

# 杨树人工林生态系统立地质量因子的定量排序与评价

金志农 (江西省科学院生物资源研究所, 南昌 330029)

**【摘要】** 从系统论的观点出发, 运用多元数理统计法, 系统地辨识和评价了长江中游平原地区黑杨派南方型无性系(I-69杨, I-72杨)主要立地因子。结果表明, 土壤有效水分是主要的综合立地因子, 其对林分优势高生长的贡献率为44.56%(I-69杨)和34.09%(I-72杨); 其次是物理性状和通气条件, 各占24%左右; 土壤养分贡献率最低, 仅10%左右。主要立地因子包括水淹程度、微地形、地下水位、经营程度、土壤质地、土壤结构和pH值, 累积贡献率达到90%以上。文中最后编制了具有数量化立地指数表和地位级表双重功能的立地因子贡献值表。

**关键词** 立地质量 立地因子 贡献率

Quantitative ordination and evaluation of site quality factors of poplar artificial forest ecosystem. Jin Zhinong (Institute of Biological Resources, Jiangxi Academy of Sciences, Nanchang 330029). - Chin. J. Appl. Ecol., 1992, 3(2): 105-110.

Major site factors of southern type clones of Aigeiros section were evaluated by multivariate statistical analysis method. The results show that soil available water is a major integrated site factor which affects the growth of two clones, its contribution percentage (CP) being 44.56% and 34.00% for I-69/55 and I-72/58 respectively. The CP of soil physical properties and aeration condition is about 24%, and that of soil nutrient is 10%. The accumulated CP of major site subfactors including flooding, microtopography, ground water level, management level, soil structure, soil texture, available K and pH is more than 90%. In the end of the paper, table of contribution value including those of site class and quantitative site index is worked out.

**Key words** Site quality, Site factor, Contribution percentage.

## 1 引言

杨树是中纬度地区分布最广、生长速度最快的树种之一, 在当今世界性森林资源匮乏的困境中, 杨树尤其是黑杨派南方型无性系, 以其速生、高产、用途广等优良特性, 在许多国家和地区得到广泛重视。我国自70年代初从意大利引种南方型无性系(I-69杨, I-72杨)获得成功以来, 发展十分迅速, 至今造林面积已逾

$7.0 \times 10^5$  ha, 在南至北纬24°(广西柳州、云南昆明一带), 北至北纬37°(山东济阳、邹平一带)的广袤地域内推广<sup>[1]</sup>。但是, 该无性系属外来品种, 对该无性系在本区的生态适应性, 尤其是对土壤的适宜性, 尚缺乏系统定量的研究。本文以长江中游平原地区杨树人工林生态系统为研究对象, 试图从系统论的观点出发, 从影响黑杨派南方型无性系的土壤因子入手, 运用多元数理统计方法, 定量分析杨树人工林

\* 国家“七五”攻关项目“黑杨派南方型无性系速生丰产技术的研究”的一部分。

承蒙叶境中教授、吕士行教授的指导, 徐锡增副教授审阅初稿, 在此一并致谢。

本文于1990年10月22日收到。

生态系统的立地因子与树木生长间的数量关系,在此基础上提出新的杨树立地质量评价方法,为合理地选择造地林和有针对性地改造低产林分提供科学依据。

长江中游平原地区在这里特指湖南省洞庭湖平原、湖北省江汉平原以及江西省鄱阳湖平原。该区域属亚热带暖湿季风性气候,水热资源丰富,年均温16.4—17.6℃,年降雨量1178.0—1700.0 mm,无霜期252—266天,温暖指数130—151℃。区域内多属冲积性土壤,其母质为河湖相冲积物所组成。生长杨树的土壤类型主要为灰河(湖)潮土,有机质含量0.87—1.72%,全氮0.04—0.13%,速效磷2.83—13.34 ppm,速效钾53.76—141.59 ppm, pH(水提)5.35—8.45。

研究的树种为本区主要栽培的两个无性系: *Populus deltoides* Bartr. cv. "Lux" (I-69/55) (简称I-69杨)和 *P. × euramericana* (Dode) Guinier cv. "San Martino" (I-72/58) (简称I-72杨)。

## 2 分析方法

### 2.1 立地因子的递阶层次结构

立地质量是衡量人工林生态系统生产力水平的综合性概念,具有复杂的层次结构,所以立地因子的排序实质是系统的多因子综合评价问题。

在区域性气候条件比较一致的前提下,影响杨树生长的立地因子中以土壤条件最为重要。一般认为<sup>[1,2,4-6]</sup>可以由4个综合立地因子衡量立地质量:(1)土壤有效水分,(2)物理性状,(3)通气条件,(4)土壤养分性状。每个综合因子由若干可测的子因子构成。子因子与综合因子的归属关系由表1可见,其中定性因子等级划分标准是:水淹程度分不水淹、偶尔水淹和经常水淹,微地形分台地、平地 and 洼地,地下水位分≤50 cm、51—100 cm、101—150 cm、151—250 cm和≥250 cm;质地分粉质、壤质、粘质和砂质,结构分粒状、块状和单粒状,经营程度分集约和粗放。其它子因子均为定量指标,其中容重和硬度(10分制)取20—60 cm实测值,有机质、全氮、速效磷、速效钾和pH值取地表0—40 cm实测值。

### 2.2 立地因子贡献率的计算方法

立地因子对杨树生长的相对重要性,这里称之为因子贡献率。本文采用多元回归分析和通径分析方法<sup>[3]</sup>,对立地因子贡献率进行定量排序。

**2.2.1 同一综合因子下的子因子贡献率** 设某一综合因子由 $n$ 个子因子组成,共调查 $m$ 个标准地,以该 $n$ 个子因子为自变量( $x_i, i=1, 2, \dots, n$ ),林分优势高为应变量( $y$ ),用最小二乘法可解得

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i \quad (1)$$

其中 $b_0 \sim b_n$ 为回归系数。

为了求自变量( $x_i$ )对应变量( $y$ )的相对重要性,需对回归系数( $b_i$ )施行标准化,即

$$P_{i \rightarrow y} = b_i \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{\sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

其中 $P_{i \rightarrow y}$ 为标准回归系数。

又有

$$R_{y, 1, 2, \dots, n}^2 = \sum_{i=1}^n r_{iy} P_{i \rightarrow y} \quad (3)$$

$R_{y, 1, 2, \dots, n}^2$ 为决定系数,即 $n$ 个子因子对应变量的总贡献,它可分解为 $n$ 项,记第 $i$ 个自变量的贡献率为 $C_i$ ,则有

$$C_i(\%) = r_{iy} P_{i \rightarrow y} \times 100 / \sum_{i=1}^n r_{iy} P_{i \rightarrow y} \quad (4)$$

$C_i$ 即为第 $i$ 个子因子对林分优势高(应变量)的贡献率,用百分率表示, $r_{iy}$ 为第 $i$ 个自变量与应变量的偏相关系数。

**2.2.2 综合因子贡献率** 某一综合因子对林分优势高的贡献率由构成该综合因子的若干子因子与林分优势高的决定系数占总决定系数的比例表示,即

$$W_j(\%) = R_j^2 \times 100 / \sum_{j=1}^4 R_j^2 \quad (5)$$

其中 $W_j(\%)$ 为第 $j$ 个综合因子贡献率, $R_j^2$ 为第 $j$ 个综合因子的决定系数。

2.2.3 不同综合因子的立地因子相对重要性排序  
综合因子贡献率的差异限制了不同综合因子各子因子间直接进行比较,为此需把所有立地因子放在同一水平上进行比较,即计算立地因子总体贡献率。

$$TC_{ij} = C_{ij} \times W_j \quad (6)$$

其中,  $TC_{ij}$  为第  $j$  个综合因子第  $i$  个子因子的总体贡

献率,  $C_{ij}$  为第  $j$  个综合因子中第  $i$  个子因子的贡献率,  $W_j$  为第  $j$  个综合因子贡献率。

### 3 结果与讨论

本文分别无性系计算了树龄 5、7、8 和 10 年生时的因子贡献率, 结果汇编于表 1。

表 1 立地因子贡献率表 (%)

Tab.1 Contribution percentage (CP) of site subfactors on I-69/55 and I-72/58 (%)

综合因子 Synthetic factor	子因子 Minor factor	无性系 Clones									
		I-69/55					I-72/58				
		树龄 Tree age		平均 Mean			树龄 Tree age		平均 Mean		
		5	7	8	10	Mean	5	7	8	10	Mean
有效水分 Moisture availability	水淹程度 Flooding	67.41	64.48	64.12	54.51	62.13	52.00	53.98	47.30	37.10	47.60
	微地形 Microtopography	20.39	23.45	20.56	17.66	20.52	20.76	22.57	32.48	44.67	30.12
	地下水位 Groundwater level	12.18	12.06	17.30	27.81	17.34	27.23	23.43	20.20	18.22	22.27
物理性状 Physical condition	质地 Soil texture	28.58	20.81	27.20	29.17	26.44	11.11	7.73	12.20	17.21	12.06
	结构 Soil structure	62.11	76.94	71.12	66.13	69.08	80.52	84.99	82.43	74.90	80.71
	容量 Volume weight	9.89	3.08	2.52	4.60	5.02	8.93	6.48	5.26	8.66	7.33
	硬度 Soil hardness	-0.61	-0.86	-0.86	0.08	-0.56	-0.57	0.78	0.09	-0.80	-0.13
通气性状 Aeration	经营程度 Management level	92.63	97.04	97.94	96.34	95.99	77.66	82.34	87.38	78.67	81.51
	孔隙度 Porosity	7.35	2.95	2.04	3.65	4.00	22.33	17.64	12.60	21.31	18.47
土壤养分 Nutrients	有机质 Organic matter	2.60	2.20	3.26	2.20	2.57	0.64	-0.10	-0.15	-6.43	-1.51
	全氮 Total N	1.34	4.59	6.76	14.28	6.74	-0.54	5.72	3.90	24.69	8.44
	速效磷 Exchangeable P	-0.84	-3.71	-4.13	-0.67	-2.34	19.97	-1.96	-4.99	0.61	3.41
	速效钾 Exchangeable K	69.03	84.86	90.82	74.52	79.81	19.18	43.22	63.16	30.47	39.01
	pH	27.85	12.04	3.31	9.64	13.21	60.72	53.10	38.05	50.64	50.63

### 3.1 立地因子贡献率分析

3.1.1 土壤水分特征 有效水分特征由水淹程度、微地形和地下水位 3 个子因子表征,结果表明: (1) 3 个子因子中,水淹程度是影响杨树生长的主要因子,其贡献率分别达到 62.13% (I-69 杨) 和 47.60% (I-72 杨), 超过或接近 50%; 微地形和地下水位比较接近, 各 20% 左右; (2) 随着树龄的增长,水淹程度的贡献率有下降趋势。I-69 杨从 5 年生的 67.41% 下降到 10 年生 54.51%, 下降幅度为 12.90%; I-72 杨从 52.00% 下降到 37.10%, 下降幅度为 14.90%, 两个无性系下降的幅度基本一致。与此相反,地下水位的贡献率随着树龄的增长而增加, I-69 杨从 5 年生 12.18% 增加到 10 年生 27.81%, 增加幅度为 15.63%; I-72 杨从

20.76% 增加到 44.67%, 增加幅度为 23.91%, 大于 I-69 杨。由此可见, 随树龄增长, 杨树抗活动水淹的能力有所提高, 而长时间发生作用的地下潜水对杨树生长的抑制作用也相对有所增强, I-72 杨表现得尤为明显。 (3) 据对 85 块标准地的统计, 不受水淹的林分优势高较受水淹的高 15% 左右。

3.1.2 土壤物理性状 分析表明, 结构和质地是影响杨树生长的主要因子, 结构的贡献率分别为 69.08% (I-69 杨) 和 80.71% (I-72 杨); 质地为 26.44% (I-69 杨) 和 12.06% (I-72 杨), 二者合计超过 90%。

据分析, 粉质和壤质粒状结构的土壤最有利于杨树生长。就土壤结构而言, 若以单粒状土壤上生长的林分优势高为 100%, 则粒状为

160.37% (I-69杨) 和 188.09% (I-72杨), 块状为 133.40% (I-69杨) 和 165.24% (I-72杨)。类似地以粘土林分优势高为 100%, 则壤土为 160.60% (I-69杨) 和 140.77% (I-72杨), 砂土为 133.66% (I-69杨) 和 121.01% (I-72杨)。

本区土壤容重变化不大, 平均为  $1.34 \text{ g/cm}^3$ , 变异系数仅 5.44%, 属杨树适生范围 ( $1.20-1.45 \text{ g/cm}^3$ )<sup>[7]</sup>。

**3.1.3 土壤通气性状** 分析表明, 立地改良 (经营程度) 是影响杨树生长的主要通气性状因子, 其贡献率分别达到 95.99% (I-69 杨) 和 81.51% (I-72 杨), 集约经营的林分优势高比粗放经营的高出 15% 左右。

**3.1.4 土壤养分特征** 本文仅讨论土壤有机质、全氮、速效磷、速效钾及 pH 值。分析表明, 影响杨树生长的主要养分因子是速效钾和 pH 值, 贡献率速效钾为 79.81% (I-69 杨) 和 39.01% (I-72 杨); pH 值为 13.21% (I-69

杨) 和 50.64% (I-72 杨), 而其余 3 个养分因子的贡献率均未超过 10%。但总的来看, 以这 5 个因子构成的综合养分因子与杨树生长的关系不甚密切, 复相关系数仅 I-72 杨 7 年生达显著水平, 其余均不显著 ( $R < 0.35$ ,  $n = 85$ )。由此可认为, 在目前的土壤水气条件下, 至少是树龄不大于 10 年生时, 养分不构成杨树生长的限制性因子。

### 3.2 综合因子贡献率分析

在 4 个综合因子之间, 土壤有效水分是本区杨树生长的主要综合因子, 其贡献率两个无性系分别达到 44.56% (I-69 杨) 和 34.09% (I-72 杨), 土壤养分贡献率最小, 仅分别为 10.86% (I-69 杨) 和 13.22% (I-72 杨)。物理性状和通气性状比较接近, 各为 24% 左右; 不同树龄综合因子的贡献率大小顺序基本一致, 表明综合因子对杨树生长的作用具有较高的稳定性 (表 2)。

表 2 综合因子贡献率表 (%)

Tab.2 Contribution percentage (CP) of synthetic factors on I-69/55 and I-72/58 (%)

综合立地因子 Synthetic site factor	无 性 系 Clones									
	I-69/55					I-72/58				
	树 龄* Tree age				平均 Mean	树 龄 Tree age				平均 Mean
	5	7	8	10		5	7	8	10	
有效水分 Moisture availability	43.65	46.19	44.48	43.93	44.56	31.49	35.54	34.76	34.57	34.09
物理性状 Physical condition	20.98	18.98	20.20	20.69	20.21	28.49	25.42	30.17	27.70	27.95
通气性状 Aeration	27.37	23.71	22.02	24.35	24.36	30.82	24.22	20.66	23.27	24.74
土壤养分 Nutrients	8.00	11.12	13.30	11.02	10.86	9.20	14.83	14.41	14.45	13.22

注\* 树龄 = 林龄 + 1 Tree age = Stand age + 1.

表 3 立地因子总体贡献率表 (%)

Tab.3 Total CP of soil-site factors on I-69/55 and I-72/58 (%)

无 性 系 Clones	水淹程度 Flooding	微地形 Microtopography	地下水位 Ground-water level	质地 Soil texture	结 构 Soil structure	容 重 Volume weight	硬 度 Soil hardness
I-69/55	27.69	9.14	7.73	5.34	13.94	1.01	-0.11
I-72/58	16.23	10.26	7.59	3.37	22.56	2.05	-0.04
无 性 系 Clones	经营程度 Management level	孔隙度 Porosity	有机质 Organic matter	全 氮 Total N	速效磷 Exchangeable P	速效钾 Exchangeable K	pH
I-69/55	23.38	0.97	0.28	0.42	-0.25	8.97	1.48
I-72/58	20.17	4.57	0.20	1.12	0.45	5.16	6.69

表 4 I-69 杨立地因子贡献值表(m)

Tab.4 CV table of site factors on I-69/55 dominant tree height (m)

综合因子 Synthetic factors		有效水分 Moisture availability				物理性状 Physical condition					
树龄* Tree age		5	7	8	10		5	7	8	10	
综合因子贡献率CP of SF		43.65	46.19	44.48	43.93		20.98	18.98	20.20	20.69	
水淹程度	—不水淹	5.37	6.85	7.20	7.58	土壤质地	—壤 土	1.09	0.91	1.43	1.91
	—偶尔水淹	4.53	5.66	6.27	6.52		—砂 土	0.92	0.75	1.25	1.64
	—经常水淹	3.37	3.87	4.85	4.83		—粘 土	0.69	0.51	0.97	1.22
子因子贡献率(%)		67.41	64.48	62.12	54.51		28.58	20.81	27.20	29.17	
微地形	—凸地排水	1.62	2.49	2.38	3.05	土壤结构	—粒 状	2.38	3.36	3.74	4.33
	—平地排水	1.37	2.06	2.07	2.62		—块 状	2.01	2.77	3.26	3.72
	—凹地排水	1.02	1.41	1.61	1.94		—单粒状	1.49	1.90	2.52	2.76
子因子贡献率(%)		20.39	23.45	20.56	17.66		62.11	76.94	71.12	66.13	
地下水位	—51-250cm	0.97	1.28	2.01	3.87	土壤容量	—1.30—1.45	0.38	0.13	0.13	0.30
	—>250cm	0.82	1.06	1.75	3.32		—1.20—1.30	0.32	0.11	0.12	0.26
	—<50cm	0.61	0.72	1.35	2.46		—>1.45	0.24	0.08	0.09	0.19
子因子贡献率(%)		12.17	12.06	17.20	27.81		9.89	3.08	2.52	4.60	
						土壤硬度	—2.40—3.00	-0.01	-0.02	-0.03	0.00
							—<2.40	-0.02	-0.03	-0.04	0.00
							—>3.00	-0.02	-0.04	-0.05	0.01
子因子贡献率(%)								-0.61	-0.86	-0.86	-0.08

综合因子 Synthetic factors		有效养分 Nutrients				通气性状 Aeration					
树龄* Tree age		5	7	8	10		5	7	8	10	
综合因子贡献率CP of SF		8.00	11.12	13.30	11.02		27.37	23.71	22.02	24.35	
速效钾	—>40ppm	1.01	2.17	2.64	2.60	经营程度	—集 约	4.63	5.29	5.62	7.43
	—10—40ppm	0.85	1.79 <sup>c</sup>	2.30	2.23		—中 等	3.90	4.37	4.89	6.38
	—<10ppm	0.63	1.23	1.78	1.66		—粗 放	2.91	2.99	3.79	4.73
		69.03	84.86	90.82	74.52		92.63	97.04	97.94	96.34	
pH	—8.0—8.5	0.41	0.31	0.57	0.34	孔隙度	—<45—50%	0.61	0.17	0.11	0.29
	—7.0—8.0	0.34	0.26	0.50	0.29		—40—45%	0.52	0.14	0.10	0.24
	—<7.0	0.26	0.17	0.39	0.26		—<40,>55%	0.38	1.09	0.08	0.19
		27.85	12.07	16.52	9.64		7.35	2.95	2.04	3.65	
有机质	—>1.64%	0.04	0.06	0.11	0.08	<div>林分优势高 Stand dominant height I: 18.25 23.01 26.06 31.66 II: 15.40 19.00 22.68 27.21 III: 11.47 13.00 17.57 20.17</div>					
	—0.83—1.64%	0.03	0.05	0.10	0.07						
	—<0.83%	0.02	0.03	0.08	0.05						
		2.60	2.20	3.26	2.20						
全氮	—>0.13%	0.02	0.12	0.16	0.50						
	—0.05—0.13%	0.02	0.10	0.14	0.43						
	—<0.05%	0.01	0.07	0.11	0.32						
		1.34	4.59	4.61	14.28						
速效磷	—>13ppm	-0.01	-0.05	-0.10	-0.01						
	—4—13ppm	-0.01	-0.08	-0.02	-0.02						
	—<4ppm	-0.01	-0.09	-0.14	-0.02						
子因子贡献率(%)		-0.84	-3.71	-4.13	-0.67						

\* 树龄 = 林龄 + 1

Tree age = Stand age + 1

#### 4 立地因子总体贡献率分析

立地因子总体贡献率反映了在研究的14个立地因子之间直接比较时,各因子的相对重要性(表3)。

结果表明:(1)影响两无性系生长的主要立地因子是一致的,包括水淹程度、经营程度、微地形、地下水位、质地、结构和pH值,其累积贡献率达90%以上;(2)无性系不同,其主要立地因子贡献率大小顺序有差异。I-69杨的顺序为水淹程度(27.69%)>经营程度(23.38%)>结构(13.94%)>微地形(9.14%)>地下水位(7.73%)>质地(5.34%)>pH值(1.48%);I-72杨为结构(22.56%)>经营程度(20.17%)>水淹程度(16.23%)>微地形(10.26%)>地下水位(7.59%)>pH值(6.69%)>质地(3.37%)。

#### 5 立地因子贡献值表

立地因子贡献率与林分优势高之积为该立地因子对林分优势高的实际贡献值。将林分优势高划分为3个等级,相应地把每个立地因子也划分为3个等级,3个等级的林分优势高分别与立地因子贡献率相乘,其值分别为该立地因子3个等级的贡献值,以此编制立地因子贡献值表(表4)。

立地因子贡献值表既可用于有林地林分生长和无林地立地质量的评价,因而具有数量化立地指数表的功能,也可用于对立地因子进行全面地比较分析,找出主要因子,进而划分立地等级,因而又具有地位级表的功能。但从实用性而言,该表的主要目的在于为系统地评价立地因子对杨树生长的作用规律提供方便。

#### 6 结 论

##### 6.1 影响长江中游平原地区黑杨派南方型无

性系(I-69/55、I-72/58)生长的主要综合立地因子是土壤有效水分,其次是物理性状、通气条件。在目前的土壤水气条件下,至少是树龄不大于10年生时,土壤养分不构成本区杨树生长的限制因子。

6.2 影响杨树生长的主要立地因子有:水淹程度、微地形、地下水位、经营程度、土壤质地、土壤结构和pH值。其累积贡献率达90%以上,两无性系的7个主要立地因子贡献率大小顺序有差异。

6.3 分别无性系编制的立地因子贡献值表具有数量化立地指数表和地位级表的双重功能,然而,其作用主要在于为从全局上系统和直观地分析和认识土壤因子对南方型无性系生长的影响。

#### 参 考 文 献

- 1 吕士行等.1989.南方型无性系立地质量评价的研究,黑杨派南方型无性系速生丰产技术论文集.学术期刊出版社,北京,12—21.
- 2 吕士行等.1989.杨树造林的几个主要技术问题.黑杨派南方型无性系速生丰产技术论文集.学术期刊出版社,北京,31—41.
- 3 莫惠栋.1984.农业试验统计.上海科学技术出版社,上海.
- 4 李贻铨等.1983.黄淮海及长江中游平原土壤与杨树生长关系的初步研究.林业科学,19(1):1—13.
- 5 Baker, J.B. and Broadfoot, W.M.1976.Soil requirements and site selection for *Aigeiros* poplar plantations. In Proc.Symposium on Eastern Cottonwood and Related Species, 328—341.
- 6 Eui Rae Noh,1982.A method for evaluating site suitable to *Populus alba*×*P. glandulosa* F<sub>1</sub> clones using path analysis. In Research Report of the Institute of Forest Genetics. No. 18, 113—155 (Abst. in English).
- 7 Simmons, G.L.1988.Development of a root growth model for yellow-poplar and sweetgum seedlings grown in compacted soil. Can.J.For.Res., 18:728—732.