

分类号: Q94
学号: 20222006020

密级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学 硕士学位论文



新疆阿魏资源量及种群恢复限制因子研究

学位申请人	王琴
指导教师	董合干副教授
申请学位门类级别	理学硕士
学科、专业名称	生物学
研究方向	植物学
所在学院	生命科学学院

中国·新疆·石河子
2025年5月

分类号: Q 94
学 号: 20222006020

密 级: 公开
单位代码: 10759

石河子大学

硕 士 学 位 论 文



新疆阿魏资源量及种群恢复限制因子研究

学 位 申 请 人	王 琴
指 导 教 师	董合干副教授
申请学位门类级别	理学硕士
学 科 、 专 业 名 称	生物学
研 究 方 向	植物学
所 在 学 院	生命科学学院

中国·新疆·石河子
2025年5月

**Research on the Resource Quantity and Population Recovery
Limiting Factors of *Ferula sinkigensis* K.M. Shen**

A Dissertation Submitted to
Shihezi University
In Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Natural Science

By Wang Qin

(Biology)

Dissertation Supervisor: Prof. Dong He-gan

May, 2025

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

本人所提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：王 琴

时间：2025 年 5 月 23 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：王 琴
导师签名：董合干

时间：2025 年 5 月 23 日

时间：2025 年 5 月 23 日

摘要

新疆阿魏 (*Ferula sinkigensis* K.M. Shen) 为多年生一次开花结实的早春荒漠类短命植物, 具有极高的经济价值和药用价值, 过度采挖、环境的恶劣、以及新疆阿魏繁殖缓慢, 导致种群分布范围锐减, 本研究以新疆阿魏为对象, 2022-2023 年, 在分布区调查了新疆阿魏的分布面积、种群数量、植株数量, 明确了新疆阿魏的年龄结构, 定量计算了新疆阿魏的资源存量及种子产生潜力; 通过相关性热图、PCA 分析、森林随机模型等方法, 从生物因子 (植物多样性)、非生物因子 (土壤理化性质) 两方面, 探究了新疆阿魏种群恢复的限制因子; 基于现在新疆阿魏分布点位和“历史”分布点位, 通过最大熵模型 (MaxEnt), 明确了新疆阿魏在伊犁河谷的适生情况, 结果如下:

1、新疆阿魏资源量研究。(1) 新疆阿魏总分布面积为 322.84 hm²。其中有 12 个密度较大的相对独立种群 (核心分布区), 占总分布面积的 19.7%; (2) 新疆阿魏现存 907100 株, 其中 71% 在核心分布区; (3) 新疆阿魏年龄结构呈增长型; (4) 2023 - 2031 年, 估测新疆阿魏种子将产生 411.21×10⁴粒, 可支持最大穴播 2877.9 hm²。

2、新疆阿魏种群恢复的限制因子研究。(1) 新疆阿魏在分布区呈现不均一性分布特征, 其中坡底 (3.06 株/m²) > 坡中 (1.45 株/m²) > 坡顶 (0.70 株/m²); (2) 新疆阿魏种群恢复与有机质、全氮、碱解氮等非生物因子呈正相关, 与电导率等非生物因子呈负相关, 结合新疆阿魏表现出坡下多坡上少的种群分布特点, 对不同坡位的土壤进行土壤质量 (SQI) 计算, 发现坡下 (0.469) > 坡中 (0.438) > 坡上 (0.363), 土壤质量与新疆阿魏分布密度显著正相关; (3) 新疆阿魏种群恢复与早春 (新疆阿魏生长前期)、晚春 (新疆阿魏生长后期) 的物种数量、辛普森指数、香农威纳指数、均一度等生物因子呈正相关, 与早春、晚春的群落密度等生物因子呈负相关; (4) 将非生物因子和生物因子综合考虑排序后发现, 水分、早春群落密度、电导率、碱解氮、除新疆阿魏外早春群落密度是影响新疆阿魏种群恢复的前五名的生态因子, 其中水分、碱解氮是正相关, 早春群落密度、电导率、除新疆阿魏外早春群落密度是负相关。

3、新疆阿魏在伊犁河谷的适生区研究。在伊犁河谷, 新疆阿魏高适生区占 7.3% (19516.8 km²), 集中分布于伊宁县、伊宁市、尼勒克县和巩留县; 新疆阿魏次适生区占 8.2% (21922.9 km²), 集中分布于尼勒克县、巩留县、特克斯县和伊宁县。

综上所述, 本研究明确了新疆阿魏资源量, 为种质资源保护提供支撑, 量化了影响新疆阿魏种群恢复的限制因子、适生区, 为新疆阿魏的野外抚育和人工栽培提供重要的数据和技术研发支撑。

关键词: 新疆阿魏; 年龄结构; 生物因子; 非生物因子; 适生区

Abstract

Ferula sinkiensis K. M. Shen, a perennial short-lived plant that flowers and sets seeds only once in early spring in the desert, has extremely high economic and medicinal value. Over-harvesting, harsh environment, and the slow reproduction of *F sinkiensis* have led to a sharp reduction in its distribution range. This study focused on *F sinkiensis* and investigated its distribution area, population size, and plant quantity in its distribution area from 2022 to 2023. The age structure of *F sinkiensis* was clarified, and the resource stock and seed production potential of *F sinkiensis* were quantitatively calculated. Through correlation heat maps, PCA analysis, and forest random models, the limiting factors for the population recovery of *F sinkiensis* were explored from both biological factors (plant diversity) and abiotic factors (soil physical and chemical properties). Based on the current and "historical" distribution points of *F sinkiensis*, the MaxEnt model was used to determine the suitable habitat of *F sinkiensis* in the Ili River Valley. The results are as follows:

1. Research on the resource quantity of *F sinkiensis*. (1) The total distribution area of *F sinkiensis* is 322.84 hm². Among them, there are 12 relatively independent populations with high density (core distribution area), accounting for 19.7% of the total distribution area; (2) There are currently 907,100 plants of *F sinkiensis*, of which 71% are in the core distribution area; (3) The age structure of *F sinkiensis* is growing; (4) From 2023 to 2031, it is estimated that *F sinkiensis* will produce 411.21×10^4 seeds, which can support the maximum seeding of 2877.9 hm².

2. Research on the limiting factors for the population recovery of *F sinkiensis*. (1) *Ferula sinkiensis* K. M. Shen shows a heterogeneous distribution pattern in its distribution area, with the bottom of the slope (3.06 plants/m²) > the middle of the slope (1.45 plants/m²) > the top of the slope (0.70 plants/m²); (2) The population recovery of *F sinkiensis* is positively correlated with abiotic factors such as organic matter, total nitrogen, and alkali-hydrolyzable nitrogen, and negatively correlated with abiotic factors such as electrical conductivity. Considering the population distribution characteristics of *F sinkiensis*, which is more at the bottom of the slope and less at the top, the soil quality (SQI) of different slope positions was calculated, and it was found that the bottom of the slope (0.469) > the middle of the slope (0.438) > the top of the slope (0.363), and soil quality is significantly positively correlated with the distribution density of *F sinkiensis*; (3) The population recovery of *F sinkiensis* is positively correlated with biological factors such as the number of species, Simpson index, Shannon-Wiener index, and evenness in early spring (the early growth period of *F sinkiensis*) and late spring (the late growth period of *Ferula sinkiensis*), and negatively correlated with biological factors such as community density in early spring and late spring; (4) After ranking the abiotic and biotic factors comprehensively, it was found that water, early spring community density, electrical conductivity, alkali-hydrolyzable nitrogen, and the density of early spring communities excluding *F sinkiensis* are the top five

ecological factors affecting the population recovery of *F sinkiensis* , among which water and alkali-hydrolyzable nitrogen are positively correlated, and early spring community density, electrical conductivity, and the density of early spring communities excluding *F sinkiensis* are negatively correlated.

3. Research on the suitable habitat of *F sinkiensis* in the Ili River Valley. In the Ili River Valley, the high suitable habitat for *F sinkiensis* accounts for 7.3% (19,516.8 km²), mainly concentrated in Yining County, Yining City, Nalati County, the sub-optimal habitat of *F sinkiensis* accounts for 8.2% (21,922.9 km²), they are mainly distributed in Nilihe County, Gongliu County, Tekes County and Yining County.

In conclusion, this study clarified the resource quantity of *F sinkiensis* , providing support for the protection of germplasm resources, quantified the limiting factors and suitable habitats affecting the population recovery of *F sinkiensis* , and provided important data and technical research support for the field management and artificial cultivation of *F sinkiensis* .

In conclusion, this study clarified the resource quantity of *F sinkiensis* , providing support for the protection of germplasm resources, quantified the limiting factors and suitable habitats affecting the population recovery of *F sinkiensis* , and provided important data and technical research support for the field management and artificial cultivation of *F sinkiensis* .

Key words: *Ferula sinkiensis* K. M. Shen ; age structure; biological factors; abiotic factors; suitable habitat area

目录

摘要.....	1
Abstract.....	II
第1章 绪论.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 国内外研究现状.....	3
1.2.1 植物资源存量研究.....	3
1.2.2 植物种群恢复限制因子研究.....	5
1.2.3 适生区的研究.....	8
1.3 本课题的研究目的、研究意义、研究内容及技术路线图.....	9
1.3.1 研究目的与研究意义.....	9
1.3.2 研究内容.....	10
1.3.3 技术路线.....	10
第2章 材料与方法.....	12
2.1 新疆阿魏资源存量研究.....	12
2.1.1 研究区概况.....	12
2.1.2 新疆阿魏现存资源量.....	12
2.1.3 新疆阿魏年龄结构.....	14
2.1.4 统计分析方法.....	14
2.2 新疆阿魏分布区非生物因子和生物因子特征研究.....	14
2.2.1 样品收集.....	14
2.2.2 实验设计.....	15
2.2.3 数据处理与分析.....	17
2.3 新疆阿魏在伊犁河谷的适生区研究.....	17
2.3.1 物种分布数据收集与处理.....	17
2.3.2 气候数据来源与处理.....	17
2.3.3 最大熵模型的构建和评估.....	18
第3章 结果.....	19
3.1 新疆阿魏资源存量特征研究.....	19
3.1.1 新疆阿魏现存资源量研究.....	19
3.1.2 新疆阿魏种群年龄结构.....	20

3.1.3 2023 年-2027 年、2023 年-2031 年新疆阿魏种子产量预测	21
3.2 新疆阿魏分布区非生物因子和生物因子特征研究	22
3.2.1 新疆阿魏不同坡位密度	22
3.2.2 土壤特性对新疆阿魏生长的影响	23
3.2.3 不同坡位的土壤质量指数与新疆阿魏种群密度的关系	31
3.2.4 生物影响因子和新疆阿魏生长的关系	32
3.2.5 各因子的 PCA 分析和随机森林模型分析	38
3.3 新疆阿魏在伊犁河谷的适生区研究	39
3.3.1 模型结果可信度评价	39
3.3.2 主要环境因子	40
3.3.3 潜在分布区及其适生区等级划分	42
第 4 章 讨论	44
4.1 新疆阿魏资源存量研究	44
4.2 新疆阿魏种群增长的主要限制因子研究	45
4.2.1 水分、电导率和碱解氮是影响新疆阿魏种群恢复的非生物影响因子	45
4.2.2 土壤质量评价	46
4.2.3 早春群落密度是影响新疆阿魏种群恢复的生物影响因子	46
4.3 新疆阿魏在伊犁河谷的潜在适生区	47
第 5 章 总结和展望	49
5.1 研究结论	49
5.2 展望	50
参考文献	51
致 谢	59
作者简介	61

第 1 章 绪论

1.1 前言

野生植物资源作为生物多样性的核心组成部分，是国家的战略资源，也是中药产业和中医药事业发展的重要物质基础^[1,2]。随着全球气候变化、栖息地破碎化及人类活动加剧，野生植物资源的可持续利用与保护已成为国际社会关注的焦点^[3]。多年生类短命植物作为干旱及半干旱区生态系统的关键物种，在维持生态稳定和抑制水土流失方面具有重要生态功能。它通过利用早春的雨水或融雪完成生长周期^[4]，在提升荒漠区土壤理化性质、维系区域物种多样性以及保障生态结构持久性等方面具有不可忽视的生态价值^[5,6]。然而，由于自然、人为因素和本身特性的影响，多年生类短命植物的生存情况不容乐观。在全球气候变化背景下，极端气候事件频发，如高温、干旱、暴雨、土地沙化等，导致植物生长受限，甚至死亡^[7,8]；多年生类短命植物生长周期短，在生态系统中的地位和作用容易被忽视，过度放牧、保护力度不足、大力开采等人为活动也加剧了多年生类短命植物生存环境的恶化；多年生类短命植物自身普遍有生命周期短、繁殖速度慢、适应和种间竞争能力的特点。因此，开展多年生类短命植物资源调查、种群特征及其恢复的限制因子研究，提出针对性保护措施，在维系干旱区生物群落多样性及保障生态功能可持续性方面具有核心支撑作用。

新疆阿魏 (*Ferula sinkigensis* K.M. Shen) 隶属于伞形科阿魏属，其独特的生态适应策略使其成为早春短命植物类群中的典型代表，它通过缩短生命周期（通常在春季融雪后快速完成萌芽、开花、结实全过程），成功适应了干旱区短暂的湿润期环境。作为区域性特有种，仅见于新疆伊犁河谷流域；其物候特征表现为三月中旬萌芽，至五月底至六月初完成地上部分生命周期，所蕴含的阿魏胶被证实具有抗炎及调节凝血功能等作用，可治疗胃溃疡、胃癌和宫颈癌等疾病，作为蒙古族、维吾尔族、藏族等民族医学体系传统药用的基原植物，于首部《中国药典》（1977 年版）实现法定化入编，作为法定中药在我国使用^[9]。新疆阿魏有极高的经济价值和药用价值^[10-12]，致使其在 20 世纪 80 年代被过度采挖，种群分布范围锐减，根据国务院出台的《野生药材资源保护管理条例》要求，该物种作为受法律保护的濒危药用资源，其开发、利用、交易等活动必须严格遵守法定程序，任何单位和个人不得擅自采集、买卖或破坏新疆阿魏已被正式列入国家二级重点保护野生药材物种名录，已经被列为国家珍惜濒危植物^[13]；种子具有典型的生理休眠机制，其胚发育需经历长达数月的形态后熟过程，且种皮存在透水透气性障碍，导致田间发芽率普遍低于 15%。该物种营养生长期持续 5-7 年，需积累足够光合产物才能

启动生殖生长，这种生活史策略虽保障了荒漠生境下的生存适应性，却显著延长了种群更新周期^[14]。

2015年，农业农村部在伊宁县喀什镇建立新疆阿魏原生境保护区，近十年来，保护区内新疆阿魏植株数量有所增加，但在保护区内不同生境（如不同坡位）种群恢复不均匀。新疆阿魏的现存资源量（尤其种子潜在产量）是多少？种群恢复的关键因子是什么？在伊犁河谷哪些区域更适合野生恢复/人工种植？解决以上问题可实现新疆阿魏的大面积野外繁育和大田种植，从而实现保护该种质资源和促进当地农牧民增收的目标。

新疆阿魏原生境保护区为山地荒漠草原，地形多样性下形成生境多样性，新疆阿魏在不同生境下（不同坡位）种群恢复差异大（图 1-1），在新疆阿魏生境中坡上的密度明显少于坡中和坡下，这为我们提供了天然的试验地，依托此试验地，本研究对新疆阿魏的资源量量化、种群恢复限制因子及其潜在分布区的相关研究，为干旱区濒危野生药用植物的可持续利用和保护提供支持。

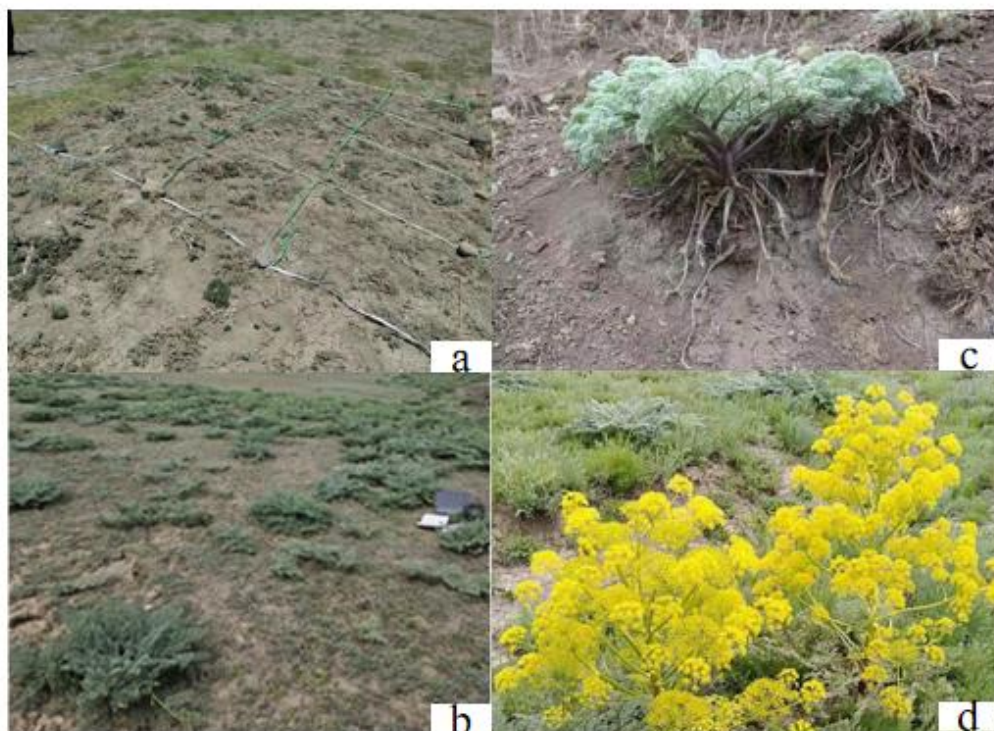


图 1-1 新疆阿魏生境图

Fig.1-1Habitat of *Ferula sinkiangensis* K.M. Shen

注：图 (a) 为新疆阿魏种群在坡上的分布；图 (b) 为新疆阿魏种群在坡下的分布；图 (c) 为未开花的新疆阿魏；图 (d) 为开花的新疆阿魏。

Note: Figure (a) shows the distribution of *Ferula sinkiangensis* K.M. Shen population on the slope; Figure (b) shows the distribution of *Ferula sinkiangensis* K.M. Shen population at the foot of the slope; Figure (c) shows the unflowered *Ferula sinkiangensis* K.M. Shen; Figure (d) shows the flowering *Ferula sinkiangensis* K.M. Shen.

1.2 国内外研究现状

1.2.1 植物资源存量研究

植物资源量是指植物种群在特定时间内占据的空间和包含的个体和物种数量，资源量的大小对珍稀濒危植物自然种群的恢复极为重要，它是衡量植物种群健康和生存状况的关键指标，较大资源量的植物种群往往拥有更多的遗传多样性和更强的适应能力^[15]，有助于植物适应环境变化；明确种群年龄，为种群动态特征时空异质性提供量化研究框架，进而精准揭示种群世代更替机制^[16]。

植物群落密度动态与空间异质性特征间存在显著耦合关联^[17]，种群密度格局定量解

析,是种群时空动态特征的理论根基,更是分析物种濒危机制和提出保护对策的重要依据^[18],足够的资源量为植物提供了充足的生长空间和繁殖材料,这对于种群的繁衍和扩散至关重要。秦爱丽等^[19]对国家二级重点保护植物新疆野苹果的物种数量、结构进行调查,发现不同点位的野苹果的幼苗数量较少,病虫害、过渡放牧和收割牧草是造成伊犁种群衰退的主要因素,针对新疆野苹果野生种群的保护需求,本研究通过构建多维度监测体系,为该物种的原生境保护、种群动态管理及生态修复工程提供理论支撑;与此同时,李乃伟研究团队对国家一级保护野生植物宝华玉兰开展了系统性资源调查与评估,明确了宝华玉兰的资源量,为保护该植物的策略提供了理论支撑^[20]。

新疆阿魏基于第三次全国中药资源普查(1987年),分布面积有1400 hm²(单位面积密度7980株/hm²),受气候变化及人类活动双重影响,该物种的种群规模呈现显著下降趋势,当前分布范围已缩减至133 hm²的临界阈值,其单位面积平均存活量维持在4185株/hm²的濒危水平^[21],2014年前后几乎没有种群更新^[22]。由上可知,新疆阿魏种群密度明显减少,部分区域甚至出现濒危现象,关于新疆阿魏分布区内进行更细致的种群划分,并对不同地理种群的分布面积、物种数量的研究几乎没有,并且新疆阿魏的人工种植技术尚不成熟,规模化种植推广难度较大,目前来看,关于新疆阿魏种群个体数量的问题需要开展更详细的研究来探索,这对新疆阿魏野外种群扩繁和大田规模种植起到至关重要的作用。

种群年龄结构反映不同发展阶段种群的地理分布特征^[23],也反映了种群的内部构成和种群的多样性;种群年龄结构为研究种群动态变化提供关键线索,明确种群随时间推移所经历的演化过程。年龄结构反映了种群与其外部环境之间的关系,从而揭示种群对环境变化的敏感性或是适应能力^[24];通过观察年龄结构,可以了解种群中幼年个体越多,种群的补充资源更丰富,种群增长更加迅速^[25],因此,深入分析种群年龄结构对于保护生物学、生态学以及进化研究具有不可忽视的价值^[26,27]。种群的年龄结构的确定一般通过径级^[28]、高度^[29]和冠幅^[30]。尚铁军等人对中国珍稀濒危植物银缕梅进行实地调查,采用以径级替代龄级的方法对银缕梅种群年龄结构进行分析,发现银缕梅种群呈衰退型减少^[31]。蔡晨等人对濒危珍稀植物小叶红豆种群进行调查,对小叶红豆的年龄结构进行分析发现,小叶红豆种群幼苗个体数最多,种群呈增长型种群,但增长程度不明显,抗干扰能力较弱,除了采取就地保护,还应该加强种子培养等手段增加个体数量,通过增强种群的资源获取效率与繁殖适合度,优化其在群落中的生态位维持能力,同时提升遗传多样性水平以强化对环境波动的缓冲效应,从而系统性提高种群在自然选择压力下的适应性竞争潜力及多世代延续的生态稳定性^[32]。刘仲健等人对濒危物种长瓣杓兰的种群结构进行研究,他们根据其每年长瓣杓兰基株只生一个新分株,基于长瓣杓兰特有的地下器官残存特性,通过建立地下茎分株数量与基株年龄的定量关系模型,结合种群年龄结构分析,揭示国家二级保护野生植物长瓣杓兰的基株生长规律,其种群呈增长型^[33]。

但是关于新疆阿魏的种群年龄结构的研究目前并没有，传统上通过径级、高度、冠幅确定植物种群年龄结构的方法并不适合新疆阿魏，通过调查和当地牧民经验发现，新疆阿魏每生长一年轮叶数就会增加一个，因此本研究通过轮叶数来确定新疆阿魏的年龄结构，明确新疆阿魏种群动态变化过程，明确新疆阿魏种群未来发展趋势，为保护新疆阿魏种群恢复和有效利用这一珍贵的植物资源提供理论依据。

1.2.2 植物种群恢复限制因子研究

1.2.2.1 非生物因素对植物种群恢复的影响

坡位、坡向的不同会造成温度、光照、土壤养分和水分等的不同^[34]，这些因素都会对种群幼苗造成压力^[35]，在坡下，土壤水分等更加充分^[36-38]。土壤作为植物生长的核心载体，土壤通过持续供给必需营养元素，对植物的生理过程发挥决定性作用。土壤酸碱度^[39]、土壤水分^[40]和土壤养分^[34]等限制植物种群更新，土壤的化学、物理特性不仅在决定植物生长发育方面起着至关重要的作用^[41]并且决定了植物幼苗的生产力和繁殖成功率^[5]。

卢彦磊团队揭示秦岭中段锐齿槲栎天然林更新受坡向显著影响，其土壤种子库丰度动态与萌发活力时序变化受地貌特征驱动，并通过微生境资源分配调控幼苗发育，研究表明，半阳坡生存环境显著促进锐齿栎种群的天然更新为该物种的生境管理提供科学依据^[36,42]，显然，不同坡向和土壤等因素的差异会造成种群对不同环境做出不同的生存策略。

基于 2013 年开展的栓皮栎种群更新研究，采用样方调查与取样，系统比较了秦岭南坡不同坡向的栓皮栎幼苗存活状况，在秦岭南坡，其更新效率在秦岭地区栓皮栎天然林中表现最优^[43]。

温度和水分推动自然种群规模的大小和影响种群长期生存能力^[44,45]。大多数植物的生理过程，如种子萌发、组织生长、花诱导和结实率，都受到水分利用率的影响^[46]，在干旱条件下，植物种群更能受到水分的限制，降水是全球植被生产力的一个关键驱动因素^[47]。

贾晗思研究员团队基于华北平原玉米主产区的长期定位观测，整合耕作层地温的变化，揭示了地温梯度变化对玉米生理生态过程的调控机制^[48]。蔡利华等人在新疆阿拉尔垦区对棉花播期不同土层的土壤温度进行测量，发现不同品种的木棉花种子对温度的耐受力不同，发芽率也不同^[49]。王坤坤等人设置不同的水分条件对小麦冬前进行处理，通过激活幼苗的渗透调节物质合成通路与抗氧化酶系统等生理调控机制，显著提升其对干旱、盐碱及极端温度的耐受阈值，同时协同优化光合器官发育与根系构型可塑性，从而增强碳氮同化效率并维持细胞代谢稳态，最终通过促进茎叶生物量的定向积累和生殖期

同化物向籽粒的高效转运,增加产量^[50]。土壤样砂粒主导通气透水性,粘粒增强阳离子交换量,而粉粒则在水分保持与养分缓释间起平衡作用,对植物吸收水分吸收至关重要^[5],土壤的孔隙度、有机质的分解速度、紧实度、阳离子交换能力、透水性、营养成分的供应以及水分保持能力都受到土壤质地的直接影响,因此在评估土壤的生产力时,土壤质地是一个关键因素。在2025年郭亮娜的研究中发现,团聚体的稳定性与不同海拔呈显著相关性,高海拔地区土壤团聚体与土壤理化性质之间的互作关系最紧密和最复杂^[5]。

土壤质量是土壤动态条件最敏感的指标,是多个功能指标的综合体现^[51],在植被恢复方面和提高及维持土壤肥力方面,土壤质量都具有重要意义。边琦等人对小五台山两种天然植被土壤质量进行评价发现,华北落叶松天然林的土壤质量优于亚高山草甸,海拔越高,植被表层土壤质量越高^[52]。在2025年,岳自慧等人对不同部位的梯田的土壤质量进行计算,结果发现梯田内部的土壤质量最高,产量最高^[53]。

但目前为止,关于新疆阿魏种群生长条件的研究很少,2022年,徐若宁对新疆阿魏进行人工栽培,实验数据分析表明,新疆阿魏种子萌发进程及幼苗生长对土壤异质性与水分未呈显著效应^[54]。木古丽·木哈西等人^[9]对新疆阿魏生境的土壤进行测量发现,生长最适温度为 $15^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C}$ 。

研究区域土壤呈弱碱性反应 ($\text{pH } 7.5 - 8.3$), 平均含水率为 $5.72\% \pm 4.16\%$, 有机质含量 ($1.33\% \pm 0.43\%$)、速效氮 ($37.57 \pm 5.04 \text{ mg/kg}$) 及速效磷 ($4.06 \pm 0.22 \text{ mg/kg}$) 均显著低于作物生长需求阈值, 而速效钾含量 ($160.79 \pm 2.13 \text{ mg/kg}$) 处于适宜水平。该养分特征表明研究区土壤存在氮磷限制因子, 需针对性实施测土配方施肥措施, 不同坡位下不同时期的新疆阿魏的生长状况、新疆阿魏种群恢复限制因子研究尚不全面, 国内外研究缺乏系统性, 新疆阿魏在通过计算土壤质量指数确定土壤质量的研究方面几乎空白, 这方面亟需研究, 从而为摸清新疆阿魏种群的退化原因、提出新疆阿魏快速恢复方案有重要的意义

1.2.2.2 生物因素对植物种群恢复的影响

生物因素对于新疆阿魏种群恢复同样具有重要的意义, 在同一生境中光照、水分、土壤矿物质和温度等生存资源是固定的, 但是在这同一生境中一般会聚集着不同种的个体, 因此, 种群中个体的发展和生存与空间上相邻的物种相互影响。在特定生态单元内, 伴生种通过与建群种形成微生境资源分配, 其空间分布格局表现出显著的生态位重叠特征^[55]。两者之间有时是协同作用, 例如, 玉米和马铃薯一起种植, 会提高有益菌属的丰度, 化感物质减少^[56]; 茄子和菜豆一起种植时, 会促进茄子的生长, 伴生物种和主植物一起生长, 不仅提高茄子根际土的土壤微生物多样性, 还提高了土壤中碳、氮、磷的含量^[57]。两者有时候是竞争关系, 例如, 林意忠等人对小飞蓬入侵后本土蔬菜芫荽进行研

究发现,小飞蓬伴生芫荽,芫荽的生物量受到严重影响,是由于芫荽无法优先获取氮^[58];陈向东研究团队通过田间试验发现,丹参与一年生苹果幼树、杨树幼苗间作时,其丹参酮A含量显著低于单作模式,且未达到《中国药典》标准^[59]。该现象表明木本伴生植物可能通过化感作用抑制丹参药用成分合成,其干扰效应与伴生树种的根系分泌物特性密切相关。研究建议在丹参规范化种植中,需通过优化群落结构减少化感干扰,为道地药材质量保障提供生态调控依据。

植物多样性是维护生态系统稳定的主要因子,是评价生态系统可持续发展的重要指^[60,61],植物多样性反映了植物群落物种组成的丰富度^[62],植物多样性是作为揭示植物环境适应机制与预测生态系统服务功能的核心指标^[63],其量化评估通常基于多样性指数^[64,65]。戴建昊等^[66]采用样线法结合遥感监测技术,系统研究武威市北部沙区典型荒漠植物群落的多样性特征,通过分析辛普森指数、均一度指数及物种丰富度指数的时空变化规律,揭示不同演替阶段群落的多样性维持机制,为干旱区植被恢复提供科学依据。王媛等对昌湿地进行研究,在两个不同的时间段对动植物的生长环境进行调查,对红树林物种多样性指数进行评价,发现季节的变化对优势种的繁殖呈显著相关性^[67]。在国内,研究对象主要集中在森林群落^[68],通过对森林中不同物种的分布、生长和相互作用进行深入研究。然而,对于草本群落的研究报道相对较少^[69],这可能是因为草本群落相对于森林群落来说,其物种组成和相互作用更为复杂,研究难度更大。

魏玉荣^[70]对新疆阿魏的伴生物种进行调查,发现新疆阿魏的伴生物种有 *Salsola collina* Pall.、*Gymnocarpos przewalskii*.、*Polygonum aviculare* L.、*Petrosimonia sibirica* (Pall.) Bge.、*Ceratocarpus arenarius* L.、*Camphorosma monspeliaca* L.、*M. vulgare* L.、*Hyoscyamus niger* L.等,并没有研究多样性等生物因子对新疆阿魏的影响。到目前为止,国内外的研究主要对新疆阿魏的提取物阿魏胶以及药用价值研究,因为新疆阿魏的生长周期短,对不同坡位不同时期新疆阿魏的伴生物种的调查目前并没有,通过对伴生物种的调查对新疆阿魏生境的植物群落多样性评价也未发现,伴生物种对新疆阿魏种群密度的影响也为涉及。因此,亟需开展从不同坡位、不同时期的生物因子对新疆阿魏种群的影响,这对未来新疆阿魏种群恢复的研究具有重要意义和长远价值。

1.2.2.3 非生物因子和生物因子的排序的研究

植物种群与非生物因子与生物因子的关系是生态学研究的重要问题,为了深入研究这些影响因子与植物种群的关系,其中排序方法尤为重要。排序不仅能够帮助我们研究植被的连续变化,还能够揭示植物群落和种群与环境因子之间的复杂相互作用,排序轴能够反映一定的生态梯度^[71]。苏金娟等运用分类法和排序法,阿勒泰地区植物群落分布的主要限制影响因子是海拔,第二是该生境的气候因子,最后是土壤理化性质^[72]。魏卫东^[73]通过冗余分析 (RDA) 揭示高寒草原退化的主控因子为土壤微量元素,其排序结果