合理的造林导致水资源短缺和荒漠化，威胁着区域的生物多样性，人为因素干扰以及经济快速发展导致生态系统功能出现不同程度的退化。作为丝绸之路经济带的重要战略支撑点，天山北坡在中国持续向西开放中发挥着不可或缺的作用。因此，立足于以上生态问题，本研究选定水源供给、土壤保持、碳储存、生境质量、防风固沙和食物供给等6种典型生态系统服务，定量测度其在2000-2020年的时空变化特征，识别天山北坡的生态系统服务簇及影响各服务簇形成的驱动因子，并提出相应的分区建设及优化提升措施，为干旱区生态系统管理和空间规划决策、提升居民福祉、维持或推动天山北坡的可持续发展等提供借鉴和科学参考。