

杨晓绒, 徐丽萍, 恩特马克·布拉提白, 等. 伊犁地区软紫草种群空间分布格局及根部性状分析[J]. 江西农业大学学报, 2020, 42(4): 684–691.



伊犁地区软紫草种群空间分布格局及根部性状分析

杨晓绒, 徐丽萍, 恩特马克·布拉提白, 韩大勇*

(伊犁师范大学 生物与地理科学学院, 新疆 伊宁 835000)

摘要:【目的】调查和分析软紫草种群空间分布格局、种群密度随海拔的变化关系,测定和分析其分株根颈的直径之和(以下简称根粗)与总根质量之间的相关性。【方法】通过野外调查,选取5个10 m×10 m的软紫草样地,定位每个株丛的坐标,用点格局方法中的Ripley K函数分析种群空间分布格局;用回归函数分析根部性状间的相关性。【结果】(1)软紫草在伊犁地区主要分布于昭苏和特克斯两县的2 500 m以上高寒山区;(2)软紫草在分布范围内的较低海拔呈集群分布,在中海拔呈随机分布,而在高海拔呈随机-聚集-随机分布的特征;(3)样地内种群密度与海拔呈极显著的二次函数($R^2=0.952\ 0$, $P<0.01$),在海拔3 000~3 100 m处种群密度最大,低海拔阳坡未见分布,阴坡、乔木和灌木下未见分布;(4)软紫草株丛的根质量与根粗之间存在显著的线性相关性($R^2=0.953\ 9$, $P<0.01$)。【结论】空旷阳坡是软紫草存在的必要而非充分条件,种群的随机或集群分布格局可以指导野生抚育或仿野生栽培地点的选择;其株丛的根质量与根粗之间成显著性线性相关,意味着可以通过测量生活株丛总根粗估算其根的储量。

关键词:软紫草;种群;空间分布点格局;根粗;根质量;相关性

中图分类号:S567.23*9 文献标志码:A 文章编号:1000-2286(2020)04-0684-08

Analysis of the Population Spatial Distribution Pattern and Root Characters of *Arnebia euchroma* in Yili Area

YANG Xiao-rong, XU Li-ping, BULATIBAI Entemake, HAN Da-yong*

(School of Biological and Geographical Sciences, Yili Normal University, Yining, Xinjiang 835000, China)

Abstract: [Objective] To investigate the spatial point pattern of the population of *Arnebia euchroma*, and to analyze the relationships between the population density and altitude, and between the sum of rhizome diameter and the total root weight after drying. [Method] Based on the investigation step by step in the mountain, five quadrates with 10 m×10 m of *Arnebia euchroma* were selected to locate each plant cluster's position. The Ripley's K(r) function and regression function were used. [Result] (1) *Arnebia euchroma* is mainly growing in alpine mountains of Zhaosu and Tekes counties with altitude above 2 099 m, Yili State, Xinjiang Uygur Autonomous Region. (2) *A. euchroma* population shows cluster distribution at low altitude (relatively), random distribution at medium altitude, and random-cluster-random distribution at high altitude. (3) The relationship be-

收稿日期: 2019-12-25 修回日期: 2020-02-20

基金项目: 伊犁师范大学引进人才启动资金(2018)和新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2019D01C332)

Project supported by Initial Scientific Research Foundation of Introduced Talented People in Yili Normal University (2018) and Natural Science Foundation of Xinjiang Uygur Autonomous Region (2019D01C332)

作者简介: 杨晓绒, orcid/0000-0003-4447-3291, xiaorong0325@163.com; *通信作者: 韩大勇, 讲师, 博士, 主要从事植物生态学研究, orcid/0000-0003-1394-1304, 411430667@qq.com。

tween population density and altitude could be stated with a quadratic function ($R^2=0.952\ 0$, $P<0.01$), and the population density is larger at the altitude of 3 000–3 100 m. It was not found in the sunny slopes at the low altitude, and also not found in the shady slope, under the tree and shrub. (4) There was a significant linear correlation between root weight and root diameter ($R^2=0.953\ 9$, $P<0.01$). [Conclusion] The open sunny slope is a necessary but not sufficient condition for *A. euchroma* growing. The random or cluster distribution pattern of *A. euchroma* could guide the selection of the field for wild tending or imitating wild cultivation. The linear relationship between the root weight and the root diameter of *A. euchroma* could be used to estimate the root reserves by measuring the root diameter of living plants.

Keywords: *Arnebia euchroma*; population; spatial point pattern; rhizome diameter; root weight; correlation

【研究意义】种群空间格局是种群在生物和非生物因素作用下,在一定空间范围内个体的扩散与聚集形式,即种群的个体在其生活空间中的位置状态或布局^[1-2]。研究植物种群的空间格局,一方面有助于认识其潜在的生态学过程(如种子扩散、种内和种间竞争、干扰等),种群的生物学特性(如生活史策略、喜光、耐荫等)及其与环境因子之间的相互关系(如小生境、植物与生长环境之适合度、环境异质性等)^[3];另一方面可以根据物种分布格局的变化与关联性推断自然群落的形成与维持机制^[4]。植物种群在群落中的分布格局与空间尺度有着密切关系,包括随机分布、均匀分布和聚集分布^[5]。野生软紫草种群越来越少,且人工栽培的软紫草药效成分很低,野生抚育具有必要性,对野生软紫草种群的空间分布格局及其与海拔的关系进行调查研究对野生抚育或仿野生栽培地点的选择具有指导意义。正如植物的根深叶茂和叶茂根深的普遍现象,通过对生活植株某部分的测量间接估计药用部位——根的储量或年龄状况而不损害整个植株的活力,达到对野生软紫草种群年龄结构或生长量的估计,对指导野生抚育药材的选择性收获和更替具有一定的应用价值。【前人研究进展】点格局分析是以种群空间分布的坐标点图为基础,它有3个明显的优点:(1)能够分析各种尺度下的种群格局和种间关系,结果清楚、直观;(2)所描述的结果更符合实际,尤其是对群落结构的描述;(3)它有利于定点观察,研究时间与种群格局的关系^[6]。种群空间格局反映了种群个体在水平空间上彼此间的相互关系,因此研究植物种群的空间格局不仅可以了解群落内物种的镶嵌情况以及物种与环境之间的相互关系,而且有助于揭示种群内部组织结构,有利于了解种群发展方向^[1]。软紫草是紫草科中具有重要医药价值的植物资源,以根部入药^[7];同时,该植物也是高山草甸群落的伴生种之一,具有耐寒、耐旱、耐瘠薄的生物学特征,具有重要的生态学价值。对软紫草的资源利用始于20世纪50年代,经过60多年的无序采挖,加之生态环境的退化,软紫草野生资源已经极少,目前被列为国家二级保护植物。以往有关软紫草研究多集中于化学成分、药理与药效方面^[8-11],自1990年以来,软紫草的组织培养^[12-13]、育苗移栽或多功能温室移栽等研究较多^[14-16]。【本研究切入点】有关软紫草种群生态学和保护生物学方面的基础研究较少,阻碍了软紫草种群的野生抚育与仿野生栽培的实施。为此,从保护生物学角度系统研究软紫草的种群分布、生境条件、生殖生态学、遗传多样性、生理生态、传粉生物学等诸多特征是十分必要的。软紫草的药用部位是根,对其根性状研究还未见报道,野生抚育是在有野生植物分布的生境中人工补栽加一定的辅助管理,目的是能够扩大野生种群的数量,并且进行适当的收获和继续补栽,或在仿野生环境中进行仿野生人工栽培;要进行适当的收获使种群能够不断更新,保持稳定的年龄结构,从能够直观测定的参数推断根部生长量就可以指导人们适时采收药材,保持药材的时空道地性,达到可持续生产的目的。【拟解决的关键问题】本文主要对软紫草种群的空间分布格局和药材性状进行初步研究,试图了解其空间分布特征及其可能的形成机制,对软紫草种群入药的根部性状,即根粗与根质量的相关性进行研究,为进一步开展软紫草种群年龄结构和种群动态研究提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区自然概况

研究区位于新疆伊犁哈萨克自治州昭苏县,为中亚内陆腹地的一个高位山间盆地,海拔在1 323~

6 995 m,属于大陆性温带山区半干旱半湿润冷凉气候类型,其特点是冬长夏短,没有明显的四季之分,只有冷暖之别。年平均温度 2.9 ℃,年极端最高温度 33.5 ℃、最低温度-32 ℃,全年无霜期平均约为 98 d,年均降雨量达 511.8 mm,年均日照总数约为 2 699 h,全年太阳总辐射能约为 1 364 卡/cm²。

软紫草在伊犁地区主要分布于昭苏县和特克斯县高寒山区,其生境主要是阳面山坡和山顶的灌丛间旷地,壤土、砂土、石砾土均可,但遮阴处几乎没有分布。为此,本研究选择位于昭苏县西南部的中哈边境线上的剪子沟山地为研究样地,号称“天山之父”的汗腾格里峰就在此山,终年积雪区达 100 km²以上,是特克斯河的主要水源。研究地点自然植被为雪岭云杉林、高山草甸,优势种有雪岭云杉(*Picea schrenkiana*)、新疆方枝柏(*Sabina pseudosabina*)、鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*)、矮生嵩草(*Kobresia humilis*);地貌类型为浅沟山脊,坡度 60°左右。土壤类型为山地草甸土;本研究地点也是当地牧民的牧场,存在放牧干扰。

1.2 野外调查

伊犁河谷软紫草分布地的调查主要是用踏查法和民间调查、咨询法;种群空间分布格局主要在软紫草集中分布的昭苏山区,选择近边境的离居住区远且放牧较少的山地开展野外调查,按照海拔梯度,沿山脊及其两侧踏查,发现 5 处软紫草分布点,设置 5 个样地,5 个样地集中位于东经 80°12′5.40″~80°12′50.32″,北纬 42°36′6.60″~42°36′16.62″,海拔 2 903~3 213 m,总体海拔差为 306 m(表 1)。5 个样地的生态环境变化不大,均为阳坡透光率良好的空旷地,基本是在新疆方枝柏未覆盖、鬼箭锦鸡儿未生长的空旷地,即在新疆方枝柏群落的边缘生长着鬼箭锦鸡儿,在鬼箭锦鸡儿之间的空旷地生长着软紫草及其伴生草本植物;伴生种包括矮生嵩草、线叶嵩草(*Kobresia capillifolia*)、高山糙苏(*Phlomis alpina*)、毛建草(*Dracocephalum rupestre*)、笔龙胆(*Gentiana zollingeri*)、红叶老鹳草(*Geranium rubifolium*)、山野火绒草(*Leontopodium campestre*)、中亚秦艽(*Gentiana kaufmanniana*)、大叶驼舌草(*Goniolimon dschungaricum*)、新疆假龙胆(*Gentianella turkestanorum*)、厚叶美花草(*Callianthemum alatavicum*)、垫状金露梅(*Potentilla fruticosa*)等。调查时记录样地的经度、纬度、海拔、透光度、软紫草株丛数(表 1)和群落物种组成,每个样地设置 1 个 10 m×10 m 的样方,每个样方基本包括了样地所有的软紫草,使用皮尺确定样方中每丛软紫草坐标,做点格局分析。

表 1 软紫草各样地(10 m×10 m)的环境概况
Tab.1 Environmental conditions at different sites of *Arnebia euchroma*

样地 Plot	(东)经度/° Longitude	(北)纬度/° Latitude	海拔/m Altitude	海拔差/m Altitude difference	透光度/% Transparence
1	80°12′50.32″	42°36′9.91″	3 067~3 080	13	100
2	80°12′42.45″	42°36′6.60″	2 997~3 003	6	100
3	80°12′5.40″	42°36′9.26″	2 903~2 907	4	96
4	80°12′33.84″	42°36′15.65″	3 196~3 201	5	94
5	80°12′36.85″	42°36′16.62″	3 210~3 213	3	100

1.3 软紫草药材性状测定

软紫草为国家二级保护植物,尤其伊犁河谷的软紫草资源盗挖盗采严重。本研究从新疆维吾尔自治区天山西部国有林管理局特克斯分局获得 12 株阴干软紫草样本,该样本盗采自特克斯县阔克苏河中游地段东岸山顶,海拔约 3 000 m。用游标卡尺量取株丛中每个根分支的根颈直径,用天平称量根质量,进行药材性状相关分析。

1.4 数据分析

本研究设定 5 个 10 m×10 m 的样方,测量每个样方内软紫草的空间坐标,获得分布点图,根据分布点图推算软紫草单位面积密度及其随海拔梯度的变化规律。

关于点格局的详细介绍参见文献[6,17],本研究应用 R 统计语言的“spatstat”程序包中常用的 Ripley’s K 函数进行种群点格局分析,该函数能够直观检测种群聚集分布的累积程度;采用 199 次 Monte Carlo 模拟

得到 99% 的置信区间,如果 $K(r)$ 值落在上下包迹线之内,则在该尺度上,种群为随机分布,若在包迹线之上,则为集群分布,否则为均匀分布。

对软紫草入药部位的根的根粗与根质量之间进行回归分析,显著水平 $P=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 伊犁地区软紫草分布状况

伊犁河谷野生软紫草目前主要分布于昭苏县和特克斯县沿西天山北部山区海拔 3 000 m 左右的高寒地,这个区系的基础海拔高,约为 1 800~2 000 m,生长在阳坡透光率良好的空旷地,海拔 2 500 m 以下未见软紫草分布。

2.2 种群空间分布格局

空间分布格局分析结果表明,样地 1 种群不论在何种尺度上,为随机分布;样地 2 种群在 0~0.5 m 为随机分布,而在 0.5~1.5 m 为集群分布,样地 3 种群分布规律与样地 2 类似,在 0~0.2 m 为随机分布,而在 0.2~1.5 m 为集群分布,样地 4 种群在各个尺度上均为随机分布,样地 5 种群在 0~0.3 m 为集群分布,在 0.4~1.5 m 为随机分布。这在各样地分布点图中也可以得到佐证,样地 1 和 4 的各株丛在空间上呈离散型分布,极少聚集在一起的株丛,样地 2 和 3、5 中大部分株丛在小范围内呈聚集型,而在大尺度上为离散型。如果结合 5 个样地的海拔分布,则低海拔(样地 2 和 3)为集群分布,中海拔(样地 1 和 4)为随机分布,高海拔(样地 5)为随机-集群-随机的格局。5 个样地的软紫草种群在大尺度上均为随机分布,仅在不足 0.5 m 的范围内在部分样地表现出集群分布的特征(图 1)。

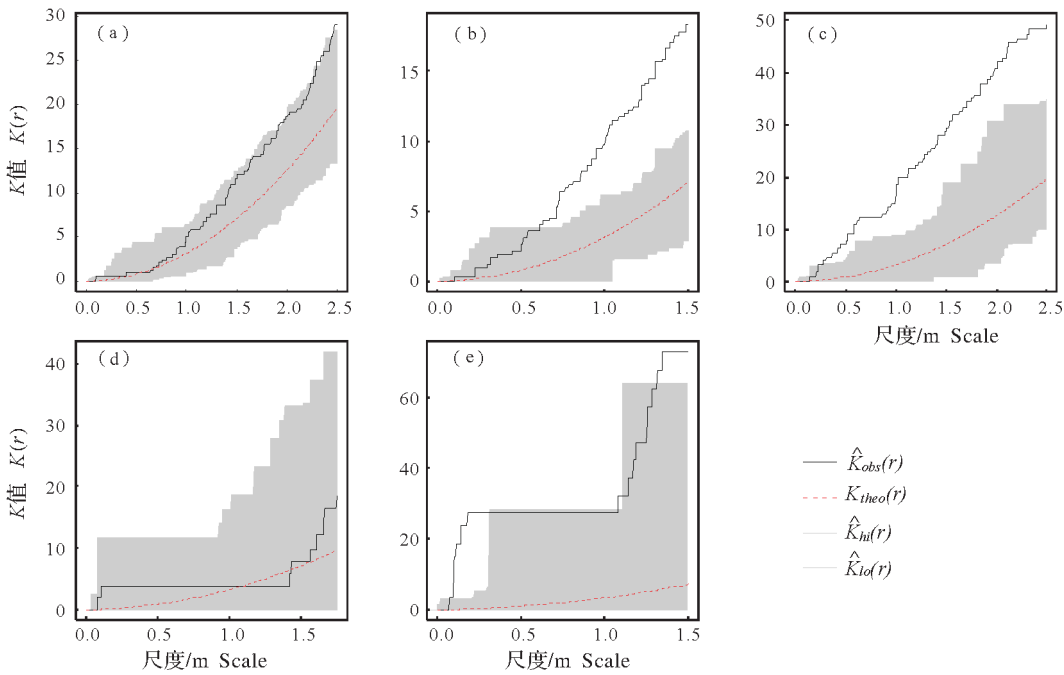


图 1 5 个样地的软紫草的株丛种群的空间分布格局

Fig.1 Spatial distribution pattern of plant populations (10 m×10 m) of *A. euchroma* cluster in 5 sample plots

2.3 种群密度及其随海拔变化关系分析

从分布点图可知,5 个样地软紫草种群数量均处于较低水平,密度较大的样地每 100 m² 为 27 株,较小的仅为 7 株,平均值为 17 株。如果以单位面积的密度来衡量,则 5 个样地的密度分别为 0.27,0.23,0.19,0.09,0.07 株/m²(图 2)。回归分析发现,样地内软紫草株数与海拔呈极显著的二次函数关系($R^2=0.952\ 0$, $P<0.01$),在海拔 3 000~3 100 m 处种群密度最大,说明此海拔范围为软紫草最佳分布范围(图 3)。

2.4 软紫草根部分性状分析

软紫草株丛的根为 1~5 个丛生,上部分离,下部常常互相交织在一起;茎是短缩的,基叶丛生,呈线形至线状披针形,长 7~20 cm,宽 5~15 mm,先端短渐尖,基部扩展成鞘状,有平伏状粗毛;通过阶段发育

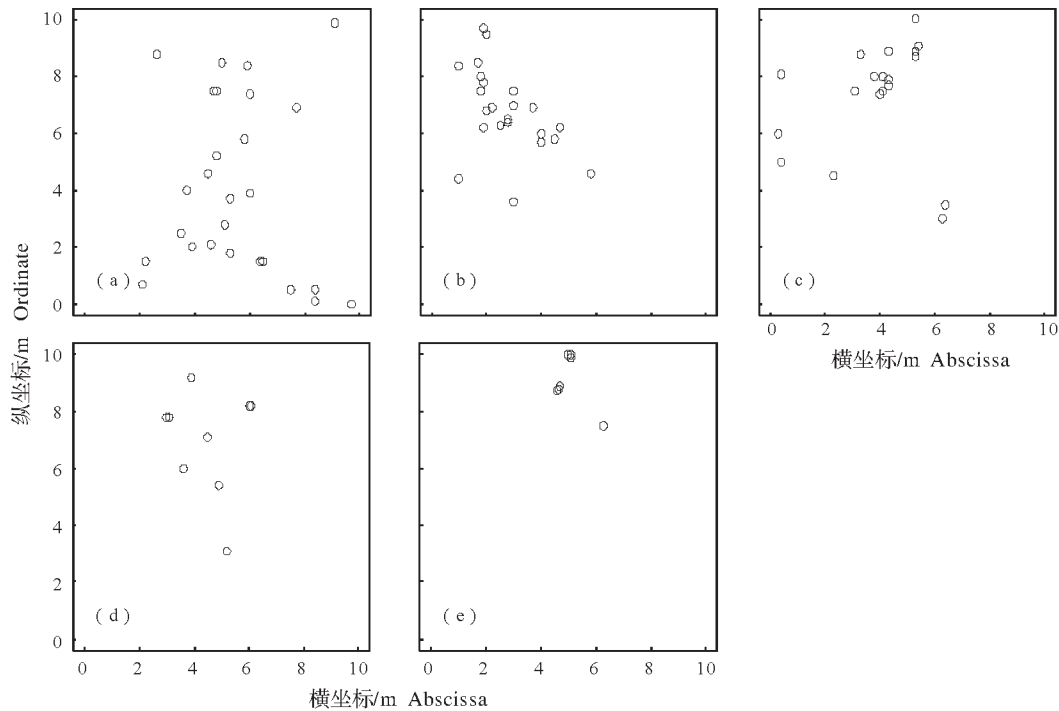


图 2 5 个样地的软紫草的株丛种群的空间分布格局(a,b,c,d,e)分别代表样地 1~5

Fig.2 Spatial distribution pattern of plant populations of (10 m×10 m) of *Arnebia euchroma* cluster in 5 sample plots(a,b,c,d,e)showed the samples from 1~5

后,在适宜的温度、光照条件下抽生花茎,花茎上生小叶数枚,花茎顶端和上部叶腋分化出花芽,发育为镰状聚伞花序,8月底花及花茎变干脱落,但叶在 10 月底霜冻前仍然是绿色。在生长期,稍微扒开表面的土,可测量株丛的根颈的直径(根粗),根据获得的样本,软紫草的根数性状较为稳定,变化在 1~5 个;根质量的变化范围为 3.5~24.9 g,平均值为 11.84 g,根质量不足 10 g 的有 6 丛,10.1~20 g 的有 5 丛,仅 1 丛的根质量大于 20 g,反映出软紫草药材偏小的特征(表 2);对软紫草株丛的根质量与总根粗、平均根粗、最大根粗分别进行了线性拟合,经检验均达到显著水平,尤其根质量与总根粗之间相关性极高($R^2=0.953\ 9$, $P<0.01$)(图 4)。

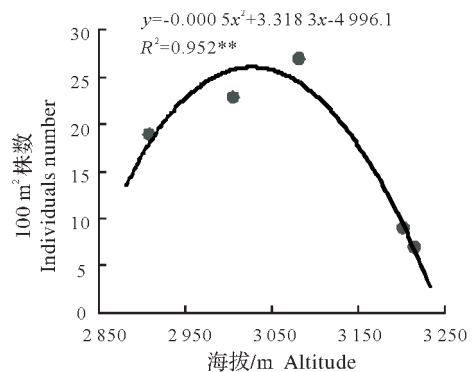


图 3 不同样地软紫草种群数量随海拔梯度的变化

Fig.3 The variation of population density of *A. euchroma* with altitude (the basic altitude is 1 998 m)

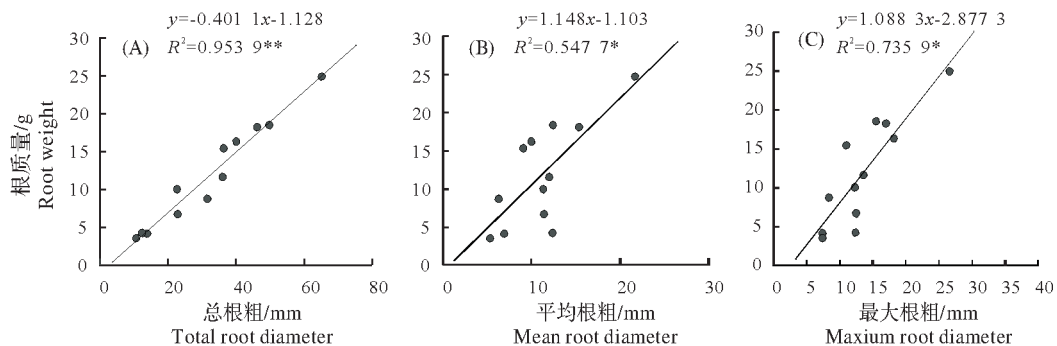


图 4 采用线性方程对软紫草株丛总根粗(A)、平均根粗(B)和最大根粗(C)与根质量间关系的拟合($n=12$)

Fig.4 Linear relationships between total root weight(A), average root weight (B)and the maximal rhizomes's diameter(C)of *Arnebia euchroma* cluster

表 2 软紫草株丛总根质量与根颈直径测定值($n=12$)
Tab.2 Total root weight and sum of rhizomes's diameter of *Arnebia euchroma* cluster

序号 No.	根分枝数 Root number	质量/g Weight	根颈粗/mm Root collar diameter					总根粗/mm Total root diameter	平均根粗/mm Average root diameter
			1	2	3	4	5		
1	4	16.3	18.2	10.0	7.8	4.1	—	40.1	10.02
2	3	11.6	13.6	10.6	11.9	—	—	36.1	12.03
3	3	24.9	26.6	22.3	16.3	—	—	65.2	21.73
4	3	18.2	17.0	14.7	14.5	—	—	46.2	15.40
5	2	6.7	12.5	10.4	—	—	—	22.9	11.45
6	5	8.7	8.4	7.6	6.6	5.0	4	31.6	6.32
7	4	18.5	15.5	13.5	9.8	11.0	—	49.8	12.45
8	4	15.4	11.0	9.9	8.8	6.7	—	36.4	9.10
9	2	10.0	12.3	10.4	—	—	—	22.7	11.35
10	2	4.1	7.4	6.5	—	—	—	13.9	6.95
11	2	3.5	7.4	3.3	—	—	—	10.7	5.35
12	1	4.2	12.4	—	—	—	—	12.4	12.40

3 结论与讨论

本研究表明,软紫草种群密度随着海拔增加表现出先增加、后减少的变化格局,种群空间分布格局总体随着海拔增加表现出聚集-随机的分布格局;软紫草根质量与根粗之间存在显著的正相关关系,可以指导野生抚育或仿野生栽培的根储量估计,进一步指导合理采挖,达到可持续生产的目的。

软紫草种群分布格局的影响因素:对于植物种群空间分布格局而言,不外乎环境与生物因素两大方面,植物种群产生随机分布的原因与环境的均质性有关,而集群分布与环境的异质性、种子结实、种子散布方式以及动物取食导致的二次搬运等有着复杂的关系^[1]。虽然诸如种群年龄结构、种群密度等种内生物因素对种群分布会产生影响^[18],但在本研究中软紫草种群密度极低的情况下以上因素并不是主要原因。从本研究的结果看,软紫草在低海拔(样地 2、3)为集群分布,在中海拔(样地 1 和 4)为随机分布,而在高海拔(样地 5)为随机-聚集-随机的变化格局,尽管在小尺度 0~0.4 m 的范围中海拔的两个样地表现出随机分布格局,但是没有改变其总体上以聚集分布为主的格局,表明海拔可能是软紫草种群分布格局的主要影响因素,而由种子结实、动物搬运等生物因素带来的影响有限。至于高海拔的样地 5 的分布格局随尺度增加而出现不规则变化,可能与该样地内植株过少、放牧干扰等因素有关,具体原因还不能确定;同样在低海拔阳坡未见软紫草分布,可能也与放牧干扰和人工挖根有关系。

对青海云杉林的研究表明,随着海拔增加,分布格局由聚集向随机分布过渡;对裸果木的研究也发现,在 1 500~1 550 m 区段,为集群分布,但集聚程度并不高;海拔在 2 400~2 450 m 和 2 450~2 500 m 区段,均为随机分布^[19~20],对西藏灌木林种群及华北落叶松种群分布格局的研究也得到类似结果^[21~22];可作为本研究佐证。究其原因,与海拔所导致的水热条件变化有关。本研究中,海拔差不大,且位于同一坡向,因此,水分的变化不是主要原因,最可能就是温度变化对软紫草的分布影响。有报道称软紫草种子发芽适宜温度为 20~30 ℃,25 ℃时发芽率最高,温度过高或过低,发芽率均较低^[23];另外,软紫草属于异型花柱的异花异株授粉^[7,24],不存在无融合生殖和自花授粉,软紫草必须依靠动物传粉才能结实,因此海拔的变化使得传粉昆虫减少也是一个可能的因素,但是随着海拔增加,究竟是因昆虫传粉困难导致结实率低进而导致的种源限制还是环境温度导致的幼苗限制而致使种群无法更新而出现随机分布,尚无法确定。但分布区域中的低海拔生境有利于种群个体存活和种群的天然更新,可作为软紫草种群恢复的有利条件的参考。

软紫草作为新疆特色中药资源之一,其药用价值日益受到重视。然而,多年无度采挖地利用资源加之过度放牧的影响,导致资源枯竭。在天然植被中,软紫草作为群落的伴生种乃至偶见种存在,因此,无论在数量还是分布范围上,均极为有限,无法形成大的连续分布边界^[7]。在本研究调查的 5 个样地中,每 100 m²

软紫草株丛平均为17株,这个数值远低于报道的哈密地区的黄花软紫草种群密度(30.2株)^[25]。据有关资料,伊犁地区的软紫草资源利用是新疆最早的区域,在20世纪50年代就开始利用,历史较长,高峰期年产量在200 t左右,而南疆的巴州、喀什地区利用时间相对较晚^[26]。上述分析表明,在伊犁地区,软紫草采挖利用时间长、强度高,目前的资源储量已经很低,亟需开展迁地或就地保护的生物生态学基础研究;笔者的研究也表明,尽管海拔梯度为2 903~3 213 m,相对海拔差为310 m,但已对软紫草的种群数量产生了显著影响,从侧面证明软紫草的生态幅较窄,容易受到环境波动的影响,这都是软紫草保护中的障碍。

软紫草主要以根入药,中国药典中软紫草以根长、根粗者为佳,商品规格为尺度10 cm,直径1~2.5 cm,生长年限约15年^[27]。由于野外资源日渐匮乏,软紫草已被列为国家二级保护植物,正确的估测资源储量,并进行保护生物学研究,为软紫草的就地保护和迁地保护提供依据,已成为一项亟需完成的工作。本研究初步发现,软紫草根质量与根粗之间存在显著的正相关关系。该结果有以下两个方面的重要意义:理论方面,软紫草作为多年生草本植物,可以通过根粗进一步了解种群的年龄结构和种群存活信息;实践方面,在掌握种群密度和根粗的情况下,可无损的估测软紫草的资源储量,用于指导野生抚育或仿野生栽培的根储量估计,进一步指导合理采挖,达到可持续生产的目的。

参考文献:

- [1] 陶冶,张元明,吴小波,古尔班通古特沙漠白茎绢蒿和准噶尔沙蒿种群多尺度多参数空间分布格局[J].应用生态学报,2013,24(11):3019-3026.
Tao Y, Zhang Y M, Wu X B. Multi-scale and multi-parameter spatial distribution patterns of *Seriphidium terrae-albae* and *Artemisia songarica* populations in Gurbantunggut Desert of Northeast China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(11):3019-3026.
- [2] Velázquez E, Martínez I, Getzin S, et al. An evaluation of the state of spatial point pattern analysis in ecology[J]. Ecography, 2016, 39(11):1042-1055.
- [3] 李立,陈建华,任海保,等.古田山常绿阔叶林优势树种甜槠和木荷的空间格局分析[J].植物生态学报,2010,34(3):241-252.
Li L, Chen J H, Ren H B, et al. Spatial patterns of *Castanopsis eyrei* and *Schima superba* in mid-subtropical broad-leaved evergreen forest in Gutianshan National Reserve, China[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2010, 73(6):269-276.
- [4] 赵明水,庞春梅,杨淑贞,等.浙江天目山交让木种群空间点格局分析[J].浙江大学学报(理学版),2015,42(1):47-53.
Zhao M S, Pang C M, Yang S Z, et al. Spatial patterns of *Daphniphyllum macropodum* in Tianmu Mountain, Zhejiang Province[J]. Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2015, 42(1):47-53.
- [5] 吴联杯,郑淑娟,张硕,等.黄枝润楠林下更新幼树幼苗基本特征及分布类型[J].林业勘察设计,2019,39(1):11-15.
Wu L B, Zheng S J, Zhang S, et al. Basic characteristics and distribution type of regeneration saplings and seedling under *machilus versicolora* stand[J]. Forestry Prospect and Design, 2019, 39(1):11-15.
- [6] 张金屯,植物种群空间分布的点格局分析[J].植物生态学报,1998,22(4):344-349.
Zhang J. Analysis of spatial point pattern for plant species[J]. Acta Phytocologica Sinica, 1998, 22(4):344-349.
- [7] Singh H, Chauhan R, Raina R. Population structure, ecological features and associated species of *Arnebia euchroma*[J]. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 2017, 6(4):2005-2007.
- [8] 张鹿,蒋欣,胡杰欣,等.新疆紫草药皂的制作及抑菌作用的研究[J].湖南农业科学,2018(6):88-90.
Zhang L, Jiang X, Hu J X, et al. Production and antibacterial effect of medicated soap made by radices *macrotomiae*[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2018(6):88-90.
- [9] 王欣,唐志书,杨楠,等.软紫草中抑制PTP1B活性成分的研究[J].中国药学杂志,2016,51(13):1120-1123.
Wang X, Tang Z S, Yang N, et al. Study on the active components of PTP1B in *Arnebia euchroma*[J]. Chinese Pharmaceutical Journal, 2016, 51(13):1120-1123.
- [10] 张文静,付京,张璐.紫草标准汤剂成分分析及其抗银屑病作用研究[J].国际中医中药杂志,2019,41(3):273-278.
Zhang W J, Fu J, Zhang L. Effect of component analysis and anti psoriasis of *Arnebia euchroma* standard decoction[J]. International Journal of Traditional Chinese Medicine, 2019, 41(3):273-278.
- [11] 李叶静,谈弋.紫草素通过TLR4/NF- κ B信号通路抑制由脂多糖诱导的巨噬细胞炎症研究[J].安徽医药,2017,21(8):1384-1387.
Li Y J, Tan Y. Anti-inflammatory effects of Shikonin by TLR4/NF- κ B pathway to inhibit LPS-induced macrophage inflammatory[J]. Anhui Medical and Pharmaceutical Journal, 2017, 21(8):1384-1387.

- [12] 郝爱花, 芦韦华, 陈永芳, 等. 新疆紫草快繁技术研究[J]. 新疆农业科学, 2010, 47(4): 96-100.
Hao A H, Lu W H, Chen Y F, et al. Rapid propagation of *Arnebia euchroma* (Royle.) [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2010, 47(4): 726-730.
- [13] 郝浩江, 葛素囡, 王芳. 新疆紫草组织培养中试管苗玻璃化的控制与修复[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版), 2013, 32(1): 21-25.
Xi H J, Ge S N, Wang F. The prevention methods of plant tissue culture vitrification in *Arnebia euchroma* (Royle) Johnston [J]. Journal of Xinjiang Normal University (Natural Sciences Edition), 2013, 32(1): 21-25.
- [14] 庞克坚, 王玉春, 王晓东. 新疆紫草移栽技术[J]. 中药材, 2005, 28(10): 7-8.
Pang K J, Wang Y C, Wang X D. Transplanting technology of *Arnebia euchroma* [J]. Chinese Medicinal Herbs, 2005, 28(10): 7-8.
- [15] 代宁波, 王娟, 李翠芳, 等. 新疆紫草种子无菌苗的培养技术优化[J]. 新疆农业大学学报, 2009, 32(3): 26-28.
Dai N B, Wang J, Li C F, et al. Optimization of culture technics of in vitro seeds of *Arnebia euchroma* (Royle) Johnston [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2009, 32(3): 26-28.
- [16] 王升, 李璇, 周良云, 等. 新疆紫草繁育生物学及人工栽培[J]. 中国现代中药, 2011, 13(11): 18-22.
Wang S, Li X, Zhou L Y, et al. Breeding biology and artificial cultivation of *Arnebia euchroma* in Xinjiang [J]. Modern Chinese Medicine, 2011, 13(11): 18-22.
- [17] 祝燕, 马克平. 点格局分析及其在植物空间分布格局研究中的应用[C]//第九届全国生物多样性保护与持续利用研讨会, 厦门, 2010: 319-331.
Zhu Y, Ma K P. Point pattern analysis and its application in the study of plant spatial distribution pattern [C]//The 9th National Symposium on Biodiversity Conservation and Sustainable Utilization, Office of China Committee of International Biodiversity Program, Xiamen, 2010: 319-331.
- [18] 张欣. 基于点格局分析方法研究大果沙棘人工林种群结构稳定性[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2011.
Zhang X. Used point pattern analysis to study on the stability of plantation structure for *Hippophae rhamnoides* Linn. cv. MD [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2011.
- [19] 邸华, 刘建泉, 丁国民. 东大河林区青海云杉种群空间分布格局在海拔梯度上的变化[J]. 甘肃科技, 2012, 8(23): 155-158.
Di H, Liu J Q, Ding G M. Changes in the spatial distribution pattern of Qinghai spruce population in the Dongdahe Forest Region on elevation gradients [J]. Gansu Science and Technology, 2012, 8(23): 155-158.
- [20] 柴永青, 曹致中, 蔡卓山, 等. 肃北地区稀有植物裸果木种群的空间分布格局[J]. 草业学报, 2010, 19(5): 239-249.
Chai Y Q, Cao Z Z, Cai Z S, et al. The spatial distribution patterns of rare plant *Gymnocarpus przewalskii* communities in Subei [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2010, 19(5): 239-249.
- [21] 张超, 黄清麟, 普布顿珠, 等. 西藏灌木林种群分布格局[J]. 山地学报, 2011, 29(1): 125-130.
Zhang C, Huang Q, Dunzhu P, et al. Population distribution patterns of shrub in Tibet [J]. Journal of Mountain Science, 2011, 29(1): 125-130.
- [22] 刘宏文, 韩海荣, 程小琴, 等. 山西省庞泉沟地区华北落叶松种群空间分布格局[J]. 北京林业大学学报, 2007(S2): 198-202.
Liu H W, Han H R, Cheng X Q, et al. Pattern of spatial population of *Larix principis-rupprechtii* in Pangquangou Region, Shanxi Province, Northern China [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2007(S2): 198-202.
- [23] 李晓君, 王芳, 李小瑾, 等. 不同处理对新疆紫草种子萌发的影响[J]. 种子, 2005(9): 19-21.
Li X J, Fang W, Li X J, et al. The effect of different treatments on the seed germination of *Arnebia euchroma* (Royle) Johnston [J]. Seed, 2005(9): 19-21.
- [24] 冯建菊, 谭敦炎. 不同生境条件下软紫草(*Arnebia euchroma*)结实特性的差异[J]. 干旱区研究, 2007(1): 39-44.
Feng J J, Tan D Y. The differences on fruiting characteristics of *Arnebia euchroma* (Boraginaceae) in different habitats [J]. Arid Zone Research, 2007(1): 39-44.
- [25] 文娥, 刘文辉, 宋海龙, 等. 新疆哈密地区野生黄花软紫草的资源调查[J]. 中国现代中药, 2016, 18(11): 1479-1483.
Wen E, Liu W H, Song H L, et al. Resource investigation of *Arnebia guttata* Bge. in Hami District of Xinjiang [J]. Modern Chinese Medicine, 2016, 18(11): 1479-1483.
- [26] 魏良民, 李康. 新疆软紫草资源, 分布和生产利用[J]. 中草药, 1996, 27(9): 252-253.
Wei L M, Li K. The resources, distribution and production utilization [J]. Chinese Herbal Medicines, 1996, 27(9): 252-253.
- [27] 魏惠珍, 罗小妹, 刘文霞, 等. 2015版《中国药典》一部增修订概况[J]. 江西中医药大学学报, 2016(4): 115-119.
Wei H Z, Luo X M, Liu W X, et al. General situation of the additional and revisionary content of the first part in the Chinese pharmacopoeia 2015 edition [J]. Journal of Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, 2016(4): 115-119.