

北砸山沙冬青种群分布格局与群落特征

周启龙^{1,2}, 王立¹, 廖空太², 杨国洲², 王大为¹

(1. 甘肃省农业大学 林学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省林业工作站管理局, 甘肃 兰州 730046)

摘要: [目的] 了解石质山不同坡向沙冬青的种群结构、分布格局, 旨在揭示沙冬青种群与环境异质间的相互关系。[方法] 在北砸山不同坡向上采用样线和样方相结合的方法调查沙冬青群落特征, 运用平均拥挤度、丛生指数、聚块性指标、Cassie 指标、扩散系数、负二项分布指标等方法对景泰北砸山不同坡向沙冬青种群结构和分布格局进行了研究。[结果] (1) 北砸山阳坡沙冬青种群密度最高, 是半阳坡的 2.5 倍, 半阴坡生长状况最好; (2) 阳坡、半阳坡、山脊处沙冬青年龄结构为稳定型, 半阴坡年龄结构为增长型; (3) 阳坡、半阳坡、半阴坡扩散指数 C 均大于 1, 说明阳坡、半阳坡、半阴坡都服从集群分布, 而山脊处扩散指数 C 小于 1, 说明山脊处沙冬青服从均匀分布; (4) 北砸山沙冬青种群分布格局规模: 阳坡为 $4\text{ m} \times 8\text{ m}$, 半阳坡为 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$, 半阴坡为 $8\text{ m} \times 8\text{ m}$, 山脊部为 $4\text{ m} \times 8\text{ m}$ 。[结论] 北砸山沙冬青生长状况良好, 年龄结构稳定, 分布格局大多为集群分布, 各区域分布的沙冬青种群格局规模存在差异。

关键词: 沙冬青; 北砸山; 分布格局; 年龄结构; 格局规模

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2015)02-0302-04

中图分类号: Q948

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.02.057

Distribution Pattern and Characteristics of *Ammopiptanthus Mongolicus* Population in Beiza Mountain

ZHOU Qilong^{1,2}, WANG Li¹, LIAO Kongtai², YANG Guozhou², WANG Dawei¹

(1. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. Administration for Forestry Station of Gansu Province, Lanzhou, Gansu 730046, China)

Abstract: [Objective] The population structure and distribution pattern of *Ammopiptanthus mongolicus* in different slope aspects of Beiza Mountain were demonstrated and the relations between *A. mongolicus* population and the surroundings were analyzed. [Methods] Population structure and distribution pattern of *A. mongolicus* population in different slope aspects of Beiza Mountain were studied by using mean crowding, clumping index I , patchiness index, Cassie index, dispersal index (C) and parameter of negative binominal (K). [Results] (1) The highest population density of *A. mongolicus* was at sunny slope, which was 2.5 times of the half-sunny slope; and the population grew best at half-shaded slope. (2) The age structure at sunny slope, half-sunny slope and ridge were stable, the half-shaded slope was increasing; (3) The dispersal index at sunny slope, half-sunny slope and half-shaded was clump distribution, and the ridge was uniform distribution; (4) The pattern scales were as follows: sunny slope, $4\text{ m} \times 8\text{ m}$; half-sunny slope, $4\text{ m} \times 4\text{ m}$; half-shaded slope, $8\text{ m} \times 8\text{ m}$; ridge, $4\text{ m} \times 8\text{ m}$. [Conclusion] The growth status was well, the age structure was stable, and the most distribution patterns were clump distribution, the pattern scale was different in imparity distribution.

Keywords: *A. mongolicus*; Beiza Mountain; distribution pattern; age structure; pattern scale

沙冬青 (*A. mongolicus*) 又名蒙古黄花木, 豆科冬青属植物, 属古第三纪遗种、亚洲中部特有物种, 是我国重点保护的第一批珍稀濒危物种, 也是我国西北荒漠地区唯一的超旱生常绿阔叶灌木树种^[1]。近

年来, 众多学者^[2-9] 在沙冬青生理特性、化学组成、抗旱机理、生物化学、生态学、引种栽培等方面做了大量的研究工作, 并取得了一定的成果, 但在研究过程中也存在许多缺失和不足, 例如, 在人工沙冬青建群等

收稿日期: 2014-03-03

修回日期: 2014-03-25

资助项目: 中央财政林业科技推广跨区域重点推广示范项目“干旱沙区沙冬青种群营建技术示范推广”(2010TK69)

第一作者: 周启龙(1988—), 男(汉族), 吉林省省榆树市人, 硕士研究生, 研究方向为荒漠化防治。E-mail: qilong_zhou@163.com。

通信作者: 王立(1963—), 男(汉族), 甘肃省甘谷县人, 副教授, 硕士生导师, 主要从事水土保持、荒漠化防治等研究方向。E-mail: wangli@gsau.edu.cn。

方面仍得不到技术和科学支撑。北碚山区自然条件恶劣,但是却形成了一定范围年龄结构稳定的沙冬青种群,对人工沙冬青种群建立方面的研究具有重要意义^[10]。不同生境条件下濒危植物的种群结构可以揭示种群建立和演化过程中的某些机理,反映植物与环境之间的适合度。而针对沙冬青种群结构和分布格局的研究,能够定量描述种群结构、揭示格局成因、阐述种群及群落动态变化以及探索种群衰败和致濒原因^[11]。本研究在野外调查及前人研究的基础上,通过系统研究石质山不同坡向沙冬青的种群结构、分布格局,探讨沙冬青种群与环境异质间的相互关系,为沙冬青种质资源保护及人工种群建立提供理论依据。

1 研究区概况

研究区位于甘肃省景泰县北碚山,地理位置 $103^{\circ}54'48''-103^{\circ}43'06''E, 37^{\circ}25'28''-37^{\circ}35'45''N$,海拔1900 m,属温带干旱荒漠气候。光热资源丰富,日照充足;降水稀少且分布不均,年均降水量184.8 mm,主要集中在7—9月;蒸发强烈,年平均蒸发量3038 mm;风沙活动频繁,年均风速3.5 m/s,最大风速21.7 m/s,年8级以上大风27.9 d,年沙尘暴21.9 d;年均气温8.2℃,极端高温36.6℃,极端低温27.3℃;日照时数2725.7 h,无霜期192 d。北碚山地处祁连山褶皱系东端,北抵阿拉善地块南缘,山体主要为第四纪岩浆岩的堆积物。山势陡峭,山大沟深。山区唯一可供植被利用的水源为大气降水。天然植物有红砂(*Reaumuria songarica*)、霸王刺(*Rhizoma Smilacis Chinae*)、猫头刺(*Oxytropis aciphylla*)、茵陈蒿(*Artemisia capillaries*)、紫菀木(*Asterothamnus alyssoides*)、骆驼蒿(*Peganum nigellastrum*)、荒漠锦鸡儿(*Caragana roborovskiyi*)、芨芨草(*Achnatherum splendens*)等。

2 研究方法

2.1 样方调查

北碚山山坡上沙冬青比较均匀,阳坡、半阳坡、半阴坡和山脊处均有分布。根据该地区的地形、地貌等生境条件,主要采用样线和样方相结合的方法,取典型的阳坡、半阳坡、半阴坡和山脊处样地,每个样地上设置一个20 m×20 m的大样方,每个大样方划分为100个2 m×2 m的小样方。精确测量样方内沙冬青的树高、冠幅和新枝长度。以大样方水平方向为横轴,沿山坡向下方向为纵轴,记录每一株沙冬青的坐标值。

2.2 数据分析

2.2.1 沙冬青种群结构研究 刘虎俊等^[10]认为山地沙冬青天然种群个体的高度与其年龄的大小并无明显的相关关系,而其冠幅基本随年龄的变化具有明显的差异。实地调查也发现这一现象,按照个体冠幅划分其年龄结构。以10 cm为一个幅度级,划分为I—Ⅻ共12个级别,Ⅻ为大于110 cm沙冬青个体数。按照幅度级将冠幅在0~30 cm的个体定义为幼龄个体,冠幅在30~80 cm之间的个体定义为中龄个体,幅度大于80 cm的定义为老龄个体。

2.2.2 沙冬青种群分布格局研究 根据平均拥挤度、丛生指数等六项指标对分布格局进行研究^[12-13]:

(1) 平均拥挤度:

$$m^* = m + (s^2/m - 1)$$

式中: m^* 表示生物个体在一个样方内的平均邻居数,反映样方内生物个体的拥挤程度。数值越大聚集强度越大。同时 m^* 与 m 大小关系能够反映出分布形式。

(2) 丛生指数:

$$I = s^2/m - 1$$

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

(3) 聚块性指标:

$$m^*/m$$

$m^*/m > 1$ 为聚集分布; $m^*/m < 1$ 为均匀分布; $m^*/m = 1$ 为随机分布。

(4) Cassie 指标:

$$C_A = (s^2 - m)/m^2$$

$C_A > 0$ 时为集群分布; $C_A < 0$ 时为均匀分布; C_A 接近于0时为随机分布。

(5) 扩散系数:

$$C = s^2/m$$

$C > 1$ 时为集群分布; $C < 1$ 时为均匀分布; $C = 1$ 时为随机分布。

(6) 负二项参数:

$$K = m^2/(s - m)$$

K 值用于度量聚集程度, K 值越小聚集强度越高;当 $K > 8$ 时,逼近Poisson分布。 $K > 0$ 为聚集分布; $K < 0$ 为均匀分布。

其中 $m = (x_1 + x_2 + \dots + x_n)/n$, $s^2 = [(m - x_1)^2 + (m - x_2)^2 + \dots + (m - x_n)^2]/n$; x ——每个样方内沙冬青个体数; n ——样方数。

2.2.3 沙冬青分布规模分析 根据相邻格子法划分区组^[14],每个样地划分为:2 m×2 m(I),2 m×4 m(II),4 m×4 m(III),4 m×8 m(IV),8 m×8 m(V),

8 m×16 m(VI), 16 m×16 m(VII)共 7 个区组。运用区组样方差法计算每一个区组的均值, 利用均值分析分布规模。

3 结果与分析

3.1 沙冬青的生长状况

由于空间异质性, 北砸山不同坡向的沙冬青生长状况明显不同。调查结果显示, 不同生境下的沙冬青种群密度有显著差异, 密度最高的阳坡是密度最小的半阳坡的 2.54 倍。沙冬青密度从大到小依次为: 阳坡>半阴坡>山脊>半阳坡。

阳坡和半阴坡沙冬青密度明显高于半阳坡和山

脊。而半阴坡沙冬青的高度和冠幅与阳坡、半阴坡、山脊相比存在显著差异, 半阴坡沙冬青生长状况最好, 说明半阴坡环境最适合沙冬青生长。从方差分析结果来看(表 1), 阳坡、半阳坡和山脊之间的各项指标都没有显著差异, 但从平均值来看, 半阳坡的各项指标均略高于阳坡和山脊。这是因为半阳坡沙冬青密度小且共生种只有少量红砂, 种内竞争和种间竞争相对较小, 从而沙冬青有较好的生长空间。变异系数(方差/平均值)从大到小依次为: 冠幅(3.90~20.29)>高度(1.21~2.42)>新枝长度(0.43~1.39)>分枝数(0.24~0.64)。说明种群间最大的差异表现在冠幅的大小。

表 1 不同坡向沙冬青个体生长状况

| 坡向 | 密度/ (株·hm ⁻²) | 高度/cm | | 冠幅/cm | | 分枝数 | | 新枝长度/cm | |
|-----|------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | | 平均值 | 变异系数 C _v | 平均值 | 变异系数 C _v | 平均值 | 变异系数 C _v | 平均值 | 变异系数 C _v |
| 阳坡 | 2 796 | 23.97 ^b | 2.42 | 64.33 ^b | 12.01 | 3.73 ^a | 0.56 | 10.04 ^a | 1.09 |
| 半阳坡 | 1 100 | 25.42 ^b | 1.93 | 67.58 ^b | 7.24 | 4.00 ^a | 0.64 | 10.48 ^a | 1.39 |
| 半阴坡 | 2 367 | 36.72 ^a | 2.02 | 92.15 ^a | 20.29 | 4.08 ^a | 0.59 | 10.34 ^a | 0.87 |
| 山脊 | 2 000 | 23.75 ^b | 1.21 | 64.45 ^b | 3.93 | 3.90 ^a | 0.24 | 9.89 ^a | 0.43 |

注: 表中字母为 LSD 差异性比较, 相同字母为差异不显著, 不同字母表示差异显著($p < 0.05$)。

3.2 沙冬青的年龄结构

调查结果显示, 阳坡沙冬青年龄结构为稳定型, 半阳坡沙冬青年龄结构为稳定型, 半阴坡沙冬青年龄结构为增长性, 山脊处沙冬青年龄结构为稳定型。

由图 1 可以看出, 阳坡的沙冬青各幅度级中, 10~20 cm 和 120 cm 以上的部分缺失, 其他冠幅级大致均匀分布。种群存在一定数量的沙冬青幼龄个体, 约占总数的 23.08%, 能够保证种群的稳定。但是沙冬青本身更新苗成活率很低, 如 10~20 cm 部分已经缺失, 说明阳坡沙冬青种群有断代的风险, 会引起沙冬青种群结构断层。中龄个体占总数的 46.15%, 老龄沙冬青个体占总数的 38.46%, 中龄个体占有明显优势, 所以阳坡的沙冬青年龄结构为稳定型。

半阳坡沙冬青的种群结构断层严重, 各幅度级间严重缺失。幼龄、中龄和老龄沙冬青比例为: 1: 6.5: 1。可以推断沙冬青生长环境恶劣, 受外界干扰严重, 沙冬青幼苗成活率过低, 导致种群没有 10~30 cm 的幼龄沙冬青。并且在过去一段时间里成年沙冬青死亡率高, 导致目前老龄沙冬青比例过少。但此坡沙冬青目前的种群年龄结构呈稳定型。

半阴坡沙冬青各幅度级虽有部分缺失, 但是沙冬青幼龄个体比例较高, 约占总数的 28.21%, 可以保证沙冬青的更新换代。种群结构稳定, 各冠幅级比例相差不大, 老龄沙冬青数量多。随着时间的推移, 老龄

沙冬青会增多, 幼苗基数大, 能够保证中龄沙冬青的比例, 年龄结构呈增长型。实地考察发现, 坡向为背风向, 避免沙冬青被正面直吹, 坡面表层一般具有多年风积黄土或风沙土, 黏性较大, 土壤养分含量丰富, 阳光照射也可以满足沙冬青的生长, 是沙冬青年龄结构呈增长型的原因。山脊处的沙冬青种群结构不完整, 沙冬青的幼龄和老龄都过少。沙冬青幼龄个体数只占总数的 4.76%, 30 cm 以下沙冬青几乎没有, 老龄沙冬青个体数约为 14.29%, 这样必然导致中龄沙冬青比例过高。事实也是如此, 统计后发现, 中龄沙冬青的比例高达 80%。因为中龄沙冬青比例大, 所以山脊处沙冬青种群年龄结构为稳定型。

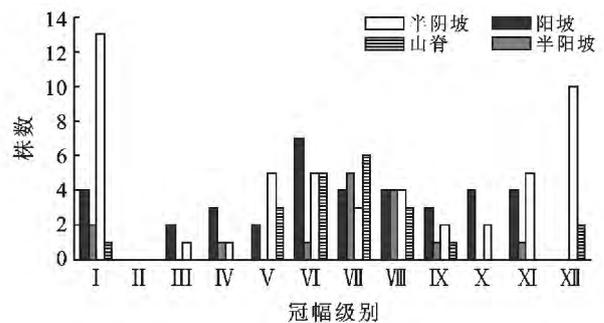


图 1 不同坡向沙冬青依冠幅直径分级(0.01 株/m²)

3.3 沙冬青种群空间分布格局

调查结果显示, 阳坡、半阳坡和半阴坡的沙冬青

种群分布格局为集群分布,山脊处的沙冬青种群分布格局为均匀分布。由表 2 可知,阳坡、半阳坡、半阴坡扩散指数 C 都大于 1,说明阳坡、半阳坡、半阴坡都服从集群分布,而山脊处扩散指数 C 小于 1,说明山脊处沙冬青服从均匀分布。丛生指数 I 也表明了这一点。虽然阳坡、半阳坡、半阴坡均为集群分布,但是聚集强度和拥挤度存在差异。负二项参数 K 可用于定性分析聚集程度^[14]。 K 值越小,说明聚集强度越高。结果表明半阳坡聚集强度大于阳坡和半阴坡。半阴

坡的 K 值很高,从聚集强度分析,此坡分布类型接近 Poisson 分布。平均拥挤度 m^* 表示生物个体在一个样方中的平均邻居数,它反应出样方内生物个体的拥挤程度。阳坡拥挤度为 1.576。 m^* 值最大,说明阳坡上的个体受其它个体的拥挤效应最大,山脊处的拥挤度为 0.738,拥挤度最小。 m^*/m 是聚块性指数,聚块性指数考虑了空间格局本身的性质,并不涉及密度,其值越大,聚集性越强。由表 2 可知,半阳坡 m^*/m 的值为 2.514,聚集性最强,与 K 指标的结果是一致的。

表 2 不同样地类型沙冬青分布格局

| 样地类型 | 拥挤度 m^* | 丛生指数 I | m^*/m 指标 | C_A 指数 | 扩散指数 C | K | 分布类型 |
|------|-----------|----------|------------|----------|----------|-------|------|
| 阳坡 | 1.576 | 0.427 | 1.327 | 0.372 | 1.427 | 2.686 | 集群分布 |
| 半阳坡 | 1.081 | 0.651 | 2.514 | 1.514 | 1.651 | 0.660 | 集群分布 |
| 半阴坡 | 1.037 | 0.147 | 1.126 | 0.126 | 1.147 | 7.915 | 集群分布 |
| 山脊 | 0.738 | -0.063 | 0.922 | -0.078 | 0.938 | -12.8 | 均匀分布 |

3.4 不同样地沙冬青空间格局规模

分布格局中集群分布的种群个体通常是聚集成大小不等的斑块镶嵌在一起,这种斑块的大小即为格局的规模^[15]。图 2 为沙冬青种群分布格局规模,横坐标为区组冠幅分别大小,纵坐标为均方值。

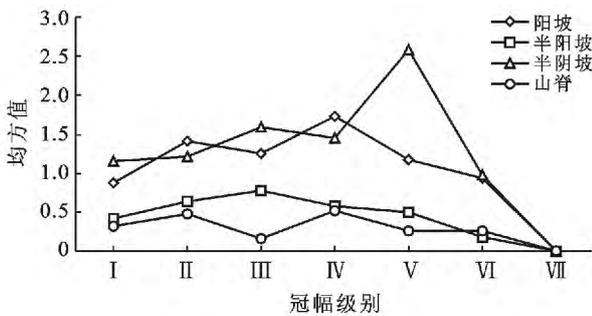


图 2 沙冬青种群格局规模

图 2 中曲线的峰值所对应的区组大小代表着种群的分布格局规模。阳坡的均方值分别在区组 II 和区组 IV 出现峰值,半阳坡的均方值在区组 III 出现峰值,半阴坡均方值在区组 V 出现峰值,山脊的均方值在区组 II 和区组 IV 出现双峰。出现峰值反映格局存在一个明显的聚块,说明服从集群分布。峰值较陡峭,表明集群分布强度较高。从图 2 可以看出,半阴坡明显有峰值,说明半阴坡的分布强度最高。山脊处峰值不明显,表明其聚集强度低,进一步表明了各样地的分布情况。从聚集的斑块性来看,虽然在沙冬青不同的分布区域其均方值有单峰或者双峰的差别,但均方值峰值出现在区组 II 以后可以清楚地显示种群的斑块性,因此在北砸山沙冬青种群分布格局规模应该是:阳坡为 $4\text{ m} \times 8\text{ m}$,半阳坡为 $4\text{ m} \times 4\text{ m}$,半阴坡

为 $8\text{ m} \times 8\text{ m}$,山脊部为 $4\text{ m} \times 8\text{ m}$,各区域分布的沙冬青种群格局规模存在差异。

4 结论

(1) 在调查区明显存在环境的异质性差异,主要表现为阳坡、半阳坡、半阴坡和山脊的土壤质地、地理条件和地形的差异。由于生境的异域性,沙冬青生长状况、年龄结构和分布格局具有明显的区域特征。半阴坡因为地理条件和土壤条件良好,沙冬青生长状况最好,年龄结构为增长型。山脊处因山风大,基岩裸露,自然条件差等原因造成沙冬青生长状况较差,更新苗不易存活,冠幅在 30 cm 以下的沙冬青株数很少。沙冬青种群在北砸山的分布格局也充分体现了空间异质性的作用。在坡度较大的阳坡、半阳坡和半阴坡上沙冬青分布格局为集群分布,坡度较小的山脊上沙冬青分布格局为均匀分布。并且各分布的斑块大小和聚集强度均有显著差异。沙冬青的繁殖和扩散靠种子传播,由于山坡坡度较大,种子受重力和季节性洪水的作用向下冲积,使坡度较大的山坡处的沙冬青沿着母体向下扩散,导致集群分布。坡度的不同以及地质条件的差异都会导致聚集强度大小的不同。而山脊处冲积力和重力的作用不明显,随着种群的扩大,生存压力主要来自内部竞争,导致自疏现象,最终形成均匀分布的特征。

(2) 阳坡沙冬青密度最高。北砸山半阴坡沙冬青种群生长状况最好,冠幅、高度显著高于阳坡、半阳坡、山脊。半阳坡沙冬青各生长指标略高于阳坡和山脊。变异系数从大到小依次为:冠幅 > 高度 > 新枝长度 > 分枝数。

(下转第 312 页)

和降雨强度较大时,在保证核桃林经济效益的同时可以有效地防止发生水土流失。另外对于土壤条件较差的部分常规核桃林,应及时改善其不良的立地条件,为核桃生长发育创造良好的土壤环境,在做好水土保持工作的同时(如修筑梯田、挖撩壕、鱼鳞坑等),还要进行土壤翻耕,扩大根系活动范围^[15]。由于观测年限所限,本试验无法全面地综合各类型降雨情况下不同核桃林的保水保土效果,仍需多年试验进行完善,以便得到更加精确的数据,做进一步研究。

[参 考 文 献]

- [1] 李国志,郑世泽. 河北省邢台市山丘区水土流失情况分析与治理对策[J]. 水资源保护, 2009, 25(1): 14-19.
- [2] 乔光建. 区域水资源保护探索与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [3] 张广军,赵晓光. 水土流失及荒漠化监测与评价[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [4] 李广智. 水土流失测验与调查[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [5] 姜国宏. 浅议富阳市方里村山核桃林水土保持工程的技术措施及效益分析[J]. 中国新技术新产品, 2011(18): 210-210.
- [6] 高嵩. 不同模式退耕还林地上径流和侵蚀研究[J]. 甘肃林业科技, 2009, 34(1): 48-50.
- [7] 刘霞,姚孝友,袁利,等. 鲁中山区不同水土保持生态修复措施对土壤侵蚀的影响[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(5): 27-31.
- [8] 陈晓安,蔡强国,张利超,等. 黄土丘陵沟壑区不同雨强下坡长对坡面土壤侵蚀的影响[J]. 土壤通报, 2011, 42(3): 721-725.
- [9] 成婧,吴发启,路培,等. 玉米苜蓿间作的蓄水保土效益试验研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 54-57.
- [10] 鲍文,赖奕林. 湘中红壤丘陵区不同土地利用类型对土壤特性的影响[J]. 中国水土保持, 2011(10): 47-50.
- [11] 徐燕,龙健. 贵州喀斯特山区土壤物理性质对土壤侵蚀的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 157-159.
- [12] Luarcet R. Plant Species diversity and polyploidy in islands of natural vegetation isolated in extensive cultivated lands[J]. Biodiversity and Conservation, 1997, 6(4): 591-613.
- [13] 刘建宁,高洪文,王运琦,等. 山西太旧高速公路边坡绿化种草技术研究[J]. 中国草地, 1999(6): 23-26.
- [14] 缙锋利,郝永旺. 浅议草被植物在水土保持中的作用[J]. 甘肃农业科技, 2011(8): 40-43.
- [15] 郝殿应. 柳林县低产核桃树改造技术[J]. 山西林业, 2007(2): 26-27.

(上接第 305 页)

(3) 阳坡沙冬青年龄结构为稳定型,半阳坡沙冬青年龄结构为稳定型,半阴坡沙冬青年龄结构为增长型,山脊处沙冬青年龄结构为稳定型。

(4) 不同坡向沙冬青分布格局不同,阳坡、半阳坡和半阴坡的沙冬青种群为集群分布,山脊处的沙冬青种群为均匀分布。格局规模分别为:阳坡为 4 m×8 m,半阳坡为 4 m×4 m,半阴坡为 8 m×8 m,山脊为 4 m×8 m。

[参 考 文 献]

- [1] 周宜君,贾晓红. 沙冬青抗旱、抗寒机理的研究进展[J]. 中国沙漠, 2001, 21(3): 312-316.
- [2] 刘果厚. 阿拉善荒漠特有植物沙冬青濒危原因的研究[J]. 植物研究, 1998, 18(3): 341-345.
- [3] 张涛,蒋志荣. 沙冬青引种栽培的试验研究[J]. 中国沙漠, 1987, 7(3): 41-47.
- [4] 刘家琼,丘明新. 我国荒漠特有的常绿植物:沙冬青的生态生理及解剖学特征[J]. 植物学报, 1982, 24(6): 568-574.
- [5] 蒋志荣,金芳. 沙冬青生根组织培养的研究[J]. 甘肃农业大学学报, 1997, 32(3): 244-246.
- [6] 江勇,魏令波. 分离和鉴定沙冬青抗冻蛋白质[J]. 植物学报:英文版, 1999, 41(9): 967-971.
- [7] 李文瑞,冯金朝. 沙冬青几种光合特性的季节性变化的研究[J]. 植物学报:英文版, 1999, 41(2): 190-193.
- [8] 刘家琼,邱明新. 沙冬青植物群落研究[J]. 中国沙漠, 1995, 15(2): 109-115.
- [9] 张进虎,廖空太,张亮霞. 石质山坡沙冬青群落及其土壤特征[J]. 中国农学通报, 2010, 26(12): 306-310.
- [10] 刘虎俊,尉秋实,王继和. 甘肃北碚山沙冬青种群的空间分布格局[J]. 干旱区研究, 2009(6): 865-871.
- [11] 尉秋实,王继和,李昌龙,等. 不同生境条件下沙冬青种群分布格局与特征的初步研究[J]. 植物生态学报, 2006, 29(4): 591-598.
- [12] 靳虎甲,王继和,马全林. 乌兰布和沙漠沙冬青种群结构和空间分布[J]. 西北植物学报, 2010, 30(11): 2300-2306.
- [13] 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.
- [14] 付必谦. 生态学实验原理[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 91-98.
- [15] 张金屯. 数量生态学[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 264-276.