

DOI: 10.5846/stxb201608111645

林家煌, 黄铁成, 来风兵, 陈孟禹, 陈蜀江, 贾翔. 塔里木河中游胡杨高径系数及其对生境的指示意义. 生态学报, 2017, 37(10): - .
Lin J H, Huang T C, Lai F B, Chen M Y, Chen S J, Jia X. The height-diameter coefficient of *Populus euphratica* and its indicative significance to the habitat in the middle reaches of the Tarim River. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(10): - .

塔里木河中游胡杨高径系数及其对生境的指示意义

林家煌^{1,2}, 黄铁成^{1,2,*}, 来风兵^{1,2}, 陈孟禹^{2,3}, 陈蜀江^{1,2}, 贾翔^{1,2}

1 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054

2 乌鲁木齐空间遥感应用研究所, 乌鲁木齐 830054

3 苏州科技大学外国语学院, 苏州 215009

摘要: 构建合理、可行的定量评价胡杨生境的指标体系, 能够为塔里木河流域的社会经济可持续发展、生态环境保护提供科学依据和决策参考。以野外获取的单株胡杨树高和胸径为基础数据, 构建了高径系数模型, 定量分析了胡杨高径系数与胸径、龄级关系及其对生境类型的响应, 并对其成因进行了辨析。结果表明: ①以低阶地(含河漫滩)生境类型为基准, 采用指数模型可以较好的模拟胡杨高径系数随胸径的变化趋势, 不同生境类型下模拟曲线的响应特征也各不相同, 各生境类型的胡杨高径系数随胸径的增大而减小; ②随着龄级的增大, 高径系数逐渐减小; ③在相同胸径条件下, 中阶地、高阶地、沙地等生境类型的胡杨树高分别相当于低阶地(含河漫滩)生境条件下的 70%、42%、22% 左右; ④胡杨高径系数越大, 其生长环境越好; 反之, 则越差, 胡杨高径系数可以作为胡杨生境类型的敏感指示。本研究进一步丰富了森林生境评价指标体系和树高-胸径关系模型理论, 对生态学 and 测树学理论体系的完善具有一定意义。

关键词: 胡杨; 高径系数; 生境类型; 塔里木河

The height-diameter coefficient of *Populus euphratica* and its indicative significance to the habitat in the middle reaches of the Tarim River

LIN Jiahuang^{1,2}, HUANG Tiecheng^{1,2,*}, LAI Fengbing^{1,2}, CHEN Mengyu^{2,3}, CHEN Shujiang^{1,2}, JIA xiang^{1,2}

1 College of Geography Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China

2 Urumqi Institute of Spatial Remote Sensing Applications, Urumqi 830054, China

3 School of Foreign Languages, Suzhou University of Science and Technology, Suzhou 215009, China

Abstract: Building a reasonable and feasible index system for *Populus euphratica* habitat evaluation in the Tarim River basin is important for social development, economic sustainable development, and ecological environmental protection and will provide a scientific basis for decision-making. Based on data for *P. euphratica* height and diameter at breast height (DBH), a model for a height-diameter coefficient was established. Quantitative analysis of the relationship between the height-diameter coefficient and DBH, age, response to habitat type, and analysis of the causes was conducted. The results showed that ① based on the low-level landform (flood plain) habitat type, the index model simulated trends in the height-diameter coefficient of *P. euphratica* with changes in DBH. Response characteristics of simulated curves for different habitat types varied. The height-diameter coefficient of *P. euphratica* increased in different habitat types as the DBH decreased. ② With an increase in tree age, the height-diameter coefficient gradually decreased. ③ The height of *P. euphratica* under constant DBH conditions in the middle terrace, high terrace, and sand habitat types was equivalent to 70%, 42%, and 22%, respectively, of the height of *P. euphratica* in the floodplain-low terrace. ④ The growth environment of *P. euphratica*

Based

基金项目: 国家自然科学基金项目(31460167); 塔克拉玛干西部别里库姆沙漠胡杨沙堆发育模式及其在荒漠监测中的作用(41661002)资助

收稿日期: 2016-08-11; 网络出版日期: 2017-02-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huangtiechengl@163.com

国家自然科学基金项目(41661002)

was better when the height-diameter coefficient was higher. Thus, the height-diameter coefficient of *P. euphratica* could be a sensitive indicator of *P. euphratica* habitat types. This study further enhanced the evaluation index system for forest habitat by using tree height and DBH model theory. It has implications to the merit of the ecology and forest mensuration theory system.

Key Words: *Populus euphratica*; height-diameter coefficient; habitat types; Tarim River

胡杨(*Populus euphratica*)分布范围横跨欧、亚、非三个大陆,塔里木河流域是世界胡杨分布最集中的区域,其显著特点是分布区的不连续性和沿河两岸呈走廊状天然林带^[1]。胡杨作为维系荒漠地区生态平衡的主要组分,对维护绿洲的生态安全有着不可替代的作用^[2]。国内外许多专家和学者对胡杨的研究成果较为丰富,主要集中于胡杨种群结构特征^[3-11]、水分对胡杨生理特性和种群格局的影响^[12-18]、盐分或干旱胁迫对胡杨生理机制的影响^[19-24]、不同环境下胡杨树干液流特征^[25-27]、胡杨树高-胸径关系模型^[28-30]等方面。以上研究结果表明,胡杨生长状况与其所在生境关系密切,胡杨的各项指标(生理和物理)也能够反映出其所在的生境条件,但是目前对胡杨生境的研究总体而言基本处于定性研究阶段,定量评价指标和方法尚比较缺乏。因此,尚需进一步加强基础理论研究,构建合理、可行的定量评价胡杨生境的指标体系。

通过野外调查发现胡杨的树高生长对生态条件最为敏感,高径比可以比较满意地反映胡杨的生境条件,胡杨高径比对胡杨生长环境具有很好的指示意义。据此,本文使用全站仪实测胡杨树高和胸径,分析胡杨树高与胸径的关系,提出“高径系数”这一概念,以期能够成为定量描述胡杨生境的方法,进而在一定程度上丰富了上述生境评价指标体系,对塔里木河流域胡杨分类保护、生物多样性保护以及沙漠化治理等都具有重要的理论和实践意义,同时也为塔里木河流域的社会经济可持续发展、生态环境保护提供科学依据和决策参考。

1 研究区概况

研究区位于塔里木河主要支流之一的和田河库西拉西大桥附近和阿拉尔市与轮台县之间的塔里木河中流的塔里木河沙雅大桥、轮台大桥周围(图1),主要研究区地理坐标:81°50'—82°20'E, 40°40'—40°60'N。气候类型属于温带大陆性气候,常年干旱少雨,多年平均降水量仅有17.2—45.1 mm,蒸发量大。塔里木河干流在研究区附近多年平均地表径流量为 $398.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,和田河多年平均地表径流量^[22]为 $44.73 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。研究区林地面积263741.51 hm²,其中胡杨乔木林面积372.32 hm²,郁闭度0.2—0.5,平均树高8—10 m,平均胸径15—20 cm,平均林龄15—30。

2 研究数据与研究方法

根据野外实地调查,对照《新疆森林》、《新疆植被及其利用》等资料将胡杨生境条件划分为低阶地(含河漫滩)、中阶地、高阶地、沙地4种类型(图2)。采用随机抽样方式在4种类型生境中布设15个样地,样地大小为100 m×100 m,分别测量样地中样木的树高和胸径,样地分为实验样地和验证样地。实验样地位于塔里木河沙雅大桥附近,不同生境条件各设置3个样地,共12个。其中,低阶地(含河漫滩)选取48棵胡杨、中阶地选取86棵胡杨、高阶地选取45棵胡杨、沙地地带选取52棵胡杨。验证样地位于和田河的库西拉西大桥附近和轮台县塔里木河桥附近,在除低阶地(含河漫滩)以外的不同生境类型分别布设1个样地,共3个,主要用于本研究结果验证。其中,中阶地23棵,高阶地15棵,沙地11棵。

2.1 数据来源及处理

2.1.1 树高胸径数据

采用Leica TS06免棱镜全站仪对胡杨树高数据进行采集测量,树高测量的原理主要是测取树木底部和树木顶端枝条两个点的坐标,两个坐标的高程差即测取的树高,并且精准记录下胡杨之间的相对坐标。胸径数

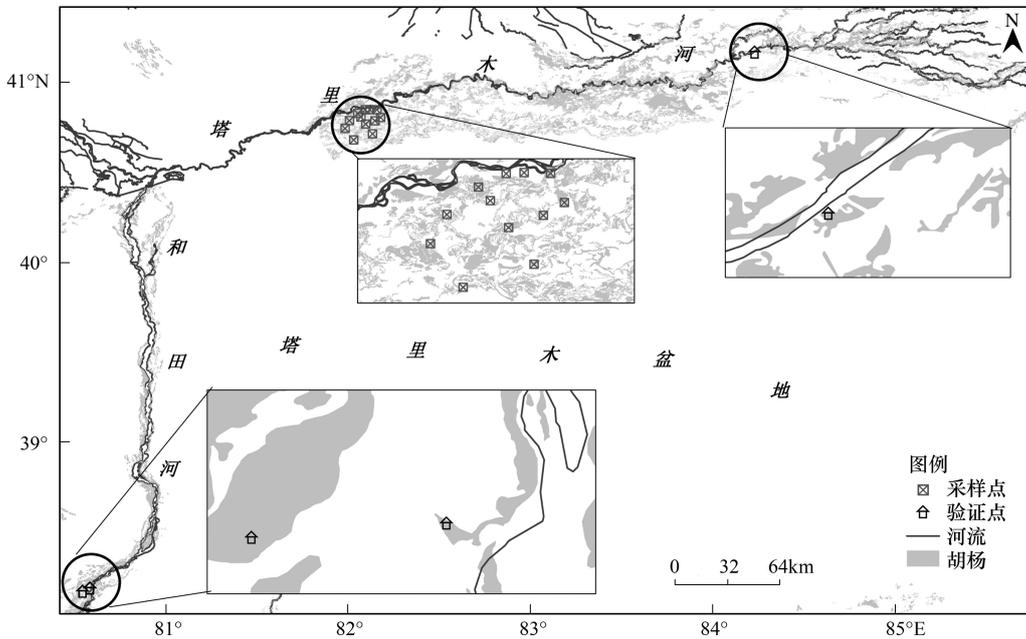


图1 研究区采样点分布

Fig.1 Map of sampling sites in study area

据的采集则使用测胸径尺,在离地 1.3 m 处对胡杨胸径进行测量记录。

2.1.2 土壤含水量及含盐量数据

适用土壤水分速测仪和土壤盐分测量仪分别测定不同生境土壤水分和含盐量。

2.1.3 数据处理

借助 SPSS 19.0 统计软件,将野外采集的胡杨胸径与树高数据进行拟合,根据不同模型对数据进行对比分析,研究发现对数模型拟合效果最好,因此本文采用 $y = \log_a bx$ 对胡杨树高与胸径的相关关系进行拟合,拟合的回归方程显著性水平检验采用 F 检验,回归方程的各系数显著性水平检验采用 t 检验。

2.2 研究方法

根据野外样地调查,将最优生境类型下的样木树高与胸径关系进行拟合,把拟合较好的曲线模型作为当地最优生境条件下胡杨树高生长曲线。其中:根据野外实地调查以及韩路、王夏楠等^[3-4]研究,对比 4 类生境类型分布胡杨的生长状况,发现胡杨生长环境条件最为优越是低阶地(含河漫滩)生境类型,该类型距离河面高差 0.5—1 m,常受不同程度的季节性洪水淹没,含盐量少,土壤湿润,在 1 m 以内平均含水率 21%左右,胡杨生长良好。因此将其作为当地胡杨最优生境,对其树高与胸径关系进行曲线拟合,该曲线即为当地最优生境条件下胡杨树高的生长曲线。

2.2.1 高径比

胡杨高径比是指胡杨树高与胸径的比值,是衡量林木质量优劣的主要指标。

$$P = \frac{H}{D} \tag{1}$$

其中, P 为胡杨的高径比, H 为胡杨树高, D 为胡杨胸径。

2.2.2 高径系数

胡杨高径系数是指在相同胸径条件下,胡杨实际测量所得的高径比与当地最优生境条件下胡杨高径比之

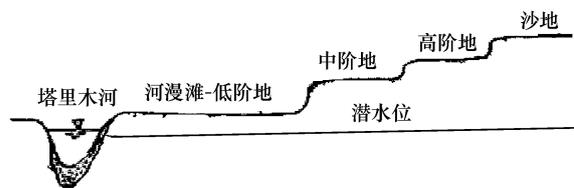


图2 生境类型示意图

Fig.2 Habitats schematic

间的比值。即

$$\alpha_i = \frac{P_i}{P_{max}} \quad (2)$$

其中, α_i 为胡杨的高径系数, 取值在 0—1 之间, P_i 为不同生境类型胡杨的高径比, P_{max} 为当地最优生境条件下胡杨的高径比, 本文选取低阶地(含河漫滩)的胡杨树高生长曲线计算其高径系数。

2.2.3 拟合优度

拟合优度检验是用来检验实际观测数与依照某种假设或模型计算出来的理论数之间的一致性, 即:

$$R_{NL} = 1 - \sqrt{\frac{\sum (y - y')^2}{\sum y^2}} \quad (3)$$

其中, y 为实验数据拟合的曲线, y' 为验证数据的拟合曲线。 R_{NL} 愈接近于 1, 表示曲线 y' 的拟合优度愈好。

2.2.4 龄组龄级

龄组是龄级的整化, 不同龄组又分有不同的龄级(Nc), 一个龄组可含 1 至 3 个龄级。龄组一般分为幼龄林(Ng1)、中龄林(Ng2)、近熟林(Ng3)、成熟林(Ng4)和过熟林(Ng5) 5 个龄组。用罗马数字 I、II、III、IV、V、VI、VII、VIII、IX 等表示龄级的大小, 数字越大, 表示树龄越大。

3 结果与分析

3.1 不同生境类型胡杨生长情况

根据野外数据采集不同生境类型下胡杨树高和胸径的平均值、最小值和最大值如表 1 所示:

表 1 不同生境类型胡杨生长状况

Table 1 Different habitat types *populus euphratica* growth conditions

生境条件 Habitat conditions	低阶地(含河漫滩) Floodplain-low terrace		中阶地 Middle terrace		高阶地 High terrace		沙地 Sand	
	树高 Tree height /m	胸径 DBH/cm	树高 Tree height/m	胸径 DBH/cm	树高 Tree height/m	胸径 DBH/cm	树高 Tree height/m	胸径 DBH/cm
最大值 Max	12.245	33.2	12.687	34.4	15.104	74.4	8.085	71.9
最小值 Min	3.307	3.0	2.981	6.9	3.659	11.7	1.943	7
平均值 Average	5.494	11.6	6.872	16.5	10.318	32.9	4.233	26.2

根据表 1, 不同生境类型胡杨树高变异较大: $H_{沙地} < H_{低阶地(含河漫滩)} < H_{中阶地} < H_{高阶地}$, 其中, 高阶地胡杨树高最高, 沙地胡杨树高最低; 胸径分布则为: $D_{低阶地(含河漫滩)} < D_{中阶地} < D_{沙地} < D_{高阶地}$, 高阶地胡杨胸径最大, 主要分布在 20—50 cm; 低阶地(含河漫滩)胡杨胸径最小, 主要分布在 3—25 cm。

3.2 各生境类型的胡杨树高与胸径关系

以胡杨胸径(D)为横坐标, 树高(H)为纵坐标, 得到各生境类型的胡杨树高与胸径的散点分布图, 如图 3 所示。

从图 3 可以看出, 整体上各生境类型胡杨树高随着胸径的增大而增大。因此, 使用指数、幂、三次项、对数等模型对其进行曲线估计, 分析树高与胸径之间的具体关系, 发现对数模型对应的决定系数较大, 曲线最终趋于平行, 比较符合实际胡杨树高和胸径生长情况。

其中, 低阶地(含河漫滩)生境类型胡杨拟合方程 $y = 3.2071 \ln(x) + 0.3664$ (式 4), 样本数 $N=48$, 相关系数 $R^2=0.748$, 显著性 $P<0.01$ 。拟合方程通过 0.01 水平检验, 因此, 该模型可以近似模拟低阶地(含河漫滩)生境类型胡杨胸径与树高的之间的数学关系, 效果较好。

3.3 胡杨高径系数

根据上述式(1)、式(2)和式

其中, 低阶地(含河漫滩)生境类型胡杨拟合方程:

$$y = 3.2071 \ln(x) + 0.3664 \quad (4)$$

样本数 $N=48$, 相关系数 $R^2=0.748$, 显著性 $P<0.01$ 。拟合方程通过 0.01 水平检验, 因此, 该模型可以近似模拟低阶地(含河漫滩)生境类型胡杨胸径与树高的之间的数学关系, 效果较好。

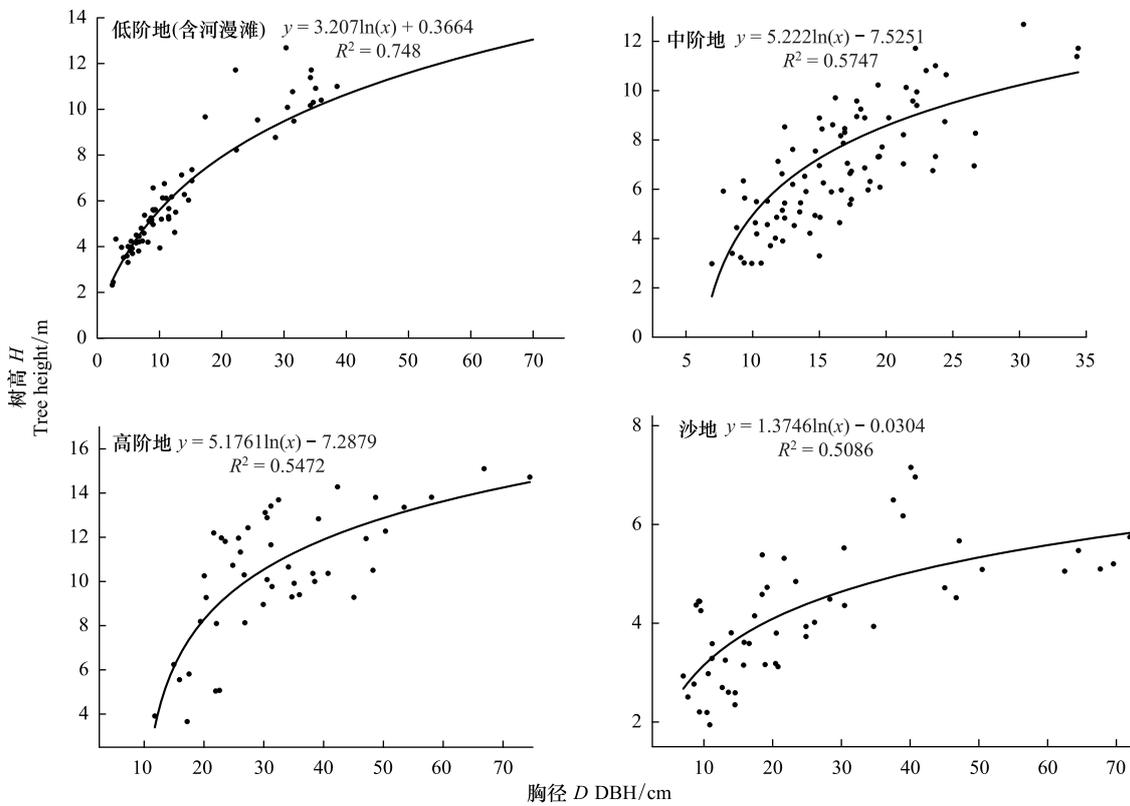


图 3 各生境类型胡杨树高曲线

Fig.3 Each habitat types *populus euphratica* tree height curve

高径系数,统计处理如表 2。

表 2 不同生境类型胡杨高径系数的最值

Table 2 The value of different habitats *populus euphratica* height-diameter coefficient

高径系数 Height-diameter coefficient	最大值 Max	最小值 Min	平均值 Average
中阶地 Middle terrace	0.994	0.425	0.763
高阶地 High terrace	0.875	0.016	0.312
沙地 Sand	0.873	0.007	0.294

根据表 2,胡杨高径系数在不同生境类型中的最值有明显差异。其中,中阶地高径系数最大,其次为高阶地,最低为沙地,表现最为明显的是不同生境类型胡杨高径系数的最小值之间的差异。中阶地生境类型胡杨高径系数最大;其次是高阶地胡杨高径系数;最小的是沙地生境类型胡杨的高径系数。

3.4 高径系数随胸径的分布

对胡杨高径系数与胸径关系进行整体分析和线性拟合(图 4),拟合方程为:

$y = 2.1184e^{-0.07683x}$

其中,样本数 $N=183$,相关系数 $R^2=0.884$,显著性 $P<0.01$ 。拟合方程通过 0.01 水平检验,方程模拟胡杨胸径与高径系数的之间的回归关系效果很好。

根据图 4 可以看出,随着胸径增长胡杨高径系数呈下降趋势,微分分析显示:当胡杨胸径小于 18 cm 时,高径系数下降速率为 0.039;胸径为 18—34 cm,下降速率是 0.011;胸径大于 34 cm 后,曲线下下降速率为 0.004。

3.5 高径系数随龄级的变化

根据文中 2.2.4 节,对不同龄组胡杨的高径系数进行统计,结果如表 3 所示。

根据表 3,不同龄级的高径系数各不相同,不同阶地相同龄级的高径系数也各不相同,根据统计的最小

(5)
(4)

值、最大值和平均值可以看出,随着龄级的增大,高径系数逐渐减小。

3.6 高径系数对生境类型的响应特征

根据高径系数计算公式,对不同生境类型胡杨的高径系数进行计算分析,在分析胸径与高径系数之间关系的基础上,进行回归曲线拟合,发现对数模型拟合度最高,据此对3种生境高径系数进行模拟。拟合曲线显著性 $P < 0.01$,拟合方程均通过0.01水平检验,因此,方程模拟胡杨胸径与高径系数的之间的回归关系效果很好,详见图5。

(1) 低阶地(含河漫滩)

低阶地(含河漫滩)为当地最优生境,本文选择其为高径系数的计算基准,数值为1。

(2) 中阶地

对胡杨高径系数与胸径关系进行曲线拟合(图5),根据曲线测定的高径系数期望值为0.480—0.994,平均为0.708。基本规律是随着胸径增长胡杨高径系数下降,但下降速率较慢,近似线性趋势,下降速率较稳定,高径系数随胸径

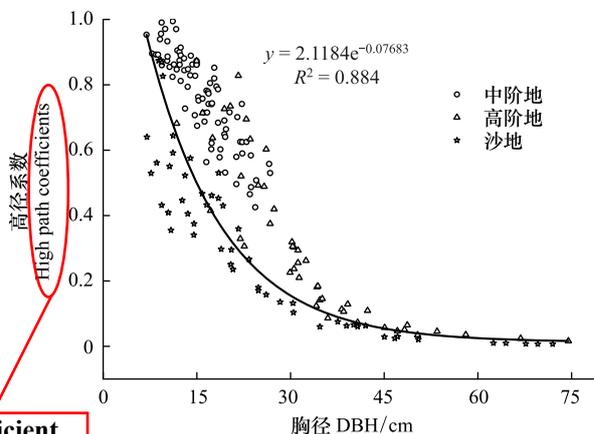


图4 胡杨高径系数与胸径的关系

Fig.4 The relationship of *populus euphratica* height-diameter coefficient with DBH

Height-diameter coefficient

表3 各龄级高径系数变化范围

Table 3 Each age class height-diameter coefficient variation range

龄组 Age Group 龄级 Age class	Ng1		Ng2		Ng3		Ng4		Ng5
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX 以上
高径系数 Height-diameter coefficient	0	0	0.706-0.994	0.531-0.852	0.425-0.741	0.123-0.306	0.047-0.146	0.016-0.045	0.007-0.021
			0.877	0.707	0.578	0.234	0.089	0.031	0.008

$$\text{高径系数} = \frac{\text{最小值} - \text{最大值}}{\text{平均值}}$$

下降速率为0.005—0.045,平均下降率为0.017。微分分析显示:当胡杨胸径小于22 cm时,高径系数下降速率是0.028;胸径为22—40 cm,下降速率是0.016;胸径大于40 cm后,曲线下降速率为0.001。

中阶地生境类型距河面高差3 m以内,土壤平均含水量6%—10%,土壤全盐量含量在0.7%左右,质地为细沙—中壤型,期间夹有薄层粘泥层。林分多系复层结构异龄混交林,每100 m²幼林密度约为15株,主要分布在临近水源或洪沟两侧,郁闭度0.5—0.7,平均树高7 m,平均胸径16 cm。树高生长较为旺盛,平均高径系数可达0.708,即在相同胸径下树高生长相当于河漫滩—低阶地生境条件下的70%左右。尽管树高生长在随着胸径增长也随之放缓,但直到胸径40 cm处树高生长才趋于停滞。

(3) 高阶地

根据曲线测定的高阶地高径系数期望值为0.150—0.929,平均为0.420。也是随着胸径增长胡杨高径系数下降,但下降速率是先急速下降,后趋于稳定,高径系数随胸径的下降速率为0.002—0.166,平均下降率为

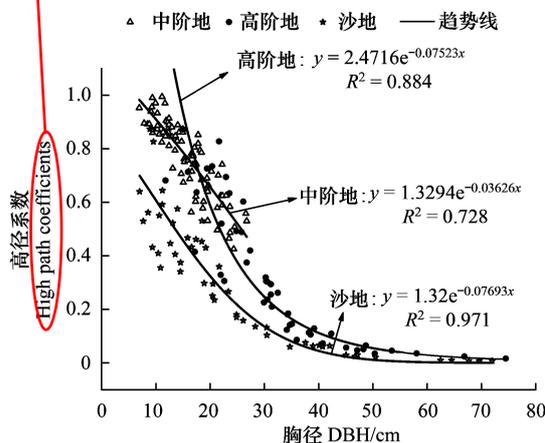


图5 不同生境类型高径系数趋势线

Fig.5 Different habitat types of height-diameter coefficient trendline

0.026。微分分析显示:曲线在胸径 16 cm 和 36 cm 有两个明显折点,当胡杨胸径小于 16 cm 时,高径系数下降速率是 0.062;胸径 16—36 cm 时,下降速率是 0.029;胸径大于 36 cm 后,曲线下降速率为 0.002,且趋于平稳下降。

高阶地生境类型距河面高差 3—6 m,土壤平均含水量 3%—6%,0—20 cm 土层含盐量可达 2%。林木生长恶化,胡杨林生长衰退、林冠稀疏,每 100 m²幼林密度约为 3 株,林分郁闭度 0.3—0.5,平均树高 10 m,平均胸径 32 cm。树高生长相对衰退,高径系数为 0.420,即在相同胸径下树高生长相当于河漫滩-低阶地生境条件下的 42%左右。树高生长在随着胸径增长而放缓,到胸径 36 cm 时树高生长趋于停滞。

(4) 沙地

根据曲线测定的沙地高径系数期望值为 0.080—0.770,平均为 0.219。基本规律是随着胸径增长胡杨高径系数下降,沙地与中高阶地类似,但其下降速率沙地较小,高径系数随胸径的下降速率为 0.001—0.091,平均下降率为 0.014。微分分析显示:曲线在胸径 14 cm 和 30 cm 有两个明显折点,当胡杨胸径小于 14 cm 时,高径系数下降速率是 0.046;胸径为 14—30 cm,下降速率是 0.020;胸径大于 30 cm 后,曲线下降速率为 0.002,且趋于平稳下降。

沙地生境类型距河面高差 6 m 以上,胡杨主要分布于塔里木河的干河道附近并且常与沙漠边缘相邻,以沙壤为主,远离河流,常年无河水补给,并且潜水位较深,胡杨根系无法触及,并且受到强风沙和流动沙地的影响下,出现枯立木和“断头树”,有些枯立木从枝杆上派生出一根新主杆,或者从胡杨的根部萌蘖新的胡杨枝条,所以沙地生境类型出现了小胸径胡杨的现象。郁闭度 0.1 左右,平均树高 4 m,平均胸径 26 cm。胡杨树高生长普遍出现早衰、停滞和枯梢现象,高径系数为 0.219,即在相同胸径下树高生长相当于河漫滩-低阶地生境条件下的 22%左右。树高生长随着胸径增长而急剧放缓,至胸径 30 cm 处树高生长已趋于停滞。

因此,胡杨高径系数主要受生境类型和胸径影响,在相同胸径条件下,高径系数越小,生境越差。导致该现象的主要原因是由于胡杨生长条件不同而造成的,胡杨森林类型分布的地貌条件,决定着胡杨群落类型的水分补给状况、土壤基质、和土壤盐渍化程度,从而影响到胡杨林型分布的生态序列(表 4)。

表 4 不同生境下胡杨立地条件

Table 4 Different habitats *populus euphratica* site conditions

生境条件 Habitat conditions	距河面高差 From the river height	土壤平均含水量 Average moisture content of the soil	土壤平均全盐量 Average soil total salt	郁闭度 Canopy density	平均高径系数(实测) Average height- diameter coefficient (measured value)
中阶地 Middle terrace	<3 m	6%—10%	0.70%	0.5—0.7	0.763
高阶地 High terrace	3—6 m	3%—6%	2%	0.3—0.5	0.312
沙地 Sand	>6 m	—	—	0.1	0.294

3.7 结果验证

利用野外收集的和田河的库西拉西大桥附近和轮台县塔里木河桥附近采集的胡杨数据为验证数据,验证结果如图 6 所示。

根据拟合优度公式,将实验数据拟合曲线的式 4 与验证数据拟合曲线进行拟合优度分析,发现验证数据与实验数据相吻合,其拟合优度达 0.881。

4 讨论

(1) 胡杨生境演替

塔里木河是个游荡河流,两岸以沙地为主,“林随水生”是胡杨林自然分布最大特点之一。就胡杨林的发生发展而言河流是根本,河漫滩是摇篮,地下水是命脉,胡杨林源于河流,但也受制于河流^[1]。胡杨林分布的地貌条件,决定着群落的水分补给状况、基质条件和土壤盐渍化程度,从而影响到群落的结构和演替方向^[31]。

在低阶地(含河漫滩)地带,水分充足,土壤湿润,胡杨伴水而生,均为实生林,一般以中幼林为主,长势茂密,表现为树龄小胸径小,树高生长旺盛。随着时间的推移,河床长时间受到流水的侵蚀下切,河漫滩和低阶地向更高一级阶地演化,胡杨以中壮龄林为主,主要靠萌蘖更新,树龄和胸径逐渐增大,树高较高,可高达 10 m 以上。随着河流改道、水源枯竭,环境逐渐恶化,阶地等级进一步演变,胡杨生长量逐渐降低,处于近熟林阶段,胸径继续生长,但树高则接近停滞,高度依然停留在 10 m 左右。而到了古河床沿岸,由于水分的不足,胡杨根端随地下水位逐渐下降而向下延伸,仅仅依赖于根系摄取少量地下水勉强维持基本生存,加上木质部导管输水能力的下降,胡杨顶端很难有水分到达,胡杨林生长逐渐衰退,出现早衰、停滞和枯梢,处于成熟林和过熟林阶段,又受到强风沙和流动沙地的影响,出现枯立木和“断头树”,残存老胡杨,林相衰败,表现为树龄大、胸径大、树高低。因此,塔河沿岸胡杨林出现了随着生境条件的变化,胸径差异极大,而树高差异却极小的怪异现象,高径系数恰好能够反映胡杨生境条件。

(2) 森林生境评价指标

当前在评价森林生境条件方面与高径系数相近的指标主要有地位级^[32]、地位指数^[33]、立地类型^[34]等。地位级表实际使用中只能查出其对应的地位级等级,难以对立地条件进行数量化表达;地位指数以林分优势木(含亚优势木)的平均高与平均年龄相关关系为依据划分的林地生产力等级,无法直接定量描述林木所属生境类型;立地类型在林业上用来表示林地的森林生长条件,其分类也只是对生境的文字描述,无法进行定量描述,根据《中国森林立地分类》^[35]本研究区属于塔里木河流域立地亚区-塔里木河立地类型小区-塔里木河中游立地类型组-河漫滩立地类型、阶地立地类型、老河床流动沙丘立地类型,这样的描述过于粗略。高径系数不仅与上述反映生境条件的指标体系无矛盾,而且还是对这个指标体系的有益补充,并且针对塔里木河胡杨林的特殊情况强化了定量表达方法,根据高径系数对生境的响应关系能够定量评价生境状况,可以在一定程度上弥补上述指标体系的不足。

(3) 树高-胸径关系模型

树高-胸径关系模型已有很多学者针对不同树种、不同应用目的做过相关研究^[36-41],主要对油松、落叶松、桉树等树种进行高径比立木材积表编制、立木生长率测算等,高径系数是对树高-胸径关系模型研究的补充,进一步丰富了该模型理论,其在胡杨保护、沙漠化防治、社会经济可持续发展、生态环境保护、森林调查、林业生产和科研上都具有一定理论价值和实践意义,本研究受条件限制,目前仅在干旱区内陆河——塔里木河流域对高径系数进行了初步研究,效果理想,实用性强,针对于其他树种和其他区域的适用性仍待进一步研究。

(4) 胡杨生境评价研究

很多学者从不同角度开展了大量对胡杨生境的优劣程度评价的研究。司建华^[42]等人通过胡杨叶片气孔导度特征与环境因子的响应来研究胡杨适应极端干旱生境的气孔调节机制。叶茂^[43]等人通过灵敏度指数反映不同胸径胡杨径向生长量的合理地下水位,不同胸径胡杨径向生长灵敏度对应的地下水埋深各不同,发现大胸径胡杨比小胸径胡杨更能适应恶劣环境。安红燕^[15]等人通过对塔里木河下游胡杨径向生长量变化的研究来反映胡杨生态环境的改善情况。皮原月^[44]等人借助树木年轮水文学的方法研究不同退化阶段胡杨多年平均径向生长量,结果表明:中度退化区>极度退化区>重度退化区。本文使用对生境较为敏感的高径系数,能够定量地描述胡杨所处生境,结果表明,在相同胸径条件下,中阶地、高阶地、沙地等生境类型的胡杨树高分

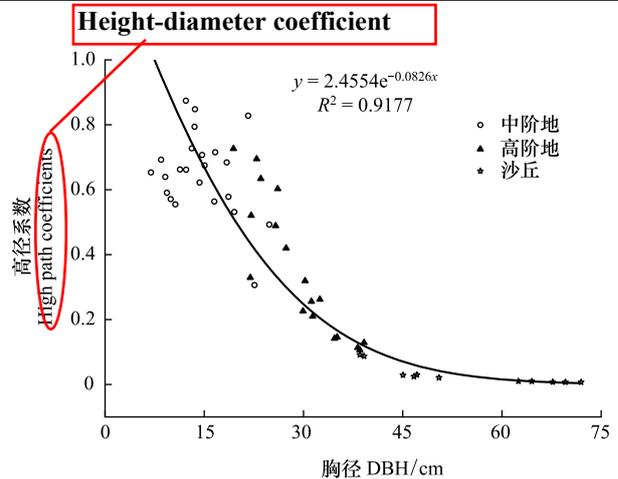


图 6 验证数据胡杨高径系数与胸径的关系

Fig. 6 The relationship of verification data *populus euphratica* height-diameter coefficient with DBH

别相当于低阶地(含河漫滩)生境条件下的 70%、42%、22%,胡杨高径系数越大,其生长环境越好;反之,则越差。本文与以上学者研究结果相似,即阶地等级越高,地下水埋深越深,胡杨退化程度越高,胡杨所处生境越差。

胡杨高径系数不仅与胡杨生境存在一定的响应关系,其与胡杨胸径、地下水位、土壤含盐量、土壤水分等也都有一定的关系,有待后续进一步研究。

5 结论

本文在胡杨树高与胸径关系的基础上,定义并计算了塔里木河中游不同生境类型的胡杨高径系数,分析了高径系数与胸径、龄级的关系及其对生境类型的响应特征,并对其成因进行了辨析。

(1)以低阶地(含河漫滩)生境类型为基准,各生境类型的胡杨高径系数随着胸径的增大而减小。采用指数模型可以较好的模拟胡杨高径系数随胸径的变化趋势,不同生境类型下,模拟曲线的响应特征也各不相同。中阶地、高阶地、沙地生境类型胡杨高径系数曲线在胸径分别位于 40、36、30 cm 处下降速率逐渐趋于平缓。在相同胸径条件下,胡杨树高生长在中阶地、高阶地、沙地等生境类型分别相当于低阶地(含河漫滩)生境条件下的 70%、42%、22%左右。

(2)胡杨高径系数与生境之间存在着明显的对应关系,且在不同生境类型条件下,其相关性均很高,能够很好反映胡杨的生长环境。因此,胡杨高径系数能够很好的作为胡杨生境条件的敏感指示,即:胡杨高径系数越大,说明胡杨的生长环境越好;反之,则说明胡杨的生长环境越差。

参考文献 (References):

- [1] 王世绩,陈炳浩,李护群. 胡杨林. 北京: 中国环境科学出版社, 1995.
- [2] 王海珍,韩路,徐雅丽,牛建龙,于军. 干旱胁迫下胡杨光合光响应过程模拟与模型比较. 生态学报, 2017, 37(7), doi: 10.5846/stxb201511242373.
- [3] 韩路,王海珍,彭杰,梁继业,马春晖. 不同生境胡杨种群径级结构与格局动态研究. 北京林业大学学报, 2010, 32(1): 7-12.
- [4] 王夏楠,王亮,吕瑞恒,梁继业,周正立. 塔里木河中游不同生境胡杨种群的结构特征分析. 西北林学院学报, 2014, 29(5): 1-6.
- [5] 赵传燕,赵阳,彭守璋,王瑶,李文娟. 黑河下游绿洲胡杨生长状况与叶生态特征. 生态学报, 2014, 34(16): 4518-4525.
- [6] 张绘芳,王蕾,朱雅丽,地力夏提·包尔汉,丁程锋. 塔里木盆地荒漠胡杨林结构及种群格局分析. 林业资源管理, 2016, (4): 53-58.
- [7] 张兰,张华,赵传燕. 黑河下游胡杨种群的点格局分析. 应用生态学报, 2014, 25(12): 3407-3412.
- [8] 韩路,王家强,王海珍,宇振荣. 塔里木河上游胡杨种群结构与动态. 生态学报, 2014, 34(16): 4640-4651.
- [9] 马丽亚,席琳乔,景春梅,单康峰,韩路,马春晖. 灰叶胡杨种群空间分布格局与动态研究. 新疆农业科学, 2014, 51(5): 935-940.
- [10] 韩路,席琳乔,王家强,王海珍,宇振荣. 塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局. 生态学报, 2013, 33(19): 6181-6190.
- [11] 程冬梅,唐雅丽,张坤迪,方呈祥. 新疆天然胡杨林地区根际微生物的种群分析. 生态科学, 2013, 32(6): 711-717.
- [12] 徐海量,邓晓雅,赵新风. 河道断流对胡杨(*Populus euphratica*)径向生长量的影响. 中国沙漠, 2013, 33(3): 731-736.
- [13] 龚君君,叶茂,禹朴家,史小丽,谢亮. 生态输水对塔里木河下游胡杨主干径向生长量影响研究——以依干不及麻断面为例. 干旱区资源与环境, 2011, 25(2): 162-166.
- [14] 安红燕,叶茂,徐海量,禹朴家. 塔里木河下游胡杨径向生长量对生态输水的响应. 中国沙漠, 2011, 31(4): 957-962.
- [15] 安红燕,徐海量,叶茂,禹朴家,龚君君. 塔里木河下游胡杨径向生长与地下水的关系. 生态学报, 2011, 31(8): 2053-2059.
- [16] 徐梦辰,陈永金,刘加珍,王丹,刘亚琦. 塔里木河中游水文影响下的胡杨种群格局动态. 生态学报, 2016, 36(9): 2646-2655.
- [17] 王海珍,陈加利,韩路,徐雅丽,贾文锁. 地下水位对胡杨(*Populus euphratica*)和灰胡杨(*Populus pruinosa*)叶绿素荧光光响应与光合色素含量的影响. 中国沙漠, 2013, 33(4): 1054-1063.
- [18] Zhao Y, Zhao C Y, Xu Z L, Liu Y Y, Wang Y, Wang C, Peng H H, Zheng X L. Physiological responses of *Populus euphratica* Oliv. to groundwater table variations in the lower reaches of Heihe River, Northwest China. Journal of Arid Land, 2012, 4(3): 281-291.
- [19] 朱会娟,王瑞刚,陈少良,张云霞,李妮亚,邵杰. NaCl 胁迫下胡杨(*Populus euphratica*)和群众杨(*P. popularis*)抗氧化能力及耐盐性. 生态学报, 2007, 37(10): 4113-4121.
- [20] 王海珍,韩路,贾文锁. 胡杨(*Populus euphraticu*)与灰胡杨(*Populus pruinosa*)种子萌发对不同盐类胁迫的响应. 中国沙漠, 2013, 33(3): 743-750.

- [21] 史军辉, 王新英, 刘茂秀, 陈启民. NaCl 胁迫对胡杨幼苗叶主要渗透调节物质的影响. 西北林学院学报, 2014, 29(6): 6-11.
- [22] 李志军, 罗青红, 伍维模, 韩路. 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. 干旱区研究, 2009, 26(1): 45-52.
- [23] 周朝彬, 宋于洋, 王炳举, 李荣, 李明艳, 李园园. 干旱胁迫对胡杨光合和叶绿素荧光参数的影响. 西北林学院学报, 2009, 24(4): 5-9.
- [24] 朱成刚, 李卫红, 马晓东, 马建新, 陈亚鹏. 塔里木河下游干旱胁迫下的胡杨叶绿素荧光特性研究. 中国沙漠, 2011, 31(4): 927-936.
- [25] 白云岗, 宋郁东, 周宏飞, 柴仲平. 应用热脉冲技术对胡杨树干液流变化规律的研究. 干旱区地理, 2005, 28(3): 373-376.
- [26] 张小由, 康尔泗, 张智慧, 张济世. 黑河下游天然胡杨树干液流特征的试验研究. 冰川冻土, 2005, 17(5): 742-746.
- [27] Li W, Si J H, Yu T F, Li X Y. Response of *Populus euphratica* Oliv. sap flow to environmental variables for a desert riparian forest in the Heihe River Basin, Northwest China. Journal of Arid Land, 2016, 8(4): 591-603.
- [28] 王金山, 哈力克·玉米提, Cyffka B, 吾斯曼·库尔班, 彭树宏. 塔里木河下游胡杨林胸径结构及林木分布特征. 植物学通报, 2008, 25(6): 728-733.
- [29] Aishan T, Halik Ü, Betz F, Tiyp T, Ding J L, Nuermaimaiti Y. Stand structure and height-diameter relationship of a degraded *Populus euphratica* forest in the lower reaches of the Tarim River, Northwest China. Journal of Arid Land, 2015, 7(4): 544-554.
- [30] Aishan T, Halik U, Betz F, Gärtner P, Cyffka B. Modeling height-diameter relationship for *Populus euphratica* in the Tarim riparian forest ecosystem, Northwest China. Journal of Forestry Research, 2016, 27(4): 889-900.
- [31] 中国科学院新疆综合考察队. 新疆植被及其利用. 北京: 科学出版社, 1978.
- [32] 刘岚. 多因子立地分类法. 林业勘查设计, 1990, (4): 69-70.
- [33] 郎奎建, 张富, 胡光, 曹仁杰. 中国主要用材树种标准化地位指数函数的研究. 东北林业大学学报, 1999, 27(2): 1-5.
- [34] 鄢棣. 关于立地类型的概念. 云南林业科技, 1992, (1): 27-30.
- [35] 《中国森林立地分类》编写组. 中国森林立地分类. 北京: 中国林业出版社, 1989.
- [36] 廖泽钊, 黄道年. 林木高径比的关系. 林业资源管理, 1984, (6): 45-47.
- [37] 李旭, 赵晓波. 用高径比法确定落叶松人工林生长率. 吉林林业科技, 1988, (4): 13-16.
- [38] 张更新. 林木高径比变化规律的探讨. 内蒙古林业科技, 1997, (1): 21-24.
- [39] 梁景生, 钟福胜, 刘国余, 温强, 吴国莲, 杜初发, 梁学明. 雷州尾叶桉基径高径比立木材积表与高径(基径)比表的编制. 桉树科技, 2003, (2): 44-52.
- [40] 梁景生, 钟福胜, 刘国余, 吴国莲, 温强, 黄崇辉, 梁学明, 杜初发, 梁峰. 雷州刚果 12 号桉(W5 无性系)林分标准表、林分蓄积量表与林分高径比立木材积表的编制. 桉树科技, 2004, (2): 35-45.
- [41] 梁景生, 陈穆光, 刘国余, 黄崇辉, 林桦. 雷州尾叶桉高径比立木材积表. 桉树科技, 2002, (2): 57-60.
- [42] 司建华, 常宗强, 苏永红, 席海洋, 冯起. 胡杨叶片气孔导度特征及其对环境因子的响应. 西北植物学报, 2008, 28(1): 125-130.
- [43] 叶茂, 徐海量, 龚君君, 安红燕. 不同胸径胡杨径向生长的合理生态水位研究. 地理科学, 2011, 31(2): 172-177.
- [44] 皮原月, 叶茂, 徐长春. 塔里木河下游不同退化阶段胡杨径向生长量变化特征. 水土保持研究, 2016, 23(4): 313-317, 324-324.