

张 丹, 黄文娟, 李志军, 等. 濒危荒漠植物灰叶胡杨分枝格局及其分形特征[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(7): 209–212.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.058

濒危荒漠植物灰叶胡杨分枝格局及其分形特征

张 丹¹, 黄文娟¹, 李志军², 徐翠莲¹, 陈 飞¹, 张兆辉¹

(1. 塔里木大学植物科学学院, 新疆阿拉尔 843300; 2. 塔里木大学对外交流处, 新疆阿拉尔 843300)

摘要:结合植物构件理论, 运用分形几何方法, 对灰叶胡杨(*Populus pruinosa* Schrenk) 分枝格局及其分形特征进行研究, 结果表明: 随着灰叶胡杨胸径的增大即发育阶段的成熟, 灰叶胡杨一级枝长越长, 可以分出更高级别的分枝, 但并未表现出分枝级别越高分枝数越多。不同发育阶段的灰叶胡杨总体分枝率没有表现出显著差别, 随着胸径的增大, 分枝率增大。不同生长发育阶段灰叶胡杨的分枝角度先增长再下降趋势说明其在生长前期树冠以向四周伸展为主, 后期以直立向上生长为主。枝倾角变化范围较大, 一级到四级分枝枝倾角逐渐下降, 五级分枝枝倾角增大。随着分枝级别的增加, 各级相邻分枝之间间距逐渐减小。随着胸径增大, 灰叶胡杨分形维数增加, 但都是接近 2, 揭示了灰叶胡杨分枝格局占据生态空间的程度和利用生态空间的能力较强。

关键词:灰叶胡杨; 分枝构型; 分形维数; 胸径; 分枝间距; 分枝倾角

中图分类号: S792.119.02 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)07-0209-04

灰叶胡杨(*Populus pruinosa* Schrenk) 是和胡杨同派的一个物种, 仅产于新疆维吾尔自治区塔里木河、喀什河、和田河沿岸, 因其耐高温、耐盐碱等特性而显著区别于其他种类杨树, 是重要的荒漠植物, 在生态恢复与重建中扮演着重要角色, 对维系当地生态平衡具有不可替代的作用^[1]。灰叶胡杨是国家 III 级濒危保护植物, 在灰叶胡杨种群日渐衰退、分布面积日趋减少的今天, 灰叶胡杨潜在的遗传多样性价值、科研价值、生态价值、开发应用价值越来越引起人们的关注^[2], 因此, 研究灰叶胡杨生长发育过程中利用树体分枝格局及构型的变化来适应荒漠生态环境具有重要意义。

植物体可以被视为构件的集合体^[3]。植物体不同的枝系特征以及枝上各构件单元叶种群、芽种群的配置及其动态

变化特征反映了植物对空间、光等资源的利用, 以此来反映不同植物在不同的生长发育阶段对环境的适应策略^[4]。植物体特定的几何形态是其各个层次构件单元按一定方式组合的呈现, 这种特殊的几何形态, 表达了该个体在生理生态上对其环境空间的适应能力以及植物对光、水分、养分等的竞争能力^[5]。

对植物分枝格局进行研究主要目的是了解它们利用生态空间的能力, 进而揭示其生长对策和适应机制。植物构件格局研究一般在特定尺度上进行, 且不能以其任何一个尺度上的特征来代替其他尺度上的特征, 采用分形几何方法研究植物分枝格局为解决该问题指明了方向^[6-7]。植物体构型和分枝格局的可塑性明确反映了植物适应对策^[8-9]。经过几十年的研究, 人们对不同植物构型特征的认识和研究逐渐深入。目前, 围绕灰叶胡杨、胡杨开展的生物生态学特性^[10-13]、繁殖特点^[14-15]和异形叶性^[16]等研究已取得了一定的成果。对于一些荒漠植物, 学者们从形态解剖、生理生态等角度做了大量工作^[17-21]。孙书存等对辽东柞种群的空间分布分形特征进行了分析^[22]。张文辉等对裂叶沙参与泡沙参种群分布格局的分形特征进行了研究, 发现分形理论是研究濒危植物种群水平空间分布格局的有效办法, 弥补了植物种群分布格局传统研究方法中某些不足^[23]。马克明等将分形理论应用于植

收稿日期: 2015-05-20

基金项目: 新疆生产建设兵团青年科技创新资金(编号: 2013CB015); 国家自然科学基金(编号: 31160110); 塔里木大学校长基金(编号: TDZKSS201217)。

作者简介: 张 丹(1978—), 女, 黑龙江伊春人, 博士研究生, 副教授, 研究方向为荒漠植物遗传多样性。E-mail: zdkytd@163.com。

通信作者: 黄文娟, 硕士, 副教授, 研究方向为植物与植物生态学。E-mail: hwjzky@163.com。

[10] 周艳虹, 黄黎锋, 喻景权. 持续低温弱光对黄瓜叶片气体交换、叶绿素荧光猝灭和吸收光能分配的影响[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(2): 153–160.

[11] Genty B E, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll II fluorescence[J]. Biochim Biophys Acta, 1989, 990: 87–92.

[12] 王可珍, 许春辉, 赵福洪, 等. 水分胁迫对小麦旗叶某些体内叶绿素 a 荧光参数的影响[J]. 生物物理学报, 1997, 13(2): 273–278.

[13] 卢从明, 张其德, 匡廷云. 水分胁迫对小麦叶绿素 a 荧光诱导动力学的影响[J]. 生物物理学报, 1993, 9(3): 453–457.

[14] 郭书奎, 赵可夫. NaCl 胁迫抑制玉米幼苗光合作用的可能机理

[J]. 植物生理学报, 2001, 27(6): 461–466.

[15] Papageorgiou C. Chlorophyll II fluorescence an intrinsic probe of photosynthesis[M]. New York: Academic Press, 1975: 319–371.

[16] Lin R C, Xu C C, Li L B. Xanthophyll cycle and its molecular mechanism in photo protection[J]. Acta Bot Sin, 2002, 44: 379–383.

[17] Malkin S, Fork D C. Photosynthetic unit of sun and shade plants[J]. Plant Physiology, 1981, 67: 580–583.

[18] 张其德, 朱新广, 卢从明, 等. 盐胁迫下 CO₂ 浓度倍增对冬小麦叶绿体光能吸收和激发能分配的影响[J]. 生物物理学报, 1998, 14(3): 537–542.

[19] 孙永平, 汪良驹. ALA 处理对遮荫下西瓜幼苗叶绿素荧光参数的影响[J]. 园艺学报, 2007, 34(4): 901–908.

物生态学领域,在研究东北羊草草原群落格局方面取得了良好效果,给出了计算分枝格局的分形维数计算模型,得出兴安落叶松分枝格局的分形维数介于 1.4~1.7 之间^[24]。研究发现,处于不同竞争地位的太白红杉分枝格局有较大差异,受地形的影响,太白红杉个体中存在明显的侧枝上转现象,说明太白红杉植冠构型具有较强的形态可塑性和适应性^[25]。林勇明等对不同距海处木麻黄分枝格局及冠形分析表明,近海区域受持续性风力胁迫,防护林树种木麻黄在生长发育过程中树冠结构产生较大变化,木麻黄通过冠形调整、减小分枝长度等方式适应风力胁迫,体现其对环境变化的响应特征^[26]。分枝格局的分形特征研究涉及相对较多的植物物种,相比较而言,有关灰叶胡杨分枝格局和分形特征研究少见报道。以往研究主要探讨草本植物、灌木及幼树的树冠结构,很少涉及植物树冠结构与外部环境条件、林分条件、经营措施关系研究,尤其是关于荒漠植物灰叶胡杨结构生物量的构成和分布结构研究更少^[4]。本研究探讨灰叶胡杨的分枝格局,结合植物构件理论^[8],运用分形几何方法,揭示灰叶胡杨分枝格局及其分形特征,以期对灰叶胡杨构型深入研究提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

试验在阿拉尔市塔里木大学校园外的胡杨林内进行。该地区位于塔里木盆地西北缘,气候炎热干燥,终年干旱少雨,年降水量仅约 50 mm,蒸降比为 38:1,年均气温 10.8℃,年均日照时数为 2 900 h,是典型的温带荒漠气候^[27]。根据灰叶胡杨的胸径大小,将其划分为 3 个不同的生长发育阶段:即胸径在 5~8 cm、>8~15 cm、15 cm 以上。选取不同发育阶段各 20 株胡杨作为调查样株,于 2012 年、2013 年 7—8 月灰叶胡杨分枝发育基本完成时对样株进行分枝参数测定及分形特征分析。

1.2 方法

1.2.1 灰叶胡杨枝序的确定方法 枝序确定方法包括 2 种:离心式、向心式。前者指枝序的确定序号与枝轴的发育顺序是一致的;后者指枝序的确定序号与枝系本身的发育顺序相反。本研究采用离心式方法:即将植株主干定为 0 级,同期从主干分出的分枝定为 I 级,由 I 级枝同期分出的分枝定为 II 级,以此类推。

1.2.2 分枝格局形成的相关指标的测定及计算 用钢卷尺

(精度 0.1 cm)测定每个植株的胸径、枝间距、各级分枝的长度,用游标卡尺测量各级分枝的基部直径,每一分枝的分枝位点即分枝处距上一级分枝基部的距离,计数次级分枝数量、叶数。以随机 20 个同级分枝的平均长度计分枝长度;以随机 20 个同级分枝基部的平均直径计分枝直径;用量角器量取各个分枝的角度及叶倾角,统计各龄级植株不同分枝角度的出现频数,最后进行加权平均,得出灰叶胡杨各不同胸径个体不同分枝级别的平均分枝角度。枝径比(ratio of branch diameter, RBD)、总体分枝率(overall bifurcation ratio, OBR)、逐步分枝率(step wise bifurcation ratio, SBR)、分形维数(SB)计算公式如下:

$$RBD = D_{i+1} / D_i;$$

式中: D_{i+1} 、 D_i 分别代表第 $i+1$ 和第 i 级枝条的直径。

$$OBR = (NT - N_s) / (NT - N_1);$$

式中: $NT = \sum N_i$,表示所有枝级中枝条总数; N_s 为最高级枝条数; N_1 为第一级的枝条数。

$$SBR_{i:i+1} = N_i / N_{i+1};$$

式中: N_i 和 N_{i+1} 分别是第 i 和第 $i+1$ 级的枝条总数。

$$SB = C \times LB \times D;$$

式中: C 为比例系数; LB 为枝长; D 为分形维数。将上式变换得:

$$\ln SB = \ln C + D \ln LB。$$

可见, SB 与 LB 在双对数坐标下存在线性关系, D 为该直线的斜率。因此,分形维数的求算方法是在双对数坐标下对 SB 和 LB 的一系列值进行线性回归,所得拟合直线的斜率(或其转换),即为分形维数值^[28]。

1.2.3 数据处理 利用 Excel、DPS 7.0 软件分析灰叶胡杨分枝数、分枝长度、分枝基径、分枝角度、叶形指数等分枝格局构成的相关性状。

2 结果与分析

2.1 分枝格局中各级分枝的数目及长度分析

从表 1 可以看出,在分枝格局中,随着灰叶胡杨的发育成熟,出现了更高级别的分枝,但随着灰叶胡杨发育阶段的深入,并未表现出分枝级别越高分枝数越多的规律。分枝长度基本是随着分枝级别增加而缩短,且不同胸径范围内灰叶胡杨各级分枝之间差异显著。因而可以认为,一级枝长越长,可以生长出更高级别的分枝,但分枝数较少,长度越短,以此来适应上部枝条需要竞争光照等资源的特性,促进生长发育。

表 1 不同胸径灰叶胡杨各级分枝数量及分枝长度

分枝级别	分枝数(个)			分枝长度(cm)		
	胸径 5~8 cm	胸径 >8~15 cm	胸径 >15 cm	胸径 5~8 cm	胸径 >8~15 cm	胸径 >15 cm
一级分枝	52.17a	87.17a	95.17b	96.76a	140.01a	142.24a
二级分枝	425.17a	1 492.00a	2 129.67b	46.54b	55.84b	110.76ab
三级分枝	490.33a	3 779.33a	27 151.67b	25.61b	22.88bc	52.04cd
四级分枝	233.80a	157.67a	170 091.67a	26.87b	15.78bc	24.11cde
五级分枝	25.00a	34.33a	437.25b	21.29b	13.52bc	17.39cde
六级分枝		20.00a	15.00b		7.25 c	15.78cde
七级分枝			9.00b			8.60de

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$)。表 2、表 3、表 4 同。

2.2 不同发育阶段灰叶胡杨分枝率比较

表 2 结果表明,不同发育阶段的灰叶胡杨总体分枝率没有表现出显著差异,随着胸径的增大,分枝率增大。在相同的胸径范围内,逐步分枝率 $SBR_{1:2}$ 与其他分枝级别逐步分枝率

之间差异较大,体现了其增加分枝的方式和位置特征。

2.3 不同分枝级别灰叶胡杨分枝角度、枝倾角分析

分枝角度是树冠结构中一个重要的因子,它对冠形的形成起着决定性作用,也是衡量植物空间分布能力的一个重要

表 2 不同胸径灰叶胡杨分枝率分析

胸径	OBR	SBR _{1:2}	SBR _{2:3}	SBR _{3:4}	SBR _{4:5}	SBR _{5:6}	SBR _{6:7}
5~8 cm	1.03a	9.40aA	1.35bAB	0.38bB	0.06bB		
>8~15 cm	1.02a	18.23aA	2.54bAB	0.70bB	0.10bB	0.17bB	
>15 cm	1.00a	18.09aA	16.92bAB	1.59bB	1.68bB	0.01bB	0.08bB

指标,分枝向空间的扩展能力影响着枝叶对光照、温度、CO₂ 的利用及其不同构件生物量的空间分布^[29]。从图1可以看出,不同生长发育阶段灰叶胡杨分枝角度总体上都是呈先增长再下降的趋势,并且分枝角度集中于 55°~75°之间,说明灰叶胡杨在生长前期分枝角度逐渐增大,树冠以向四周伸展为主,生长后期分枝角度逐渐减小,改以直立向上生长为主。

从表 3 可以看出,不同分枝级别灰叶胡杨之间枝倾角存在显著或极显著差异。由图 2 可知,当灰叶胡杨胸径为 8~15 cm 时,灰叶胡杨的四级分枝枝倾角为 0°,五级、六级分枝枝倾角又增大;当灰叶胡杨胸径 >15 cm 时,六级枝倾角为负值,七级枝倾角又增大,说明随着分枝级别的增加,灰叶胡杨枝倾角都有一个先下降再上升的过程,增加了相邻级别分枝之间的角度,有利于更好地通风透光、利用空间。

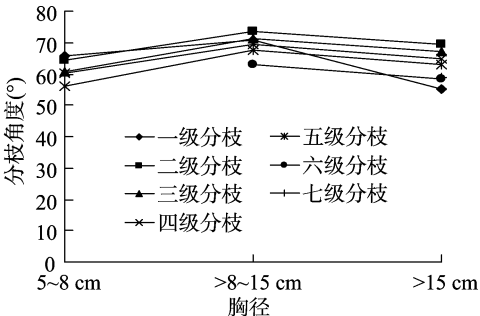


图1 不同胸径灰叶胡杨分枝角度变化

表 3 不同分枝级别灰叶胡杨分枝角度和枝倾角方差分析

分枝级别	枝倾角均值	分枝角度均值
一级分枝	23.36°aA	69.04°aA
二级分枝	21.36°aAB	66.43°aA
五级分枝	16.25°abAB	64.82°aA
三级分枝	15.06°abcAB	63.83°aA
四级分枝	11.67°abcAB	62.27°aA

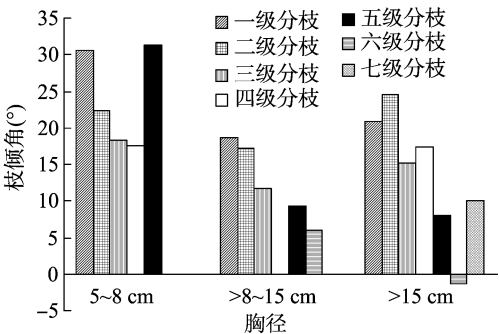


图2 不同胸径灰叶胡杨枝倾角变化

2.4 不同分枝级别灰叶胡杨分枝间距分析

由表 4 可知,随着灰叶胡杨分枝级别的增加,各级相邻分枝之间间距逐渐减小,分枝越密集,下部分枝间距较为疏松,可见其构型可以充分利用上部空间,同时又能够使得下部空间更好地通风透光,提高空间利用率。由图 3 可知,除了 5~

8 cm 胸径灰叶胡杨的;四至五级分枝之外,分枝间距都是下降上升间隔排序,变化趋势基本一致,体现了灰叶胡杨各级分枝间距的交替变化、错落排布,对空间能源、光照等实现充分利用,体现了其自身适应环境的发育特点。

表 4 不同分枝级别灰叶胡杨分枝间距

不同分枝级别的枝序	间距均值 (cm)
1—2	17.39aA
2—3	14.58abAB
3—4	13.89abAB
4—5	9.42bcBC
3—3	7.85cdBC
5—6	7.38cdBC
4—4	7.30cdBC
5—5	7.25cdBC
2—2	7.23cdBC
6—6	3.39dC

注:1—2 代表一级与二级分枝之间,2—2 代表二级分枝之间,其余以此类推。

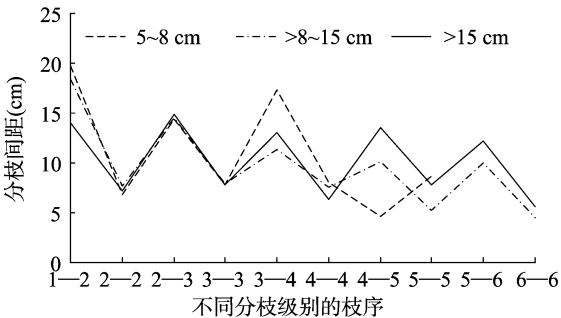


图3 不同胸径灰叶胡杨分枝间距变化

2.5 灰叶胡杨分枝格局的分形特征分析

空间维数能够反映物体占据空间的程度,植物体表现为某一测度指标(如长度、面积或体积等)在不同尺度上符合的一种共性规律。对于树木分枝格局而言,分枝格局的分形维数值反映分枝结构在不同尺度上对生态空间占据的动态变化及其规律。由表 5 可知,不同胸径灰叶胡杨均表现为随着胸径增大、分形维数增加的趋势,都接近 2。分形维数揭示了灰叶胡杨分枝格局占据生态空间的程度和利用生态空间的能力较强。

表 5 不同胸径范围灰叶胡杨分枝的分形维数

分枝级别	分形维数		
	胸径 5~8 cm	胸径 >8~15 cm	胸径 >15 cm
一级分枝	0.86	0.90	0.92
二级分枝	1.58	1.82	1.63
三级分枝	1.91	2.63	2.58
四级分枝	1.66	1.83	3.78
五级分枝	1.05	1.36	2.13
六级分枝		1.51	0.98
七级分枝			1.02
平均值	1.41	1.68	1.86

3 结论与讨论

本研究结果表明,随着灰叶胡杨胸径的增大即发育阶段的成熟,灰叶胡杨一级枝长越长,可以分出更高级别的分枝,但并未表现出分枝级别越高分枝数越多的规律。不同发育阶段的灰叶胡杨总体分枝率没有表现出显著差别,随着胸径的增大,分枝率提高;在相同的胸径范围内,逐步分枝率 $SBR_{1:2}$ 与其他分枝级别逐步分枝率之间差异较大,体现了其增加分枝的方式和位置特征,也反映了灰叶胡杨分枝发育的次序及不同级别分枝能力的差异,同时说明在整个生长阶段都表现为低级的枝条抽生新枝能力比高级枝条强。灰叶胡杨在生长发育前期萌发出较多的枝条,以便进行光合作用,促进植株生长,因此,低级分枝的逐步分枝率要大于高级分枝。灰叶胡杨的生长后期,其枝条以拓展空间能力为主,萌发的枝条较少,有利于提高上层空间、光照等能源利用率。

不同生长发育阶段灰叶胡杨的分枝角度呈先增长再下降趋势说明其在生长前期树冠以向四周伸展为主,后期以直立向上生长为主。枝倾角变化范围较大,灰叶胡杨一级到四级分枝枝倾角逐渐下降,五级分枝枝倾角增大,体现了灰叶胡杨分枝格局的动态变化特征。随着分枝级别的增加,各级相邻分枝之间间距逐渐减小,分枝越密集,分枝长度越短,可见其下部分枝间距较为疏松,可以充分利用上部空间,同时又能确保下部空间更好地通风,提高空间利用率,增强其生长后期植株与周围树木对于空间、光照、养分的竞争能力。随着胸径增大,灰叶胡杨分形维数增加,但都是接近2,揭示了灰叶胡杨分枝格局占据生态空间的程度和利用生态空间的能力较强,灰叶胡杨分形维数为1.41~1.86,这与马克明等将分形理论应用于植物生态学领域,对兴安落叶松分枝格局的分形特征研究结果相似^[24]。植物构型不仅是植物生长发育和适应的结果,而且植物一定生长阶段的植株构型也影响其进一步发育生长。植物分枝发育是植物内在遗传因素与环境因素共同作用的结果^[30-33],不仅要对植物外在形态表现进行研究,还应对其分枝发生发育的内在遗传机制进行深入研究。

参考文献:

- [1] 张 昊,李景文,李俊清,等. 额济纳绿洲胡杨地上部分建构模式的研究[J]. 西北林学院学报,2009,24(5):46-49.
- [2] 丁托娅. 世界杨柳科植物的起源、分化和地理分布[J]. 云南植物研究,1995,17(3):277-290.
- [3] Ohsawa M, Nitta I. Patterning of subtropical temperature evergreen broad-leaved forest in Asian mountains with special reference to shoot ecology[J]. Tropical,1997,6(4):317-334.
- [4] 孙栋元,赵成义,王丽娟,等. 荒漠植物构型研究进展[J]. 水土保持研究,2011,18(5):281-287.
- [5] 胡包钢. Plant growth modeling and applications[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [6] 徐程扬. 不同光环境下紫椴幼树树冠结构的可塑性响应[J]. 应用生态学报,2001,13(3):339-343.
- [7] 李俊清,臧润国,蒋有绪. 欧洲水青冈(*Fagus sylvatica* L.) 构型与形态多样性研究[J]. 生态学报,2001,21(1):151-155.
- [8] 陈 波,宋永昌,达良俊. 木本植物的构型及其在植物生态学研

- 究的进展[J]. 生态学报,2002,21(3):52-56,28.
- [9] 钟章成,曾 波. 植物种群生态研究进展[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2001,26(2):230-236.
- [10] 李志军,刘建平,于 军,等. 胡杨、灰叶胡杨生物生态学特性调查[J]. 西北植物学报,2003,23(7):1292-1296.
- [11] 罗青红,李志军,伍维模,等. 胡杨、灰叶胡杨光合及叶绿素荧光特性的比较研究[J]. 西北植物学报,2006,26(5):983-988.
- [12] 伍维模,李志军,罗青红,等. 土壤水分胁迫对胡杨、灰叶胡杨光合作用-光响应特性的影响[J]. 林业科学,2007,43(5):30-35.
- [13] 李志军,罗青红,伍维模,等. 干旱胁迫对胡杨和灰叶胡杨光合作用及叶绿素荧光特性的影响[J]. 干旱区研究,2009,26(1):45-52.
- [14] 刘建平,周正立,李志军,等. 胡杨、灰叶胡杨果实空间分布及其数量特征的研究[J]. 植物研究,2005,25(3):336-343.
- [15] 周正立,李志军,龚卫江,等. 高山胡杨、灰叶胡杨开花生物学特性研究[J]. 武汉植物学研究,2005,23(2):163-168.
- [16] 黄文娟,李志军,杨赵平,等. 胡杨异形叶结构型性状及其与胸径关系[J]. 生态学杂志,2010,29(12):2347-2352.
- [17] 周智彬,李培军. 我国旱生植物的形态解剖学研究[J]. 干旱区研究,2002,19(2):35-40.
- [18] 张道远,杨维康,潘伯荣,等. 刚毛柽柳群落特征及其生态、生理适应性[J]. 中国沙漠,2003,23(4):446-451.
- [19] 何玉惠,赵哈林,赵学勇,等. 沙埋对小叶锦鸡儿幼苗生长和生物量分配的影响[J]. 干旱区地理,2008,31(5):701-706.
- [20] 常兆丰,仲生年,韩福贵,等. 民勤沙区主要植物群落退化特征及其演替趋势分析[J]. 干旱区研究,2008,25(3):382-388.
- [21] 陶 冶,刘 彤,贾亚敏,等. 古尔班通古特沙漠南缘心叶驼绒藜和梭梭种群空间格局的分形特征[J]. 干旱区地理,2008,31(3):365-372.
- [22] 孙书存,陈灵芝. 辽东栎植冠的构型分析[J]. 植物生态学报,1999,23(5):433-440.
- [23] 张文辉,祖元刚,马克明. 裂叶沙参与泡沙参种群分布格局分形特征的分析[J]. 植物生态学报,1999,23(1):31-39.
- [24] 马克明,祖元刚. 兴安落叶松分枝格局的分形特征[J]. 植物研究,2000,20(2):236-240.
- [25] 赵相健,王孝安. 太白红杉分枝格局的可塑性研究[J]. 西北植物学报,2005,25(1):113-117.
- [26] 林勇明,俞 伟,刘 奕,等. 不同距海处木麻黄分枝格局特征及冠形分析[J]. 应用与环境生物学报,2013,19(4):587-592.
- [27] 黄文娟,李志军,杨赵平,等. 胡杨异形叶结构型性状及其相互关系[J]. 生态学报,2010,30(17):4636-4642.
- [28] 何明珠,张景光,王 辉. 荒漠植物枝系构型影响因素分析[J]. 中国沙漠,2006,26(4):625-630.
- [29] 张国财,原 瑶,阳艳岚. 树木分枝结构研究概述[J]. 林业科技情报,2008,40(1):8-9.
- [30] 杜黎明,毛传澡,毛伟海. 植物茎分枝的分子调控[J]. 中国生物化学与分子生物学报,2008,24(2):120-126.
- [31] 李亚栋,张 芊,孙学辉,等. 植物分枝发育的调控机制[J]. 中国农业科技导报,2009,11(4):1-9.
- [32] 史 俊,杨鹤同. 植物分枝性状遗传机理的研究进展[J]. 安徽农学通报,2010,16(24):32-33,99.
- [33] 温明星,陈爱大,卞能飞,等. 植物分枝发育的相关基因研究[J]. 江西农业学报,2011,23(4):111-114.