

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2020.12.009

# 基于 Ripley's K 的沙漠腹地达理雅博依 绿洲胡杨种群空间格局研究

宁 默<sup>1</sup>, 李 娜<sup>2,3,4</sup>, 师庆东<sup>2,3,4</sup>, 郭玉川<sup>2,3,4</sup>

1. 水利部新疆水利水电勘测设计研究院, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046;  
3. 新疆绿洲重点实验室, 乌鲁木齐 830046; 4. 新疆大学 干旱生态环境研究所, 乌鲁木齐 830046

**摘要:** 达理雅博依是塔克拉玛干沙漠腹地独特的天然绿洲, 但在克里雅河上游修建吉音水库后, 其独特的种群格局可能会发生改变。因此, 为了探明绿洲内胡杨种群的空间格局及其影响因素, 选用 Ripley's K 模型, 对绿洲中 20 个乔木样方无人机遥感图像解译的结果进行分析, 同时再结合 3 个地面样方的实测数据, 分析绿洲内胡杨种群的动态与空间格局, 结果表明, 绿洲内胡杨种群生长具有较强的空间异质性, 地表水和地下水共同控制胡杨种群的格局分布, 在地下水埋深 3~5 m 区域生长的胡杨大多呈现随机分布, 生长情况较好, 多为增长型种群; 绿洲由南向北为随机—聚集—随机分布, 由西向东为随机—聚集分布; 绿洲北部与东部的胡杨种群表现出逐渐衰退的趋势, 而绿洲中部、西部胡杨种群出现更新增长的态势。

**关键词:** 胡杨; 种群; 空间格局; 种群动态

**中图分类号:** Q145<sup>+</sup>.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2020)12-0073-10

植物的空间分布格局是由种子扩散、干扰、环境异质性、种内和种间斗争等多种不同生态学过程相互作用而成的<sup>[1]</sup>, 是植物种群生物学特性对环境条件长期适应和选择的结果<sup>[2]</sup>。因此种群的空间分布格局<sup>[3-4]</sup>反映了种群个体在空间水平上彼此的相互关系, 是影响种群发展的重要因素<sup>[5]</sup>, 与物种的生物学特性、种间竞争以及生境条件等密切相关, 同时也是衡量种群是否繁盛的重要指标<sup>[6-7]</sup>。

胡杨是杨柳科杨属最原始、古老的树种, 耐干旱、耐强光、耐高温与风袭沙埋, 是我国荒漠地区唯一能自然成林的树种<sup>[8]</sup>。同时胡杨也是达理雅博依绿洲内生境的重要指示性物种。

我国对胡杨的格局研究多集中于黑河<sup>[9]</sup>与塔里木河流域<sup>[10]</sup>, 对沙漠腹地达理雅博依绿洲内胡杨的相关研究较少<sup>[11]</sup>。由于其特殊的地理位置与气候环境, 绿洲内的胡杨种群呈现出独特的空间分布格局。胡杨种群空间格局的研究对揭示胡杨种群的年龄结构、维持机制以及预测种群的动态变化有重要意义, 同时也为后续的研究提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

达理雅博依绿洲地处新疆于田县境内, 位于塔克拉玛干沙漠南缘, 克里雅河尾间地带, 该地区纵伸塔

收稿日期: 2020-04-12

基金项目: 国家自然科学基金联合重点支持项目(U1703237)。

作者简介: 宁 默(1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事遥感与景观生态学的研究。

通信作者: 师庆东, 教授, 博士研究生导师。

克拉玛干大沙漠腹地 250 km, 南北长 32 km, 东西宽 24 km, 总面积约 552.1 km<sup>2</sup>, 地理位置为 38°15′—38°40′N, 81°40′—82°50′E, 海拔为 1 100~1 300 m, 年平均气温 11.6 °C, 气温的年较差和日较差较大. 降水不足 20 mm, 但年平均蒸发量为 2 480 mm, 为降水的 124 倍, 大气极度干燥<sup>[12]</sup>. 昼夜温差大, 蒸发量大, 水资源稀缺, 热力资源丰富, 属于暖温带干旱荒漠气候<sup>[13]</sup>, 夏季多发沙尘暴等灾害. 由于绿洲内没有成规模的农业、工业, 并且交通不便, 人类活动对绿洲内部的生态扰动较小, 因此该绿洲基本保持较自然状态下的弱人类活动状态<sup>[14]</sup>. 2017 年, 克里雅河上游建成吉音水库并运行后, 每年灌溉季节与冬季下泄水量增加, 对下游绿洲的植被格局产生了一定的影响.

## 1.2 样地设置与数据获取

根据已有地下水位观测井的位置, 沿河道每 5 km 设置 1 条样带, 共设置 A, B, C, D 4 条样带, 每条样带上每隔 3 km 设置一个样点, 并对样点位置进行细微调整, 使得样点在空间上大致呈均匀分布. 再在绿洲从南向北等间距设置 3 个地面调查点, 共 20 个样点(图 1).

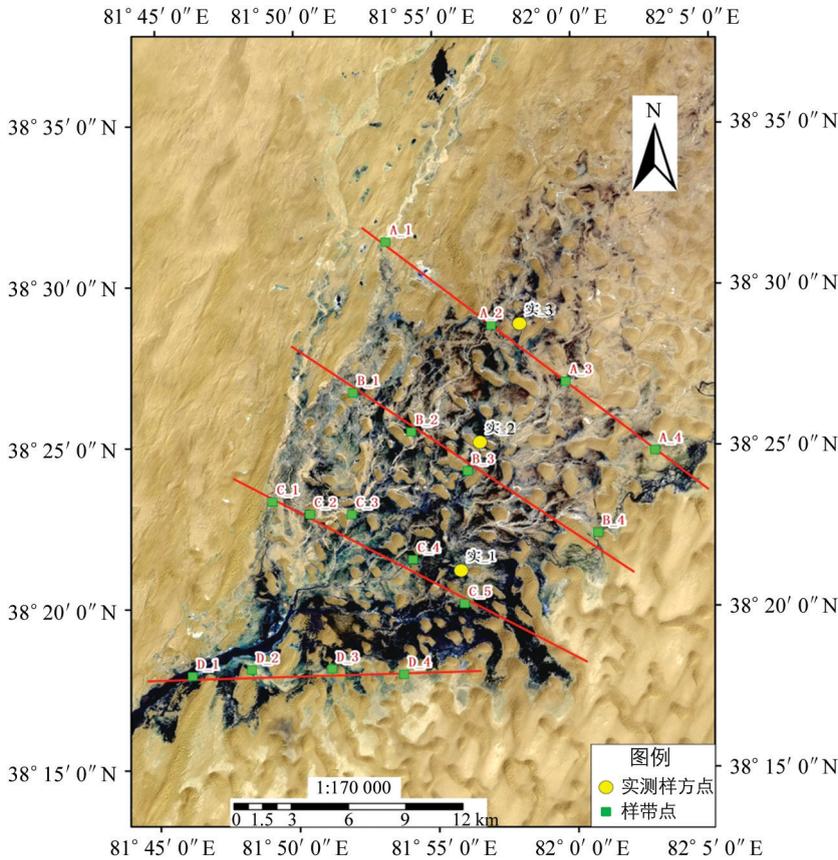


图 1 达里雅博依绿洲概况图及样方点设置

利用大疆精灵 Phantom 4 螺旋翼无人机搭载 RGB 可见光相机, 在 20 个样点中以 50 m 的飞行高度, 影像重叠率为 80%, 相机云台角为 0°的飞行参数, 连续拍摄地面 120 m×120 m 的平坦区域. 在室内利用 Pix4D Mapper 软件进行后处理, 得到空间分辨率为 0.02 m 的无人机正射遥感影像.

在 3 个地面调查点中调查 50 m×50 m 植被样方, 选择验证样方的一点作为原点, 记录样方内胡杨的相对坐标位置, 同时测量样方内胡杨的株高、冠幅、胸径等基本信息作为无人机影像以及后续结果的验证.

## 2 研究方法

### 2.1 胡杨种群年龄结构及动态分析

种群年龄结构是种群内不同年龄个体数量的分布情况<sup>[15]</sup>. 它不仅反映了种群内不同年龄个体的组配情况, 也反映了种群数量动态及其发展趋势, 并在很大程度上反映了种群与环境间的相互关系以及它们在

群落中的作用和地位<sup>[16]</sup>. 由于在野外的实际工作中无法追踪所有胡杨个体的生长周期, 而同一树种的龄级和径级对环境的反应规律具有一致性<sup>[17-18]</sup>, 因此采用空间推导时间、径级结构代替年龄结构的方法分析种群结构动态<sup>[19-20]</sup>, 根据样方内胡杨的实测数据, 将基径小于 4 cm 的胡杨划分为 I 类, 基径大于 40 cm 的为 II 类, 步长为 4 cm 共划分为 11 个龄级. 同时根据胡杨生活史特点具体划分 I-II 为幼树, III-VII 为中树, VIII-X 为大树, XI 为老树.

种群动态反映了种群大小或数量在时间、空间上的变化规律, 某一地区的种群动态研究可客观反映种群与环境之间的关系, 并预测该地区种群的发展和演替趋势. 利用种群内相邻龄级间个体数量变化动态指数  $V_n$  以及种群年龄数量变化动态指数公式  $V_{pi}$  计算胡杨种群年龄动态:

$$V_n = \frac{S_n - S_{n+1}}{\max(S_n, S_{n+1})} \times 100\% \quad (1)$$

$$V_{pi} = \frac{1}{\sum_{n=1}^{k-1} (S_n \times V_n)} \sum_{n=1}^{k-1} (S_n \times V_n) \quad (2)$$

式中:  $S_n$  为种群内第  $n$  个年龄级的个体数量,  $\max(\dots)$  取数列的极大值,  $k$  为当前最大年龄级,  $-1 \leq V_{pi}$  (或  $V_n$ )  $\leq 1$ , 当  $V_{pi}$  (或  $V_n$ ) 为负值、零、正值时, 反映该种群相邻龄级的结构关系为衰退、稳定、增长.

## 2.2 胡杨种群的空间点格局

选用 Ripley 的  $K(r)$  函数分析法<sup>[21-22]</sup>, 利用空间点格局计算法计算绿洲内胡杨种群的分布模式, 该函数通过描述种群在不同空间尺度下的分布格局, 相对传统的方法能更好地反映种群的结构特点<sup>[23]</sup>.  $K$  为协方差, 表示胡杨点与点之间距离分布的测定指标,  $K$  值随尺度  $r$  的变化而变化<sup>[24]</sup>, 表达式如下:

$$K(r) = \left(\frac{A}{n^2}\right) \sum_i^n \sum_j^n \frac{l_r(u_{ij})}{W_{ij}} (i \neq j)$$

式中:  $A$  为样方面积,  $n$  为该样方内胡杨的棵数,  $u_{ij}$  为样方内胡杨  $i$  与胡杨  $j$  之间的距离,  $r$  为空间尺度, 当  $l_r(u_{ij}) \leq t$  时,  $l_r(u_{ij}) = 1$ ; 当  $u_{ij} > r$  时,  $l_r(u_{ij}) = 0$ ;  $W_{ij}$  为以胡杨  $i$  为圆心,  $u_{ij}$  为半径的圆落在样方内的弧长与整个圆周的比值, 将  $W_{ij}$  作为权重, 消除边界效应. 再用蒙特卡洛模拟法随机模拟 199 次进行检验, 计算  $K(r)$  的置信区间. 若实际  $K(r)$  值轨迹位于 2 条包迹线之间, 则种群符合随机分布; 若位于上包迹线上, 则胡杨种群为聚集分布; 若位于下包迹线下, 则胡杨种群呈均匀分布<sup>[25]</sup>.

## 3 结果分析

### 3.1 年龄结构与种群动态

通过样地内的实测数据得到胡杨种群的年龄结构图(图 2), 实测样方 1 中, 幼龄胡杨较少, 仅占总体的 3.61%, 中树、大树和老树分别占 39.76%, 43.38%, 13.25%, 大致呈壶形锥体结构, 老年个体占比较高, 说明该样方中的胡杨大多数处于衰老阶段, 胡杨个体的出生率小于死亡率, 属于下降型种群. 实测样方 2 中种群的主体为幼龄胡杨, 占总数的 65.31%, 中树和老树极少, 共占总体的 8.16%, 整体呈现两极分化的态势, 出生率大于死亡率, 该样方内的胡杨种群为增长型种群. 实测样方 3 中胡杨种群个体数量较少且种群的组成以大树和老树为主, 没有幼苗的存在, 呈典型的倒金字塔形状, 属于下降型种群.

通过对胡杨种群不同龄级间个体数量动态量化指数  $V_n$  的计算结果表明(表 1), 不同样方间胡杨种群的结构差异明显, 具有显著的空间异质性. 实测样方 1 中, 胡杨在 I, II 级幼树向 III, IV 级中树的发育过程中, 动态量  $V_n$  为负值, 呈现出衰退的趋势, 但是中树向 V 级及以上的大树生长过程中出现了大幅度的增长, 呈现出增长的趋势, 说明胡杨在度过幼苗阶段后, 较为容易成长为成年胡杨, 但是在老树阶段动态值又出现了大幅度的下降. 实测样方 2 中胡杨的年龄结构两极分化现象严重, 胡杨的幼苗数量较多, 且  $V_{pi} = 0.89$ , 表现出大幅增长的态势, 但是其余龄级没有胡杨个体或数量较少, 但是在老树阶段呈现大幅衰退的动态趋势. 实测样方 3 中, 缺少胡杨幼苗, 胡杨个体数量较少, 动态值仅在 VII 出现增长, 其余  $V_n$  均小于 0, 表现出衰退的动态趋势.

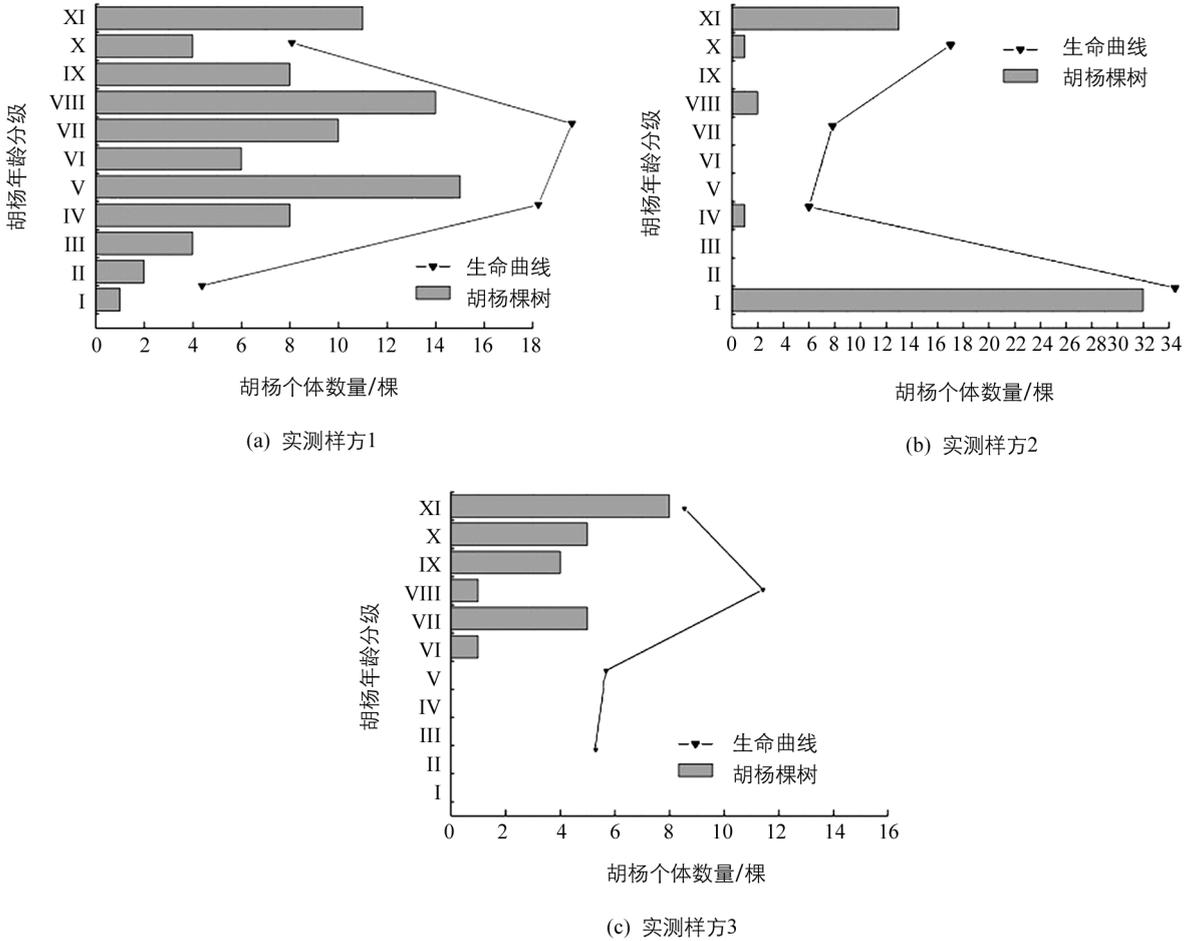


图 2 各实测样点中胡杨年龄结构

表 1 胡杨种群年龄动态

龄 级	实测样方 1		实测样方 2		实测样方 3	
	$V_n$	$V_{pi}$	$V_n$	$V_{pi}$	$V_n$	$V_{pi}$
I - II	-0.50	-0.01	1.00	0.89	—	—
II - III	-0.50	-0.02	—	—	—	—
III - IV	-0.50	-0.05	-1.00	—	—	—
IV - V	-0.47	-0.11	1.00	—	—	—
V - VI	0.60	0.03	—	—	-1.00	—
VI - VII	-0.40	-0.02	—	—	-0.80	-0.05
VII - VIII	-0.29	-0.10	-1.00	—	0.80	0.21
VIII - IX	0.43	0.10	1.00	—	-0.75	0.25
IX - X	0.50	0.33	-1.00	—	-0.20	-0.03
X - XI	-0.64	-0.64	-0.92	-0.92	-0.38	-0.38

### 3.2 种群空间格局

通过机器学习法对样方内的胡杨进行解释,确定胡杨中心位置点<sup>[26]</sup>,利用R语言中的Spatast程序包对胡杨点进行点空间格局识别,再使用蒙特卡洛模拟法检验后得到各样方的K值分布(图3)。

A样带中:A1样方中没有胡杨的分布;A2样方在0~15 m范围为随机分布,16~23 m范围为聚集分布,24~30 m为随机分布;A3样方整体表现为随机分布;A4样方在0~11 m表现出随机分布,在12~30 m则符合聚集分布。B样带中:B1样方中种群在0~16 m呈现随机分布,在17~30 m符合聚集分布;B2,B3样方中胡杨均表现出随机分布;B4样方内只有1~3棵胡杨,不足以支撑种群空间格局分析。C样带中:C1样方在20~27 m的范围内呈现出聚集分布,在其他尺度下呈现随机分布;C2,C3样方整体表现为聚集分布;C4样方在0~20 m的尺度范围内为随机分布,21~30 m为聚集分布;C5样方在0~5 m符

合随机分布, 在 6~30 m 符合聚集分布. D 样带中: D1 与 D2 样方中胡杨种群个体相对较少, 整体符合随机分布模式; D3 与 D4 样方中几乎没有胡杨种群的分布. 对实测样点的点格局进行分析, 结果显示 3 个实测样方均符合聚集分布特点且聚集程度较高(图 4).

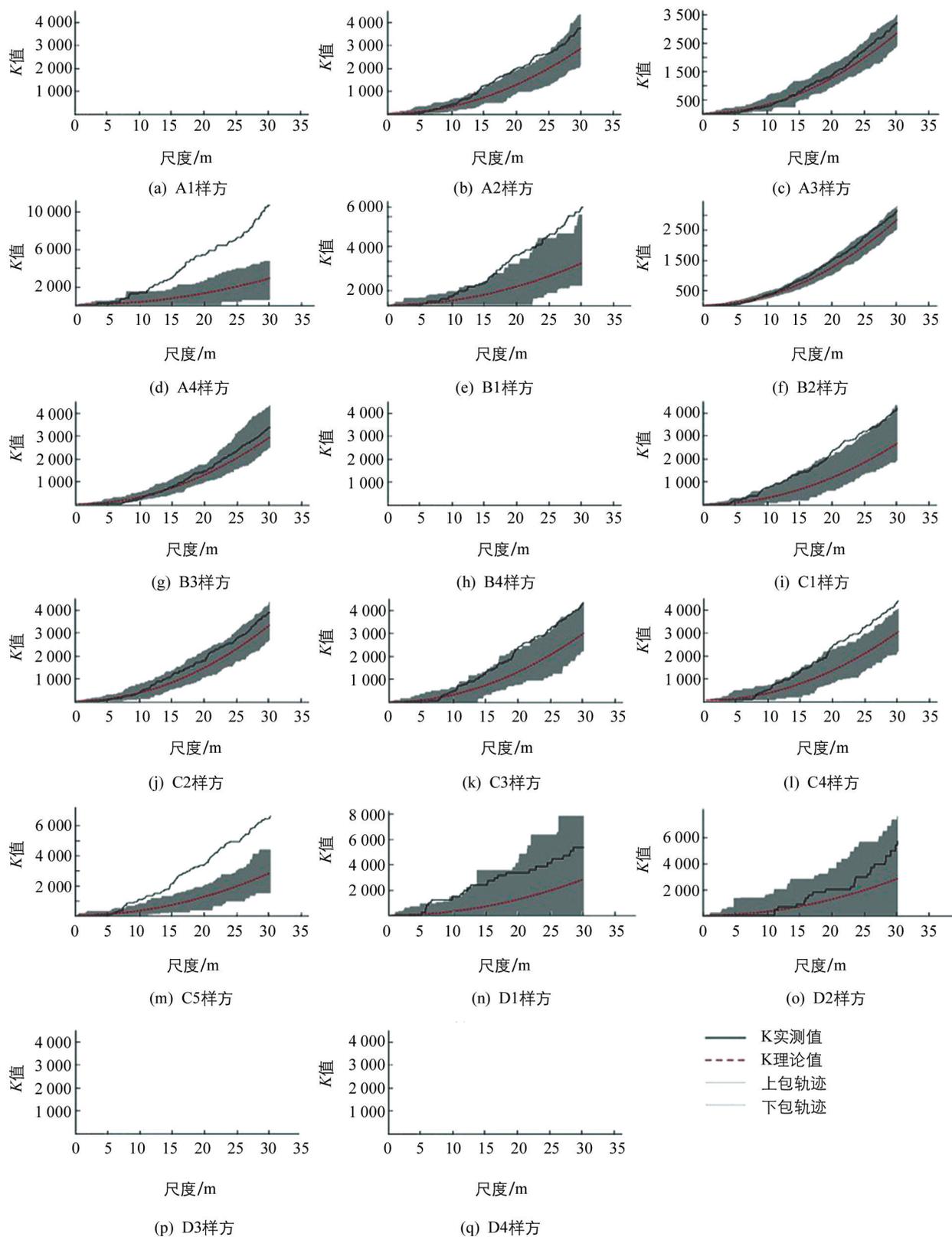
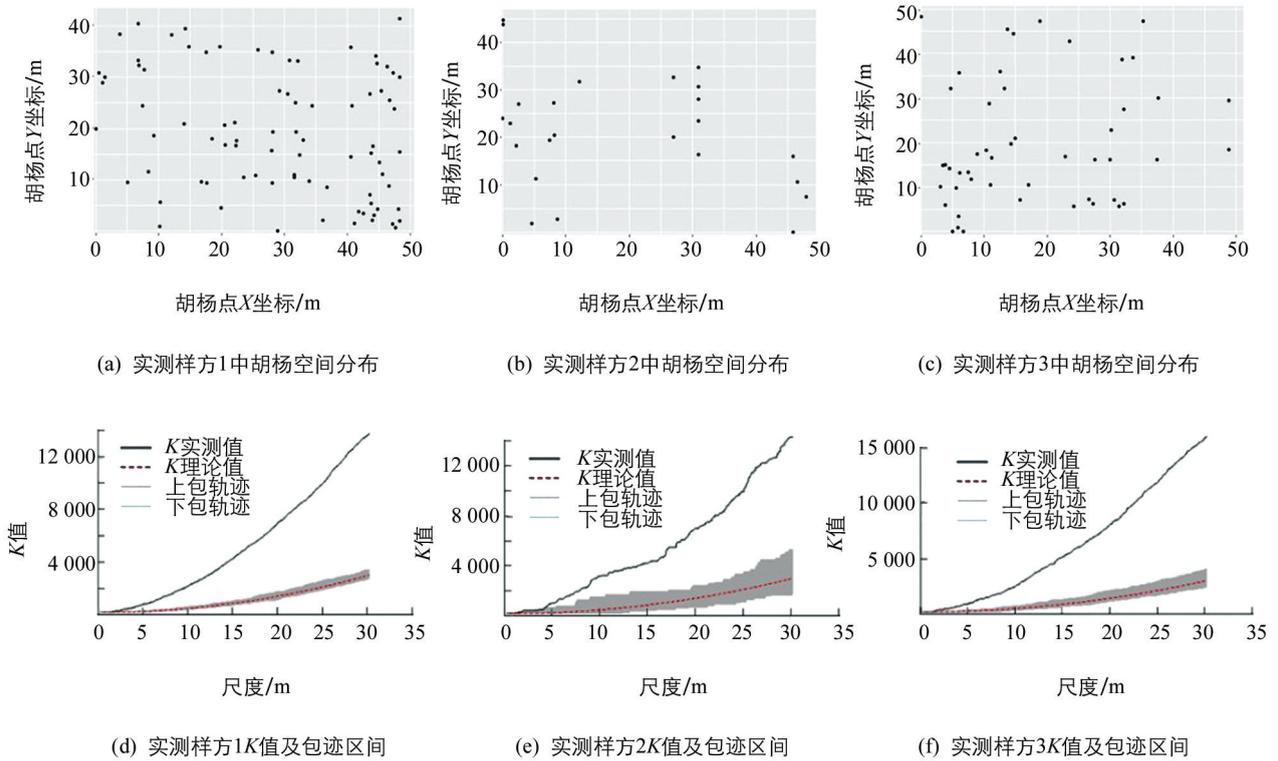


图 3 无人机航拍 17 个样方点的 K 值及其包迹区间

图 4 实测样方胡杨位置及  $K$  值分布

## 4 讨论

### 4.1 年龄结构与动态分析

实测样方 1 中胡杨的幼苗个体较少,且区域内胡杨个体呈现聚集分布,说明区域内资源的空间分布不均匀,个体间有较强的种内竞争,同时幼树向中树的生长过程中  $V_{pi} \leq 0$ ,反映了胡杨幼龄个体成活较为困难,但是中树向大树的  $V_{pi} \geq 0$ ,说明胡杨在度过幼苗阶段后呈现大幅度增长,较为容易成长为成年胡杨,  $V_{pi} = -0.64$  表明该种群在老树阶段出现大幅度的衰退,说明该种群个体出现了自疏现象,种内斗争激烈.结果表明,短期内种群结构稳定,但是在自然条件下,幼苗数量进一步减少、死亡,缺少幼苗的更新后,该种群后期将会呈现衰退趋势.样方 2 距离河道较近,地表水资源充足,样方中胡杨个体组成以幼苗为主,成年胡杨数量较少,缺少足够的繁殖能力,说明幼苗的种子大部分通过河水或风等其他外力的作用在该区域扎根,并且萌发.该种群抗干扰能力较弱,在极端情况下,胡杨幼苗可能会出现大量的死亡;该区域有较多的基径小于 1 cm 的胡杨幼苗说明该区域有较为适合胡杨种子萌发的条件,同时 I 级向 II 级生长的  $V_{pi} = 0.89$  呈现大幅的增长态势,表明该区域胡杨种群竞争较弱,幼树成长为中树的可能性较大.且其他区域的种子在外力的作用下能够在此区域萌发生长,但是未来随着幼苗的生长,对水分和养分的需求变大之后,种内竞争变得剧烈,中树或幼树的数量会有所下降,但是在较长的时间序列下该区域种群个体数会逐渐增长直至稳定.样方 3 位于绿洲的最北端,该区域距离河道较远,且无洪水到达,胡杨种群无法获得地表水补给,胡杨的各种生理活动基本依靠地下水完成,胡杨种子到达该区域的数量相对较少且缺少必要的萌发条件,所以胡杨个体总数较少,幼龄胡杨个体缺失,种群的各龄级间的  $V_{pi}$  值大部分为负值,所以该区域内的胡杨种群在缺少个体的更新以及必要的水分补给条件下,未来有可能逐渐消亡.

## 4.2 种群空间格局的影响因素

### 4.2.1 地表水对胡杨种群的影响

种群的空间格局是多因素共同作用后形成的结果,但是在荒漠干旱区域,水资源的配置是胡杨种群空间格局重要的影响因素之一.样带 A 处于所选 4 条样带的最北边,地表水资源最少;其中 A1 样点离主河道最远,缺少地表水供给,所以基本没有胡杨种群分布;离主河道较近的 A2 与 A3 样方为随机分布格局,说明这两处的水资源较为丰富且分布较为均匀;而距离河道较远的 A4 样方总体为聚集分布,说明该区域内水资源分布不均匀且可能有较强的种内竞争.结果表明样带 A 从西北到东南方向资源配置上为匮乏—丰富—匮乏,分布格局为聚集—随机—聚集.样带 B 中 B1 样方的胡杨种群随尺度增长出现了随机—聚集的变化,而距离河道较近的 B2, B3 样方中胡杨种群总体呈随机分布,而 B4 样方中仅有几株胡杨零星分布.样带 C 中 C1, C2, C3, C4 样方整体均为随机分布,而 C5 为聚集分布,说明处于绿洲中部的样带 B 与样带 C 西北到东南方向资源配置上为丰富—匮乏,分布格局为随机—聚集.而位于绿洲入口的 D 样带 D1, D2 呈随机分布但是胡杨的个体相对较少,而 D3 与 D4 样点则仅有零星的胡杨分布.

纵向看,从最西部的 A1 到 D1 空间格局为聚集—随机,资源分布逐渐丰富,但最南边由于水资源过多反而使得胡杨的数量较少,而离河道最近的 A2 到 B2, A3 到 D3 两条线均为随机分布,而最东的 A4 到 D4 一线处于绿洲边缘,胡杨个体数量较少且大,呈现为聚集分布.

而实测样方 1 在样带 B, C 之间,位于绿洲的东部,聚集分布且呈衰退趋势;样方 2 在样带 A, B 之间,位于绿洲中部,属于增长型种群;样方 3 位于绿洲北端,个体较少聚集.实测样方的验证结果与无人机遥感分析得出的结果大致相同.

### 4.2.2 地下水对胡杨种群的影响

胡杨的生长离不开地下水的影响<sup>[27]</sup>,通过已有的样点地下水埋深实测数据,利用 ArcGIS 进行反距离权重插值得到绿洲的地下水水位埋深分布,从图 5 中可知, A2 与实测样方 3 的地下水水位最深,达到 7 m 以上,胡杨对地下水的利用比较困难,所以 A2 样点为总体随机、部分聚集的情况,而实测样方 3 聚集程度较高,说明在地下水埋深较深的地区胡杨的种内竞争程度比较剧烈. A3, A4, B4 处于地下水埋深 5~6 m 的范围内,远离河道的 B4 仅有个别胡杨零星分布.地下水埋深 3~4 m 的地区中 B1, B3, C4 样点整体表现为随机分布,但是处于该区域边缘的实测样方 2 却表现出聚集格局,有可能是随着地下水埋深的改变,地下水的配置出现了不均匀的情况,使得胡杨在地下水较容易获取的区域聚集生长.而在地下水埋深在 2~3 m 的区域,位于中部的 C1, C2, C3 样方符合随机分布,处于边缘的实测样方 1 表现为聚集分布,而 D2, D3, D4 胡杨只有零星分布. C5 和 D1 样方的地下水埋深小于 2 m, C5 总体表现出随机分布,而 D1 胡杨数量较少呈现随机分布态势.

### 4.2.3 地表水与地下水对胡杨种群的综合影响

地表水是胡杨种群分布的主要影响因素,整体表现出随机的样方主要分布在绿洲的中部与西部,且分布距离主河道较近的地区,同时这些区域地下水水位变化较为平滑,适合胡杨的生长;而符合聚集分布的 A4, C4 与 3 个实测样方处于地下水变化的交接带,在区域内地下水变化明显,所以胡杨竞争剧烈且呈聚集分布,而 A1, B4 远离河道,缺少地表水补给,地下水对胡杨的作用仅是维持作用,所以这类区域的胡杨个体以及幼苗数量较少.在河流的入口处的样带由于水资源过于丰富,可能对胡杨的生长起到了反作用.胡杨种群的动态发展趋势与麦尔哈巴·尼加提等<sup>[28]</sup>在绿洲内进行的胡杨水分来源研究中预测的胡杨种群发展走向大致相同.

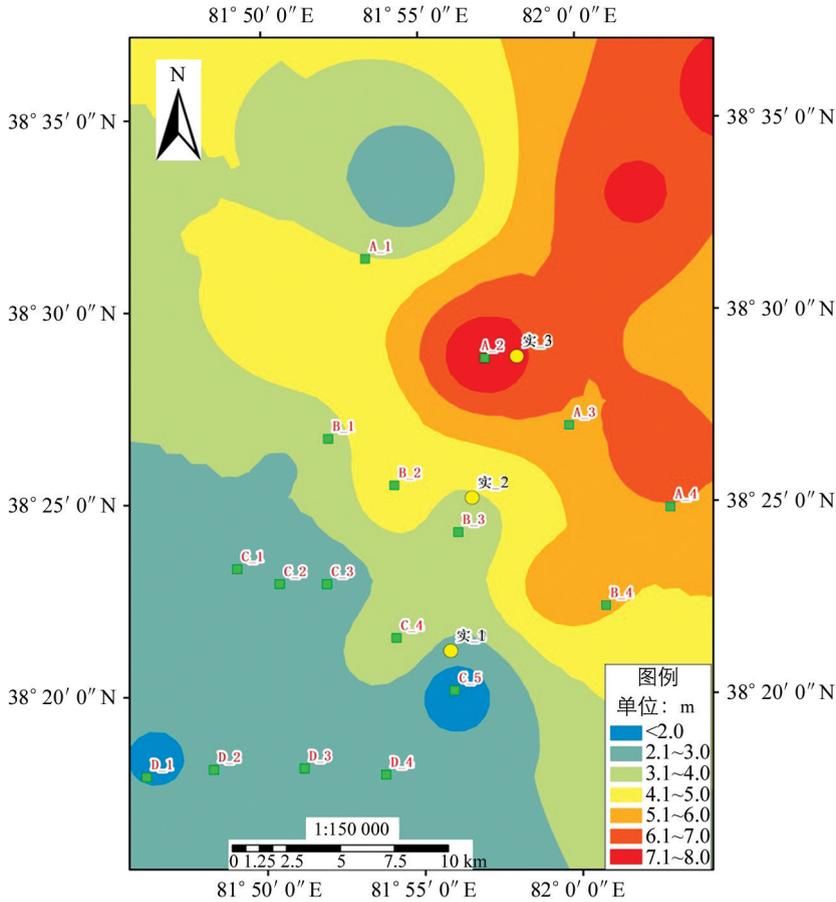


图 5 绿洲内部地下水分布插值图

## 5 结 论

1) 绿洲内胡杨种群生长具有较强的空间异质性: 东部、北部地表水的减少以及地下水位的下降, 胡杨种群结构整体呈倒三角形, 幼苗数量较少, 自然条件下, 天然更新较慢或无法更新, 胡杨种群个体数量进一步减少, 胡杨种群可能出现衰退消亡的情况; 胡杨幼苗的更新主要集中在绿洲中部、西部以及河道两侧, 这些区域地下水位较浅, 且有洪水过境, 地表水资源相对丰富, 胡杨种群结构呈现正三角增长结构, 幼苗的数量较多, 有较强的自然更新能力, 但是成年胡杨数量较少导致种群抗干扰能力较弱, 需要人为保护措施或者灌溉以提高幼苗的存活率。

2) 地表水与地下水共同影响了绿洲内胡杨种群的空间分布格局, 位于河道两侧且处于地下水无大幅度变化的区域种群均呈现出随机分布的格局, 其生境中生存资源较为丰富且分布均匀, 在有足够的生活资料的条件下, 胡杨的种内竞争也并不激烈, 适合胡杨的生长; 而距离河道较远且地下水有明显变化的交界区域以及地下埋深较深或小于 2 m 的区域由于生存资料有限, 不适合胡杨生长, 同时种内竞争剧烈可能导致胡杨的个体数较少或没有胡杨存活, 在空间格局上大致符合聚集分布, 呈现衰退趋势。而地下水埋深 3 ~ 5 m 的区域中, 胡杨的分布大多为随机分布, 胡杨生长情况较好, 绿洲西部与中部由于地势较低, 洪水过境时河流改道, 使得地表水资源相对丰富, 生境适合胡杨种子的萌发、幼苗的成长、成树的存活与繁衍, 同时幼苗数量较多, 对未来胡杨种群更新有正面的影响。

3) 达理雅博依绿洲内胡杨种群北部与东部为聚集分布, 呈现衰退趋势, 西部与中部为随机分布, 呈现增长的趋势, 而绿洲入口由于水量充沛以及水势过大反而不利于胡杨的生存, 所以又出现了衰退的趋势, 因此绿洲由南向北格局为随机—聚集—随机分布, 由西向东为随机—聚集分布, 整个种群呈现出由北向南、由东向西移动的动态趋势。

## 参考文献:

- [1] LEVIN S A. The Problem of Pattern and Scale in Ecology: The Robert H. MacArthur Award Lecture [J]. Ecology, 1992, 73(6): 1943-1967.
- [2] 张文辉, 王延平, 康永祥, 等. 太白山太白红杉种群空间分布格局研究 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(2): 207-212.
- [3] 龙 辉, 廖和平, 张茜茜, 等. 基于 GIS 的土地利用/覆被与景观格局变化研究——以重庆市两江新区为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2019, 41(6): 90-98.
- [4] 李 路, 孙桂丽, 陆海燕, 等. 喀什绿洲土地利用空间格局变化特征分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020, 42(5): 141-150.
- [5] 魏 巍, 王 晓, 张克斌, 等. 毛乌素沙地不同立地条件对油蒿种群存活、开花分布格局的影响 [J]. 干旱区研究, 2017, 34(1): 104-111.
- [6] 贾国栋, 余新晓, 邓文平, 等. 北京山区典型流域不同海拔椴树种群的空间点格局分析 [J]. 生态环境学报, 2011, 20(Z1): 996-1002.
- [7] 刘普幸, 张 杰. 瓜州绿洲胡杨种群结构与动态研究 [J]. 中国沙漠, 2012, 32(2): 407-412.
- [8] 段中鑫. 胡杨 microRNA Peu-miR156j 和 Peu-miR169o 表达模式分析及功能鉴定 [D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [9] 张 兰. 黑河下游绿洲胡杨种群空间点格局及其潜在分布研究 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2015.
- [10] 阿依加马力·克然木, 玉米提·哈力克, 塔依尔江·艾山, 等. 流域水文变化对胡杨荒漠河岸林林窗及形成木特征的影响 [J]. 生态学报, 2019, 39(17): 6322-6331.
- [11] 师庆东, 郭玉川, 周小龙, 等. 塔克拉玛干沙漠克里雅河尾间达理雅博依绿洲地表水、地下水对植被格局的影响机制 [J]. 新疆大学学报(自然科学版), 2019, 36(3): 253-259, 286.
- [12] 张 峰, 王 涛, 海米提·依米提, 等. 2.7~1.6 ka BP 塔克拉玛干沙漠腹地克里雅河尾间绿洲的变迁 [J]. 中国科学(地球科学), 2011, 41(10): 1495-1504.
- [13] 师庆东, 王 智, 贺龙梅, 等. 基于气候、地貌、生态系统的景观分类体系——以新疆地区为例 [J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3359-3367.
- [14] 周兴佳, 黄小江, 陈 方, 等. 克里雅河绿洲形成、演变与综合整治 [J]. 新疆环境保护, 1994, 16(4): 30-37.
- [15] 吴俊侠, 张希明, 邓潮洲, 等. 塔里木河上游胡杨种群特征与动态分析 [J]. 干旱区地理, 2010, 33(6): 923-929.
- [16] 苏志尧, 吴大荣. 粤北天然林优势种群结构与空间格局动态 [J]. 应用生态学报, 2000, 11(3): 337-341.
- [17] FROST I, RYDIN H. Spatial Pattern and Size Distribution of the Animal-dispersed Tree Quercus Robur in Two Spruce-dominated Forests [J]. Écoscience, 2000, 7(1): 38-44.
- [18] 任毅华, 罗大庆, 周尧治, 等. 西藏色季拉山急尖长苞冷杉原始林粗木质残体空间格局分析 [J]. 生态学报, 2019, 39(21): 1-10.
- [19] 张金屯, 孟东平. 芦芽山华北落叶松林不同龄级立木的点格局分析 [J]. 生态学报, 2004, 24(1): 35-40.
- [20] 吴语嫣, 李守中. 长汀水土流失区侵蚀劣地马尾松种群动态 [J]. 生态学报, 2019, 39(6): 2082-2089.
- [21] 张金屯. 草地群落主要种群的小格局分析 [J]. 草业学报, 1994, 3(4): 7-11.
- [22] RIPLEY B D. Spatial Statistics [M]. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. , 1981.
- [23] 罗 君, 孙振升, 张学斌. 基于 Ripley's K 函数的绿洲景观格局演变分析——以张掖市甘州区为例 [J]. 水土保持研究, 2019, 26(4): 224-231.
- [24] 崔 强, 高甲荣, 李 柏, 等. 宁夏毛乌素沙地 3 种常用固沙植物种群点格局分析 [J]. 生态与农村环境学报, 2011, 27(3): 58-63.
- [25] 刘旻霞, 夏素娟, 南笑宁, 等. 基于 Ripley's  $K(r)$  函数的荒漠锦鸡儿种群分布格局 [J]. 干旱区研究, 2019, 36(3): 606-613.
- [26] 尼加提·卡斯木, 师庆东, 刘素红, 等. 基于卷积网络的沙漠腹地绿洲植物群落自动分类方法 [J]. 农业机械学报, 2019, 50(1): 217-225.

- [27] 张世清, 安放舟, 师庆东, 等. 区域尺度河道对达里亚博依绿洲植被群落的影响 [J]. 水土保持研究, 2014, 21(5): 236-239.
- [28] 麦尔哈巴·尼加提, 戴岳, 师庆东, 等. 沙漠腹地天然绿洲胡杨和怪柳叶片  $\delta^{13}\text{C}$  值对不同地下水埋深的响应 [J]. 应用生态学报, 2020, 31(4): 1083-1087.

## A Ripley's K Function-Based Study of the Spatial Pattern of *Populus euphratica* Population in Daliyaboyi Oasis in Desert Hinterland

NING Mo<sup>1</sup>, LI Na<sup>2,3,4</sup>, SHI Qing-dong<sup>2,3,4</sup>, GUO Yu-chuan<sup>2,3,4</sup>

1. Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey, Design and Research Institute, Ministry of Water Resources, Urumqi 830046, China;

2. School of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

3. Key Laboratory of Oasis Ecology of Ministry of Education, Urumqi 830046, China;

4. Institute of Arid Ecology and Environment, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

**Abstract:** In order to find out the spatial pattern of *Populus euphratica* population in Daliyaboyi oasis and the influence of water resource allocation on its spatial pattern, Ripley's K function was used to analyze the results of UAV remote sensing image interpretation of 30 arbor quadrats in the oasis. At the same time, the population dynamics and spatial pattern of *P. euphratica* population in the oasis were analyzed based on the measured data of three ground survey quadrats. The results are as follows: *P. euphratica* population growth in the oasis has strong spatial heterogeneity, surface water and groundwater control the distribution of *P. euphratica* population pattern, most of *P. euphratica* population growing in the area with groundwater depth of 3~5 m presents a random distribution, with good growth conditions, and most of them are of the increasing type. A pattern of random-aggregation-random distribution is presented from south to north in the oasis, and a pattern of random-aggregation distribution is presented from west to east. On the whole, the population shows a dynamic trend of moving from north to south and from east to west.

**Key words:** *Populus euphratica*; population; spatial pattern; population dynamics

责任编辑 周仁惠