

doi: 10.13866/j.azr.2020.01.20

石羊河下游不同立地类型黑果枸杞种群分布格局^①

郭春秀^{1 2 3}, 刘开琳³, 马俊梅^{1 3}, 王理德³, 何芳兰^{2 3},
赵鹏^{2 3}, 付贵全^{2 3}, 赵艳丽³

(1. 甘肃省荒漠化与风沙灾害防治国家重点实验室, 甘肃 武威 733000;

2. 甘肃民勤荒漠草地生态系统国家野外观测研究站, 甘肃 民勤 733300; 3. 甘肃省治沙研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 在样地调查的基础上, 结合相邻格子取样方法, 采用扩散系数(C)、丛生指标(I)、负二项参数(K)、聚块性系数(C_s)、平均拥挤指标(m^*)、聚集度指标(G)、Moristia 指数(I_s)、Green 指数(I_G)等 8 个指标, 对石羊河下游不同立地类型黑果枸杞种群分布格局、聚集强度进行了研究。结果表明: ① 沙地和盐碱地黑果枸杞个体数量较多, 聚集程度相对较高, 砾石和固定半固定沙地黑果枸杞的个体数量较少, 聚集程度相对较低; ② 盐碱地和沙地黑果枸杞种群呈现聚集分布, 固定半固定沙地和砾石样地相对于沙地和盐碱地的聚集程度有所减弱, 有一定的随机趋势; ③ 不同发育阶段的黑果枸杞种群格局类型总体呈现聚集分布的特点, 随着龄级的增大, 黑果枸杞种群分布格局表现出由聚集向均匀分布的变化趋势。

关键词: 不同立地类型; 黑果枸杞; 种群; 分布格局; 石羊河下游

种群是群落结构的基本单位⁽¹⁾, 种群空间分布格局是指种群个体在水平空间的配置状况, 反映了种群的基本特性、种内和种间效应以及种群与环境的相互关系⁽²⁾, 是生态学研究的核心内容之一。种群的空间分布格局对群落的外貌、结构和发展趋势都有重要影响⁽³⁾, 植物种群的空间分布格局因不同物种、不同发育阶段和不同生境条件而有所差异⁽⁴⁾, 一般有聚集分布、随机分布和均匀分布 3 种类型, 通过对种群空间格局的研究可以提示格局成因及植物种群的生长发育过程, 并预测其生态演变趋势⁽⁵⁾, 为种群的保护恢复和生态重建提供科学依据⁽⁶⁻⁷⁾。

黑果枸杞(*Lycium ruthenicum* Murr.) 为茄科(Solanaceae) 枸杞属(*Lycium*) 是耐盐、抗旱灌木, 在我国西北荒漠地区呈片状分布⁽⁸⁾。黑果枸杞是石羊河下游的重要植被建群种之一, 以其为优势种的灌木群落对维持石羊河下游荒漠生态系统具有重要作用。近年来, 随着野生黑果枸杞的经济价值攀升, 非法采摘野生黑果枸杞行为频发, 特别是人工采收果实采取整株刈割的方式, 黑果枸杞生存受到严重

威胁⁽⁹⁾, 科学利用和合理保护该种群对维持当地生态平衡极为重要。有学者对黑果枸杞群落特征及种间联结性等方面进行了研究⁽¹⁰⁻¹²⁾, 但关于石羊河下游不同立地类型黑果枸杞空间分布格局的研究较少。本文对分布于石羊河下游不同生境的黑果枸杞群落进行了研究, 探讨不同生境条件下野生黑果枸杞龄级结构和格局成因, 这将有助于了解其野生种群的稳定性和演变趋势, 而且对于黑果枸杞种质资源保护以及人工科学种植提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于石羊河下游的甘肃省民勤县境内, 阿拉善荒漠南部。地理位置 103°02′~104°02′E 和 38°05′~39°06′N, 海拔 1 000~1 936 m。研究区常年干燥, 少雨, 蒸发强烈, 寒冬长, 夏热短, 昼夜温差悬殊, 日照充足, 风多。年平均气温 7.6℃, 年蒸发量 2 604.3 mm, 年降水量 113.2 mm; 月平均蒸发量最大的是 5 月和 6 月, 平均达 382.6 mm, 占全年的 16%。土壤类型为灰棕漠土或石膏灰棕漠土, 土壤

① 收稿日期: 2019-04-08; 修订日期: 2019-05-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(31560128, 31760709, 31860175); 甘肃省基金项目(2017kj025, 18JR3RA018); 甘肃省重点研发项目(17YF1A113) 资助

作者简介: 郭春秀(1979-), 女, 博士, 副研究员, 主要从事荒漠生态及草地生物多样性方面研究。E-mail: guochunxiu0414@163.com

通讯作者: 刘开琳。E-mail: haoyun103@sina.com

以灰色或棕色为主,土壤表层紧实,部分地区有沙化现象,剖面发育微弱。研究区主要灌木有黑果枸杞(*Lycium ruthenicum*)、白刺(*Nitraria tangutorum*)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*)、小果白刺(*Nitraria sibirica*)、红砂(*Reaumuria soongoria*)等,草本主要有田旋花(*Convolvulus arvensis*)、藜(*Chenopodium album*)、白茎盐生草(*Halogeton arachnoideus*)、顶羽菊(*Acroptilon repens*)、碱蓬(*Suaeda glauca*)、骆驼蓬(*Peganum harmala*)、骆驼蒿(*Peganum nigellastrum*)、蒙

古猪毛菜(*Salsola ikonnikovii*)等。

1.2 研究方法

1.2.1 样地设置与野外调查 以2016年9月民勤境内天然黑果枸杞种群为调查对象,根据立地类型选择了沙地、盐碱地、砾质戈壁、固定半固定沙地为调查样地(表1)。每个样地内设置3个10 m × 10 m的样方。用GPS记录每个样地的地理位置及海拔高度,并详细记录调查样方内每一株黑果枸杞相对坐标位置、个体数、株高及冠幅等指标。

表1 不同立地类型黑果枸杞样地概况

Tab.1 Basic information of the sample spots of *Lycium ruthenicum* community

样地类型	位置	经纬度	海拔/m	优势种	土壤类型
沙地	丰庆滩	38°45'51"N, 103°30'47"E	1 326	黑果枸杞 + 盐爪爪(<i>Lycium ruthenicum</i> + <i>Kalidium foliatum</i>)	灰棕漠土
盐碱地	青土湖	39°03'09"N, 103°36'15"E	1 306	碱蓬 + 黑果枸杞(<i>Suaeda glauca</i> + <i>Lycium ruthenicum</i>)	灰棕漠土
砾质戈壁	菜蕨山	38°49'39"N, 102°56'53"E	1 345	狗尾草 + 黑果枸杞(<i>Setaria viridis</i> + <i>Lycium ruthenicum</i>)	灰棕漠土
固定和半固定沙地	西沙窝	38°58'07"N, 103°06'09"E	1 324	黑果枸杞 + 骆驼蓬(<i>Lycium ruthenicum</i> + <i>Peganum harmala</i>)	灰棕漠土

1.2.2 研究方法

(1) 种群散点分布图

将调查样方中每一株黑果枸杞当作空间中的点,以样方左下角为坐标原点,记录每株黑果枸杞相对于坐标原点的二维空间坐标值,并绘制黑果枸杞种群在样地中的散点分布图,可直观看出不同立地类型黑果枸杞的个体数量及分布格局。

(2) 种群分布格局分析方法

采用扩散系数(方差与均值之比)、丛生指标、负二项参数、聚块性系数、平均拥挤指标、聚集度指标、Moristia指数、Green指数等8个指标,综合分析石羊河下游不同立地类型黑果枸杞种群分布格局及聚集强度。各指标采用生态常用计算方法,公式如下^(3,13-16)。

扩散系数(C)

$$C = \frac{v}{m}$$

式中: v 为样本方差; m 为样本均值。

当 $C < 1$ 时,为均匀分布; $C = 1$ 时,为随机分布;

当 $C > 1$ 时,为聚集分布。

丛生指数(I)

$$I = \frac{v}{m} - 1$$

当 $I < 0$,为均匀分布; $I = 0$,为随机分布; $I > 0$,为聚集分布。

负二项参数(K)

$$K = \frac{m^2}{v - m}$$

当 K 趋于无群大,一般为8以上,符合泊松(随机)分布;当 $K < 8$ 时,种群为聚集分布。 K 是一个负性指数,值越大,表示聚集程度越弱;反之,则聚集程度越强。

Cassie 指标(C_a)

$$C_a = \frac{1}{K} = \frac{v - m}{m^2}$$

当 $C_a < 0$,为均匀分布; $C_a = 0$,为随机分布; $C_a > 0$,为聚集分布。

平均拥挤度指标(m^*)

$$m^* = m + \left(\frac{v}{m} - 1 \right)$$

它反映了样方内生物个体的拥挤程度, m^* 值越大表示聚集程度越强。

聚集度指标(G):表示平均拥挤度与平均密度的比率。

$$G = \frac{m^*}{m}$$

当 $G = 1$ 时,为随机分布;当 $G > 1$ 时,为聚集分布;

当 $G < 1$ 时,为均匀分布。

Moristia 指数(I_δ)

$$I_\delta = \frac{n \sum_{i=1}^n n_i (n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

式中: n 为样方数; N 为个体总数; n_i 为第 i 个样方中

的个体数。

当 $I_s = 1$,为随机分布;当 $I_s < 1$,为均匀分布;当 $I_s > 1$,为聚集分布。

Green 指数(I_G)

$$I_G = \left(\frac{v}{m} - 1 \right) \times \frac{1}{n-1}$$

当 $I_G < 0$ 时为均匀分布; $I_G = 0$ 时为随机分布 $I_G > 0$ 时为聚集分布。

2 结果与分析

2.1 黑果枸杞种群散点分布格局

依据记录和测量的每株黑果枸杞在样方中相对于坐标原点的二维空间坐标值,绘制黑果枸杞种群的散点分布图(图1)。从图1可以看出,盐碱地黑果枸杞个体数量较多,聚集程度相对较高,沙地和固定半固定沙地次之,砾石样地黑果枸杞的个体数量最少,聚集程度相对较低。

2.2 不同立地类型黑果枸杞种群空间分布格局

采用8种指标对石羊河下游不同立地类型黑果枸杞种群调查数据分析,得到不同样地黑果枸杞种群分布格局(表2)。由表2可知,各样地空间分布

格局存在一定的差异,在4种类型样地中, C 值均大于1, I_s 、 C_a 和 I_G 值均大于0,所以黑果枸杞种群均服从集群分布的特点;又在砾石样地和固定半固定沙地中, G 和 I_s 值均接近于1,且 K 值大于8,趋于泊松分布,有一定的随机趋势。盐碱地和沙地形成以母株为中心的集群分布繁殖策略。4个样地中盐碱地的聚集强度最大,平均拥挤度(m^*)达262.083,为典型的聚集分布;就扩散系数 C 和扩散型指数 I_s 而言,盐碱地的 $C=40.718$, $I_s=1.685$,表明该样地内黑果枸杞的聚集程度最高;在沙地中 K 值为5.736,小于8,相对于盐碱地的聚集程度有所减弱。

2.3 不同发育阶段黑果枸杞种群分布格局差异

由表3可以看出,石羊河下游不同立地类型样地不同发育阶段的黑果枸杞种群格局类型总体呈现聚集分布的特点。从幼龄开始到老龄呈现出明显的递变规律。I~VII龄级的 I 值、 K 值、 C_a 值和 I_G 值均大于0;且I~III龄级的 C 值、 G 值和 I_s 值均大于1,所以幼龄的黑果枸杞种群呈聚集分布格局;IV~VII龄级的 G 值和 I_s 值均小于1,所以老龄黑果枸杞种群又有均匀分布的趋势。幼龄级(I~III)的扩散指数 C 、扩散型指数 I_s 和平均拥挤度 m^* 值均较

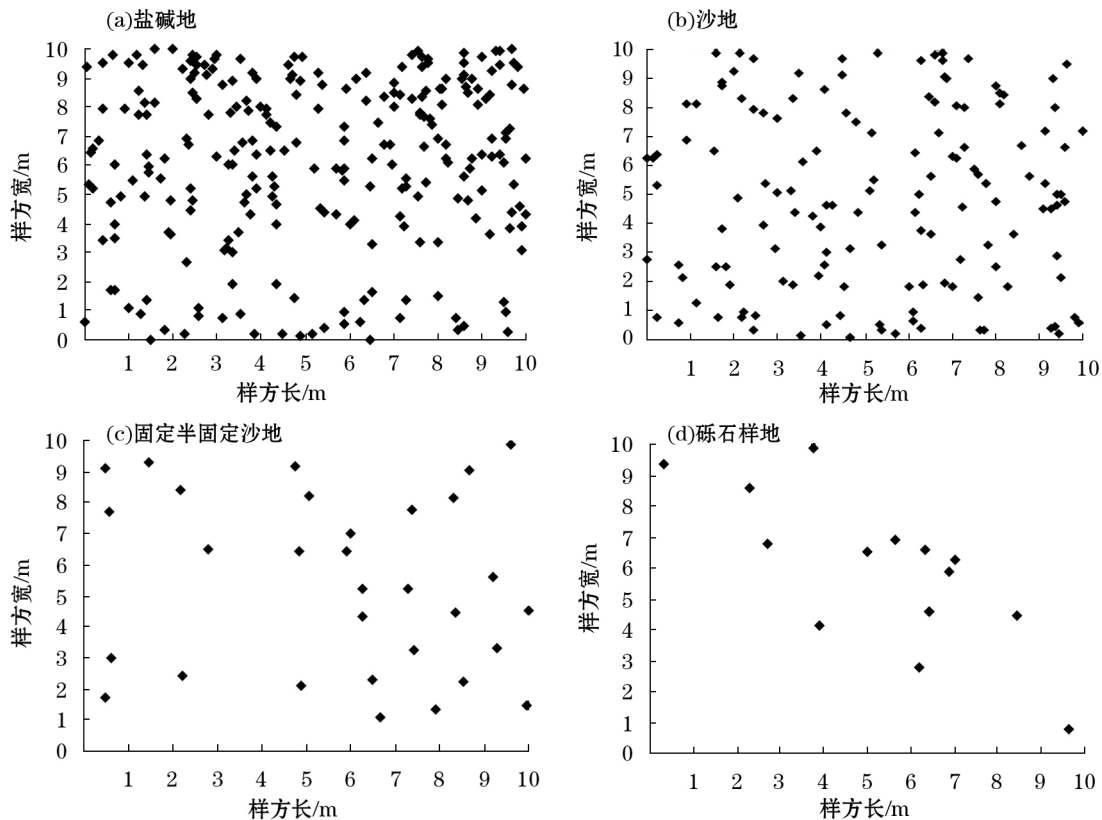


图1 不同立地类型黑果枸杞种群散点分布

Fig.1 Scattering-dot distribution diagram in different site types of *Lycium ruthenicum* population

表 2 不同立地类型黑果枸杞种群分布格局指数

Tab. 2 Distribution pattern indexes of *Lycium ruthenicum* population in different site types /%

样地	C	I	K	I_{δ}	m^*	G	C_a	I_G	分布格局
盐碱地	40.718	39.718	0.982	1.685	262.083	1.670	1.018	19.859	C
沙地	11.577	10.577	5.736	1.117	67.385	1.111	0.174	5.289	C
固定半固定沙地	22.625	21.625	11.468	1.058	65.145	1.057	0.087	10.813	C, R
砾石	13.522	12.522	10.701	0.998	49.806	0.997	0.094	6.261	C, R

注: C 表示扩散系数, I 表示丛生指数, K 表示负二项指数, I_{δ} 表示扩散型指数, m^* 表示平均拥挤度, G 表示聚集度指标, C_a 表示聚块系数, I_G 表示 Green; C 表示聚集分布, U 表示均匀分布, R 表示随机分布。下同。

表 3 不同立地类型黑果枸杞种群不同发育阶段的分布格局

Tab. 3 Distribution patterns of *Lycium ruthenicum* population in different site types at different development stages /%

年龄/a	龄级	C	I	K	I_{δ}	m^*	G	C_a	I_G	格局
1~3	I	113.754	112.754	1.047	1.639	192.836	1.634	0.956	56.377	C
4~6	II	123.206	122.206	0.900	1.370	200.541	1.823	1.111	61.103	C
7~9	III	73.162	72.162	0.814	1.375	107.260	1.826	1.228	36.081	C
10~12	IV	20.979	19.979	1.189	0.992	31.095	1.309	0.841	9.989	C, U
13~15	V	11.377	10.377	1.662	0.710	16.087	0.933	0.602	5.188	C, U
16~18	VI	8.933	7.933	1.261	0.235	3.050	0.305	0.793	3.967	C, U
19~21	VII	13.667	12.667	0.533	0.051	0.444	0.066	1.877	6.333	C, U

老龄(IV~VII)的大,表现出强烈的聚集效应。

3 讨论

种群分布格局是物种与环境因素相互作用的结果,它不但与物种的生态生物学特性和种间的竞争排斥有关⁽¹⁷⁾,而且与物种的生境(包括土壤、地形、气候、水分和养分等)有密切的联系⁽¹⁸⁾。不同分布型指数所反映的种群分布特征侧重点不同,几种指标的联合运用,能从多侧面反映种群空间格局的相关信息⁽¹⁹⁾。种群的聚集分布体现了种群内相互有利的生态关系,均匀分布体现了种群内相互排斥的生态关系,随机分布则表明种群内没有明确的生态关系⁽²⁰⁾。植物的种群空间分布格局会因物种不同、或者同一物种在不同发育阶段、不同生境条件而有所差异。本研究结果显示,石羊河下游不同立地类型黑果枸杞种群因生境异质性而形成了各自的生态格局、形态格局和年龄格局。在盐碱地和沙地中,黑果枸杞种群呈聚集分布格局,这可能是黑果枸杞适应环境的生存策略,由于民勤荒漠区自然环境恶劣,作为虫媒的物种较少,因此会影响黑果枸杞通过有性繁殖来繁衍后代,且盐碱地和沙地土壤水分含量低,

胁迫强烈,影响种群的生存、繁衍和分布,种群多以母株为中心进行克隆生长,这种聚集分布能够加强黑果枸杞自身的竞争能力,以便与其他物种相抗衡⁽²¹⁾,受空间的限制黑果枸杞种群呈聚集分布;固定半固定沙地和砾石样地黑果枸杞种群多呈聚集分布,但由于种内个体的竞争、生化他感作用,以及受微环境的作用,也会引起一定程度的随机分布,这可能是因为固定半固定沙地和砾石样地水分条件相对较好,植被物种丰富度相对较高⁽²²⁾,物种间竞争激烈,使得种群向更大空间扩散,导致黑果枸杞表现为随机分布,这与张鹏⁽²³⁾对民勤荒漠区黑果枸杞群落种间联结性及种间分布格局研究一致。而且在固定半固定沙地和砾石样地附近,放牧、采摘等人为干扰十分严重,这一现象也是造成黑果枸杞呈随机分布的重要原因。在气候一致的区域内,微环境会影响小尺度的植被格局⁽²⁴⁻²⁵⁾,研究发现砾石样地黑果枸杞分布区数量较少,主要是由于该样地位于莱蕨山麓冲洪积扇边缘,种子在水力和风力综合作用下,附着在河道两旁及干河床上萌发、扩散及繁殖而定居,这主要是物种的生物学特性起决定性作用。

不同发育阶段的黑果枸杞在不同生境条件下分

布格局不同,聚集强度也不同,表现为幼龄最大,老龄次之,中龄最小。黑果枸杞种群新苗和幼株个体丰富,种群总体呈现聚集分布的特点,随着龄级的增大,黑果枸杞种群的分布格局呈现出由聚集分布向均匀分布的变化趋势。这是由于黑果枸杞种子成熟后散落在母体周围进行繁殖,受空间的限制,黑果枸杞幼苗多呈聚集分布;这种分布格局除了与自身的生物学特性和种间竞争有关外,主要是由于此地生境为沙质和砾质土壤,气候干旱,土壤浅层水分匮乏,很难形成生物结皮,地表容易形成风沙流,风蚀会对幼小植株造成机械损伤,幼苗很难存活,黑果枸杞种群更新受限⁽²⁶⁾,为了抵御自然灾害,植株聚集成斑块结构以汲取富集的养分,减少土壤水分蒸发,从而更好地适应恶劣生境而繁衍生息,这是黑果枸杞的生物学特性和生态因子共同作用的结果。随着黑果枸杞个体年龄与体积的增大,植株对水分、光因子和营养条件的需求增大,当不能满足其生存需求时,个体间竞争加大,受环境异质性的影响,种群会发生自疏和它疏现象,从而导致种群由聚集分布向均匀分布过渡。本研究与其他学者认为,自然种群在生态脆弱地带服从聚集分布的较多,而服从随机分布的较为少见⁽²⁷⁻²⁸⁾。

种群聚集强度与物种自身的生物学特性和生存环境有关。天然生长的黑果枸杞种群在干旱的情况下,受环境和其他因素制约,有性繁殖种子的自然萌发率、成活率、成株率极低⁽²⁹⁾,所以黑果枸杞植株以无性繁殖的方式居多⁽³⁰⁾,以适应恶劣的自然环境来维持种群的更新。环境胁迫导致种子繁殖能力较弱或者已中断,发生强烈的自疏和它疏作用,是生物学特征、环境脆弱性以及种内种间关系共同作用的结果⁽³¹⁾。因此,研究样地中各种环境因子在黑果枸杞种群空间格局形成的作用,有助于进一步解释种群分布格局的成因。

4 结论

黑果枸杞是石羊河下游的重要植被建群种之一,对维持石羊河下游荒漠生态稳定、促进植被恢复与重建具有重要作用。在4种不同立地类型黑果枸杞样地中,沙地和盐碱地黑果枸杞的个体数量较多,聚集程度相对较高,砾石和固定半固定沙地黑果枸杞的个体数量较少,聚集程度相对较低。在盐碱地和沙地中,黑果枸杞表现出以母株为中

心的聚集分布繁殖策略,4个样地中盐碱地的聚集强度最大;固定半固定沙地和砾石样地相对于沙地和盐碱地的聚集程度有所减弱,受到生态挤压,有一定的随机趋势。在不同发育阶段,黑果枸杞种群多以聚集分布为主,随着龄级的增大,黑果枸杞种群呈现出由聚集分布趋向均匀分布的变化趋势。

参考文献(References):

- (1) 李博,杨持,林鹏.生态学(M).北京:高等教育出版社,2000. (Li Bo, Yang Chi, Lin Peng. Ecology (M). Beijing: Higher Education Press 2000.)
- (2) 康佳鹏,马盈盈,马淑琴,等.荒漠绿洲过渡带柽柳种群结构与空间格局动态(J).生态学报,2019,39(1):265-276. (Kang Jiapeng, Ma Yingying, Ma Shuqin, et al. Dynamic changes of spatial pattern and structure of the *Tamarix ramosissima* population at the desert-oasis ecotone of the Tarim Basin (J). Acta Ecologica Sinica 2019, 39(1): 265-276.)
- (3) 李亚,胡小柯,魏怀东,等.腾格里沙漠南缘天然群落主要种群空间分布格局研究(J).西北林学院学报,2017,32(2):67-72. (Li Ya, Hu Xiaoke, Wei Huaidong, et al. Spatial patterns of the main populations of the natural vegetation community in the south margin area of Tenggeli desert (J). Journal of Northwest Forestry University 2017, 32(2): 67-72.)
- (4) 王军.兰州市永登县红砂种群数量动态与分布格局(D).兰州:甘肃农业大学,2012. (Wang Jun. The Dynamics and Distribution Paths on *Reaumuria soongorica* Population in the Yongdeng County of Lanzhou (D). Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2012.)
- (5) 江洪.云杉种群生态学(M).北京:中国林业出版社,1992:41-50. (Jiang Hong. *Picea asperata* Population Ecology (M). Beijing: China Forestry Publishing House, 1992: 41-50.)
- (6) Greig-Smith P. The use of random and contiguous in the study of the structure of plant communities (J). Annual Botany, 1952, 16(2): 293-316.
- (7) 周资行,李毅,焦健.兰州市郊红砂种群数量动态及分布格局(J).生态与农村环境学报,2011,27(5):24-31. (Zhou Zixiang, Li Yi, Jiao Jian. Quantity dynamics and spatial distribution-pattern of *Reaumuria soongorica* population in suburbs of Lanzhou (J). Journal of Ecology and Rural Environment 2011, 27(5): 24-31.)
- (8) 林丽,张裴斯,晋玲,等.黑果枸杞的研究进展(J).中国药房,2013,47(24):4493-4496. (Lin Li, Zhang Peisi, Jin Lin, et al. The research progress on *Lycium ruthenicum* (J). China Pharmacy, 2013, 47(24): 4493-4496.)
- (9) 李昌龙,马瑞君,王继和.甘肃民勤连古城自然保护区优势种群结构和动态研究(J).西北植物学报,2005,25(8):1628-1636. (Li Changlong, Ma Ruijun, Wang Jihe. Community struc-

- tures and dynamics of dominant species in Minqin Liangucheng nature reserve of Gansu province (J). *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* 2005 25(8): 1 628 - 1 636.)
- (10) 张金屯. 数量生态学 (M). 北京: 科学出版社, 2004: 243 - 266. (Zhang Jintun. *Quantitative Ecology* (M). Beijing: Science Press, 2004: 243 - 266.)
- (11) Prietsley M B. *Spectral Analysis and Time Series* (M). London: Academic Press, 1984.
- (12) 李海涛. 植物种群分布格局研究概况 (J). *植物学通报*, 1995, 12(2): 19 - 26. (Li Haitao. Introduction to studies of the pattern of plant population (J). *Chinese Bulletin of Botany*, 1995, 12(2): 19 - 26.)
- (13) 胡小柯, 李亚, 李得禄, 等. 荒漠植物霸王种群空间分布格局 (J). *西南林业大学学报* 2012 32(4): 61 - 65. (Hu Xiaoke, Li Ya, Li Delu et al. Spatial distribution patter of desert lants *Zygo-phyllym xanthoxylum* (J). *Journal of Southwest Forestry University* 2012 32(4): 61 - 65.)
- (14) 郑元润. 不同方法在沙地云杉种群分布格局分析中的适用性研究 (J). *植物生态学报*, 1997, 21(5): 480 - 484. (Zheng Yuanrun. The applicablty of various methods in analysis of *Picea mongolica* population spatial distribution pattern (J). *Acta Phytocologica Sinica* 1997 21(5): 480 - 484.)
- (15) 上官铁梁, 张峰. 山西绵山植被优势种群的分布格局与种联结的研究 (J). *武汉植物学研究*, 1988 6(4): 357 - 364. (Shangguan Tieliang, Zhang Feng. Research on the pattern and associations between dominants of the vegetation in Mian mountain, Shanxi province (J). *Journal of Wuihai Botanical Research*, 1988 6(4): 357 - 364.)
- (16) 张瑾, 陈文业, 张继强, 等. 甘肃敦煌西湖荒漠 - 湿地生态系统优势植物种群分布格局及种间关联性 (J). *中国沙漠* 2013 33(2): 349 - 357. (Zhang Jin, Chen Wenye, Zhang Jiqiang, et al. (Spatial distribution pattern and interspecific association of the dominant populations in Wetland ecological system enclosed by extremely dry desert region in Dunhuang Xihu, Gansu, China (J). *Journal of Desert Research* 2013 33(2): 349 - 357.)
- (17) 杜道林, 刘玉成, 李睿. 缙云山亚热带栲树林优势种群间联结性研究 (J). *植物生态学报*, 1995, 19(2): 149 - 157. (Du Dao-lin, Liu Yuheng, Li Rui. Study on the interlinkage of the dominant population of the subtropical castanopsis forest in Jinyunshan (J). *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1995, 19(2): 149 - 157.)
- (18) 刘庆, 钟章成. 斑苦竹无性系种群克隆生长格局动态研究 (J). *应用生态学报*, 1996, 7(3): 240 - 244. (Liu Qin, Zhong Zhang-cheng. Clonal growth pattern of *Pleioblastus maculate* clone population (J). *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996, 7(3): 240 - 244.)
- (19) 常静. 准噶尔盆地西北缘典型荒漠植物群落优势种群空间格局分析 (D). 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2006. (Chang Jing. *Spatial Pattern Analysis of Dominant Species of Typical Desert Plant Community in Norhwstem Margin of Junggar Basin* (D). Urumqi: Xinjiang Agricultural University 2006.)
- (20) 赵成章, 高福元, 石福习, 等. 高寒退化草地甘肃臭草种群分布格局及其土壤水分的响应 (J). *生态学报* 2011 31(22): 6 688 - 6 695. (Zhao Chengzhang, Gao Fuyuan, Shi Fuxi, et al. *Melica przewalskyi* population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland (J). *Acta Phytocologica*, 2011, 31(22): 6 688 - 6 695.)
- (21) 董秋莲. 不同生境红砂种群结构和动态研究 (D). 兰州: 甘肃农业大学, 2013. (Dong Qiulian. *Structure and Dynamics of Reaumuria soongorica* Population in Different Habitas (D). Lanzhou: Gansu Agriculture University 2013.)
- (22) 郭春秀, 姚拓, 马俊梅, 等. 石羊河下游不同类型荒漠草地黑果枸杞群落结构及物种多样性特征 (J). *草地学报* 2017 25(3): 529 - 537. (Guo Chunxiu, Yao Tuo, Ma Junmei et al. Characteristics and species diversity of *Lycium ruthenicum* on different types of desert grassland (J). *Acta Agrestia Sinica*, 2017, 25(3): 529 - 537.)
- (23) 张鹏. 民勤荒漠区黑果枸杞群落种间联结性及种群空间分布格局研究 (D). 杨凌: 西北农林科技大学, 2017. (Zhang Peng. *Interspecific Association and Spatial Distribution Pattern of the Lycium ruthenicum* Murr. in Minqin Desert Area (D). Yangling: Northwest A & F University 2017.)
- (24) Hara Masatoshi, Hirata Kazuhiro, Fujihara Michiro, et al. Vegetation structure in relation to micro-landform in an evergreen broad-leaved forest on Amami Ohshima Island, South-West Japan (J). *Ecological Research*, 1996, 11(3): 325 - 337.
- (25) 闫建成. 阿拉善荒漠植被空间格局及其形成机制 (D). 呼和浩特: 内蒙古大学, 2012. (Yan Jiancheng. *The Spatial of Desert Vegetation and Its Forming Mechanism in Alxa* (D). Hohhot: Inner Mongolia University 2012.)
- (26) 董秋莲, 李毅, 单立山, 等. 张掖市龙首山红砂种群结构和分布格局研究 (J). *水土保持通报* 2013 33(4): 284 - 288. (Dong Qiulian, Li Yi, Shan Lishan, et al. Population structure and distribution pattern of *Reaumuria soongorica* in Longshou Mountain of Zhangye City (J). *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2013, 33(4): 284 - 288.)
- (27) 张峰, 上官铁梁. 山西翅果油树群落优势种群分布格局研究 (J). *植物生态学报*, 2000, 24(5): 590 - 594. (Zhang Feng, Shangguan Tieliang. Population patterns of dominant species in *Elaeagnus mollis* communities, Shanxi (J). *Acta Phytocologica Sinica* 2000 24(5): 590 - 594.)
- (28) 吴宁. 贡嘎山麦吊杉群落优势种群分布格局及相互关系 (J). *植物生态学报*, 1995, 19(3): 270 - 279. (Wu Ning. Spatial pattern and relationship of dominant species in a *Picea brachytyla* community on Gongga Mountain (J). *Acta Phytocologica Sinica*, 1995, 19(3): 270 - 279.)
- (29) 何文革, 那松曹克图, 吾其尔, 等. 新疆焉耆盆地黑果枸杞自然分布特点及其生物特性 (J). *中国野生植物资源* 2015(4): 59 - 63. (He Wenge, Nasongcaoketu, Wuqier et al. Natural distribution and biological characteristics of *Lycium ruthenicum* in Yanqi Basin of Xinjiang (J). *Chinese Wild Plant Resources* 2015(4): 59

- 63.)
- (30) 马俊梅,郭春秀,何芳兰,等. 民勤绿洲外围不同立地类型黑果枸杞种群分布格局 (J). 干旱区研究, 2019, 36(1): 122 - 130. (Ma Junmei, Guo Chunxiu, He Fanglan, et al. Spatial pattern of *Lycium ruthenicum* in different site types on the periphery of Minqin oasis (J). Arid Zone Research, 2019, 36(1): 122 - 130.)
- (31) 李治元,李昌龙,王多泽,等. 石羊河下游盐渍化弃耕地植被演替特征分析 (J). 西北植物学报, 2010, 30(10): 2 087 - 2 092. (Li Zhiyuan, Li Changlong, Wang Duoze, et al. Characteristics of vegetation succession on salinized abandoned fields in lower reaches of Shiyang river (J). Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2010, 30(10): 2 087 - 2 092.)

Distribution Patterns of *Lycium ruthenicum* Population in Different Site Types in Lower Reaches of the Shiyang River

GUO Chun-xiu^{1,2,3}, LIU Kai-lin³, MA Jun-mei^{1,3}, WANG Li-de³, HE Fang-lan^{2,3},
ZHAO Peng^{2,3}, FU Gui-quan^{2,3}, ZHAO Yan-li³

- (1. State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aeolian Sand Disaster Combating, Wuwei 733000, Gansu, China;
2. Minqin National Station for Desert Steppe Ecosystem Studies, Minqin 733300, Gansu, China;
3. Gansu Institute of Desert Control Research, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract: Based on the methods of surveyed sample plots and adjacent lattice sampling β indexes were adopted as the diffusion coefficient (C), cluster index (I), negative binomial parameter (K), agglomeration coefficient (C_a), average crowding index (m^*), aggregation index (G), Moristia index (I_δ) and Green index (I_G). These indexes were used to study the distribution patterns and aggregation intensity of *Lycium ruthenicum* population in different site types in the lower reaches of the Shiyang River. The results showed that there were many *L. ruthenicum* individuals in the saline-alkaline land and sandy land, and the aggregation level was relatively high. However, the plants of *L. ruthenicum* in gravel land and fixed and semi-fixed sandy land were relatively less, and the aggregation level was relatively low. The *L. ruthenicum* population was distributed in an aggregation way in saline-alkaline land and sandy land, and the plants in the fixed and semi-fixed sandy land and gravel land were relatively less and their aggregation level was low; The *L. ruthenicum* population at different development stages was holistically distributed in an aggregation way, and with the increase of tree-age, the *L. ruthenicum* population changed from aggregation distribution to a uniform distribution.

Key words: site type; *Lycium ruthenicum*; population; distribution pattern; lower reaches of Shiyang River