

华北落叶松生态适应性的 定量分析与评价^{*}

李建国 陈国海

贺庆棠 邵海荣

(中国林业科学研究院林业研究所, 北京, 100091)

(北京林业大学, 北京, 100083)

A

摘要 本文根据华北落叶松分布和生产力的变化规律, 确定了其气候生态指标和数值。根据生态因子间相互作用规律原理, 提出了分析与评价华北落叶松生态适应性的数量化指标体系, 包括热量指数 GTI, 水分指数 GMI, 水热指数 GMTI。这一指标体系能够定量评价华北落叶松的生态适应性。本文应用水热指数 GMTI 对其天然分布区生态适应性等级作了定量划分, 结果与实际情况相符。

关键词: 华北落叶松, 气候生态指标, 生态适应性, 数量化评价指标体系, 区划。

定量分析

QUANTITATIVE ANALYSIS AND EVALUATION OF LARIX PRINCE RUPPERCHT'S ECOLOGICAL ADAPATION

Li Jian'guo Cheng Guohai

He Qingtang Shao Hairong

(The Research Institute of Forestry CAF, Beijing, China, 100091) (Beijing Forestry University, Beijing, China, 100083)

Abstract In this paper, according to principles of Prince Rupprecht's distribution and productivity, it's climatic ecological indices were determined. The quantiative index system was established to analyze and evaluate the ecological adaptation of Larix Prince Rupprecht. It includes the Growth-Therm-Index (GTI), the Growth-Moisture-Index (GMI) and the Growth-Moisture-Therm-Index (GMTI). GMTI was applied to classify the ecological adaptation of the natural distribution area of Larix Prince Rupprecht and the result was supported by the observation.

Key words: Larix Prince Rupprecht, climatic ecological index, quantiative index system, classification.

树种的生态适应性研究, 一直是森林生态学的重要内容, 国内外对此均作了大量研究^[1-4]。生态适应性研究的任务有 2: ①确定影响树木生长发育和分布的生态条件及其变化规律; ②是选择恰当模型描述生态因子间的相互作用规律。目前的研究多集中于探讨影响树种生长、发育和分布的生态因子, 并对其时空分布规律作出探讨^[3], 但主要是概括其生

* 收稿日期: 1993 07 19, 修稿收到日期: 1995 02 10。

态适应的范围和数值。由于气象资料的短缺,对于森林上限树种,只能大约估计^[1,2]。而有关根据生态因子间相互作用规律,建立其生态适应性数量化模型,进而揭示其对树种影响的规律尚未见报道^[4]。

本文在实测气象资料的基础上,建立了推算华北落叶松(*Prince Rupprecht*)分布区内各地气象条件的统计方程,进而推算其气候生态条件,并根据生态因子间对树木发生作用的规律,尝试建立了评价其气候生态适应性的数量化理论模型。并对模型的应用作了探讨。它是合理规划树种发展的基础。

1 研究方法

本项研究在华北落叶松天然分布区各主要林区中未经人为破坏,病虫害较轻的天然林中布设标准地,同时还搜集了有关资料,选取林分每公顷蓄积量年生长量作生产力指标。

根据在华北落叶松天然分布区内各气象站所搜集的资料,采用统计相关法对其分布区各气象要素作了推算,进而得到其气象生态指标的范围。所有资料均是 10 a 以上的台站资料。

在此基础上,根据生态因子间相互作用的规律,建立了生态适应性的数量化评价指标体系。

2 研究结果与分析

2.1 华北落叶松分布区气象要素的推算

由于华北落叶松是森林上限树种,须根据现有台站的气象资料对其实际气象条件作出推算。为此,建立了推算其气象要素的统计方程。结果见表 1、2。推算的因子主要有水分和热量因子。因为热量受地形条件的影响较降水小,所以分 3 片分别建立各要素随海拔条件变化的方程。而降水则按不同山体建立随高度变化的方程,并限定了推断的海拔范围。并对推断结果进行了检验,结果良好。

表 1 降水量订正表

Table 1 The correcting graph of rainfall

地 点 Places	相关方程 Progression	相关系数 Correlation- coefficient	危险率 α	显著程度 Significance	样本数 n	适宜海拔范围(m) Altitude range
关帝山区 Guandi mountain	$P=139.08-0.39 \times H$	0.96	0.001	* *	10	1000—2600
管涔山区 Guanqin mountain	$P=205.47+0.22 \cdot H$	0.872	0.01	* *	11	1000—2500
太岳林区 Taiyu mountain	$P=289.41+0.27 \cdot H$	0.95	0.01	* *	12	1400—2300
恒 山 Hengshan mountain	$P=35.85+0.31 \cdot H$	0.94	0.01	* *	15	1200—2300
五台山 Wutai mountain	$P=262.22+0.20 \cdot H$	0.97	0.001	* *	10	1100—2800
百花山 BaiHua mountain	$P=347.55+0.16 \cdot H$	0.87	0.01	* *	8	1400—2300

注: * * 表示极显著

表 2 热量要素订正表(各月平均气温的高度递减率 Δ 和 R 值)Table 2 The correcting graph of therm elements (Δ and R of the mean temperature of each month)

月 份 Month	山西片(Shanci area)			河北片(Hebei area)		
	太岳山 Taiyue	管涔山 Kuanqin	关帝山 Kuandi	恒山 Hen shan	五台山 Wutai	敖包山 Aobao
	mountains			mountains		
	Δ ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$)	R		Δ ($^{\circ}\text{C}/\text{m}$)	R	
1	-0.0045	-0.96		-0.0055	-0.98	
2	-0.0055	-0.98		-0.0055	-0.96	
3	-0.0058	-0.98		-0.0054	-0.98	
4	-0.0061	-0.97		-0.0053	-0.98	
5	-0.0001	-0.95		-0.0058	-0.98	
6	-0.0071	-0.99		-0.0060	-0.98	
7	-0.0066	-0.99		-0.0059	-0.98	
8	-0.0064	-0.98		-0.0055	-0.99	
9	-0.0058	-0.97		-0.0055	-0.99	
10	-0.0053	-0.98		-0.0059	-0.99	
11	-0.0048	-0.97		-0.0056	-0.95	
12	-0.0044	-0.97		-0.0052	-0.95	
$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温	-1.5993	-0.97		-1.5993	-0.99	
$\geq 0^{\circ}\text{C}$ accumulated temperature						
年平均气温	-0.0057	-0.99		-0.0056	-0.97	
Annual mean temperature						

2.2 华北落叶松气候生态指标的确定

经推算得到华北落叶松天然分布区的气候条件,以全分布区最低的下限和最高的上限之间的气候幅度作为其气候生态适应范围,但这只是华北落叶松的一般气候要求,并不能作为其气候生态指标。通过研究分布下限及生产力与不同的水热因子的关系发现,进入逐步回归方程的只有最冷月(1月)平均温度、最热月(7月)平均温度,年 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的积温,温暖指数,年降水量和湿度指数。因此,以上述6个影响华北落叶松分布和生长的主导因子作为其气候生态指标。和半峰完公式^[2]计算其最适范围,以其天然分布中生产力最高点的关帝山海拔2200 m处的气象要素值作为最适值,得到了华北落叶松气候生态指标及其数值,列入表3。

表 3 华北落叶松气候生态指标

Table 3 The climatic ecological parameters of prince rupprecht

项 目 Items	最热月平 均温度($^{\circ}\text{C}$) Mean temperature of hottest month	最冷月平 均温度($^{\circ}\text{C}$) Mean temperature of coldest month	温暖指 数($^{\circ}\text{C}$) Warm index (WI)	$\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的年积 温($^{\circ}\text{C}$) $\geq 0^{\circ}\text{C}$ Accumulated temperature	年降水 量(mm) Annual rainfall	湿度指数 Humidity index (HI)
一般范围 Common range	10.9—18.7	-20.1—-11.3	38—82	751—2990	465—1000	5.7—26.8
最适范围 Adaptable range	13.9—17.3	-17.2—-14.5	65—71	1239—2058	818—1000	8.6—14.2
最适值 Adaptable value	14.9	-15.6	63	1870	950	15.2

表 3 中的温暖指数 WI 和湿度指数 HI , 是为了研究华北落叶松的水热条件而提出来的。其中, 温暖指数 WI 是指全年月平均大于 0°C 的累积温度, 其计算公式如下:

$$WI = \sum_{i=1}^{12} (Ti) \quad (1)$$

上式中 $i=1, 2, \dots, 12$; Ti 为各月大于 0°C 的月平均温度。湿度指数 HI 为由降水量和温暖指数而确定的大气温度指标, 其计算公式为:

$$HI = P/WI \quad (2)$$

上式 P 为分布点的年降水量, WI 为温暖指数。

2.3 华北落叶松生态适应性的定量分析与评价

2.3.1 基本原理 生态适应性范围内, 生态条件的变化对树木生长的作用是不一样的。这种变化在地理分布上具有区域性。在特定的分布区内, 树木的生长量与树种的生物学特性和水热条件都有关系。实际观察到的林木生长量是林木在其可能潜在生长量基础上经过各种不良环境条件综合作用后所能达到的数值。所以, 可以用分布区相应的水热条件的变化表达生产力的差异, 它们之间的关系可以用下式表达:

$$G = G_{\max} \cdot F(\theta_1, \theta_2) \quad (3)$$

上式中, G 为树木在某一特定分布区的生长量, $G_{\max}$ 为由树种生物学特性决定的最大生长量, $F(\theta_1, \theta_2)$ 为树木生长的水热指数, (θ_1 为热量因子, θ_2 为水分因子), 其值在 0—1 之间变动。所以, 分析和研究生态适应性的关键是确定 $F(\theta_1, \theta_2)$ 的具体形式及数值。

根据生态因子间相互作用规律以及其对树木生长和分布的影响规律, 生态适应性的数量化评价模型应满足以下几个条件: A: 模型中水热条件的代表因子应是影响树种生长和分布的关键因子。B: 能够体现水热条件的地理变异规律。C: 能够反映水热因子间相互作用规律, 即综合的水热作用随单一水、热条件的变化规律, 以及水热条件的互补变化规律。为此目的, 本文首先建立评价华北落叶松生态适应性的热量和水分指数, 然后建立其水热评价指数。

2.3.2 华北落叶松生态适应性数量化评价指标体系的建立

2.3.2.1 华北落叶松热量评价指数的建立 首先选取影响华北落叶松分布和生长的主导因子 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的年积温, 假设生态适应的上、下限处的热量指数为 0, 而最适处其值为 1, 选取下述模型对热量进行评价, 模型的表达式如下:

$$F(\theta_1) = GTI = \frac{4(DEGD_{\max} - DEGD)(DEGD - DEGD_{\min})}{(DEGD_{\max} - DEGD_{\min})^2} \quad (4)$$

上式中, $DEGD$ 为树木所在地 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 的年积温, $DEGD_{\max}$, $DEGD_{\min}$ 分别为 $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 年积温范围的上、下限值, $DEGD_{\max} = 2990^{\circ}\text{C}$, 而 $DEGD_{\min} = 750^{\circ}\text{C}$ 。此时, $GTI = 0$, 而最适处的 $DEGD = 1/2(DEGD_{\max} + DEGD_{\min}) = 1870^{\circ}\text{C}$, 此时 $GTI = 1$, 该模型满足条件 A 和 B, 并与实际情况相符, 具体结果见表 4。

2.3.2.2 华北落叶松水分评价指数的建立 同理, 应用限制华北落叶松分布和生长的主导水分因子湿度指数建立其水分评价指数, 假设最适处的水分指数为 1, 上、下限处的水分指数为 0, 则水分指数用下式表达:

$$F(\theta_2) = GMI = \frac{4(HI_{\max} - HI)(HI - HI_{\min})}{(HI_{\max} - HI_{\min})^2} \quad (5)$$

上式中, HI 为华北落叶松树木所在地的湿度指数, $HI_{\max}$ 为其适应范围的上限值(26.8), $HI_{\min}$ 为下限值(5.7)。此时, $GMI=0$, 最适处 $HI=1/2(HI_{\max}+HI_{\min})=15.2$, 且 $GMI=1$, 具体结果见表 4。模型(5)式也符合条件 A 和 B。

2.3.2.3 华北落叶松水热评价指数的建立 水分和热量综合作用于树木的分布和生长。二者对树木的作用具有一定的互补性, 但这种互补作用是有限度的, 只有在一定范围内才起作用, 只有在二者配合达到最佳时, 树木才能有最大生长潜力, 其中一个条件非常不适合的时候, 树木不可能正常生存和生长。根据这一原理, 水热指数如下式:

$$F(\theta_1, \theta_2) = GMTI = F(\theta_1) \cdot F(\theta_2) = GTI \cdot GMI \quad (6)$$

因为 GTI 和 GMI 的数值在 0—1 之间变化, $GMTI$ 亦在 0—1 之间变化, 天然分布区水热指数的分布列入表 4。在最适的水分和热量条件下, $GMTI=1$, 而在边缘处, 水热指数为 0。此时, 水分和热量指数均为 0。以上分析看出, $GMTI$ 满足 A、B、C 等 3 个主要条件。它充分表达了华北落叶松的综合水热条件。

表 4 华北落叶松天然分布区 GTI 、 GMI 、 $GMTI$ 值

Table 4 The value of GTI 、 GMI 、 $GMTI$ of prince rupprecht's distribution area

地 点 Palaces	项 目 Items	上 限 Upper limit	最适值 Adaptable value	下限值 Lower limit
管涔山 <i>Guangin mountain</i>	GTI	0.27	0.98	0.67
	GMI	0.76	0.87	0.32
	$GMTI$	0.21	0.85	0.21
关帝山 <i>Guandi mountain</i>	GTI	0.49	1.00	0.67
	GMI	0.49	1.00	0.64
	$GMTI$	0.28	1.00	0.43
五台山 <i>Wutai mountain</i>	GTI	0.00	0.96	0.49
	GMI	0.00	0.79	0.19
	$GMTI$	0.00	0.76	0.10
恒 山 <i>Hengshan mountain</i>	GTI	0.94	1.00	0.49
	GMI	0.90	0.85	0.25
	$GMTI$	0.85	0.85	0.12
太岳山 <i>Taiyue mountain</i>	GTI	0.94	0.98	0.92
	GMI	0.97	0.95	0.61
	$GMTI$	0.91	0.93	0.56
雾灵山 <i>Wulin mountain</i>	GTI	0.92	0.86	0.49
	GMI	0.57	0.51	0.29
	$GMTI$	0.52	0.44	0.14
围 场 <i>Weichang mountain</i>	GTI	0.67	0.68	0.00
	GMI	0.21	0.21	0.00
	$GMTI$	0.14	0.14	0.00

2.4 华北落叶松水热指数的生态学意义

根据水热指数的计算模型, 绘制了 $GMTI$ 与 HI 及 $\geq 0^\circ\text{C}$ 年积温的三维关系图(图 1)从图可见, 当 $GMTI$ 的值较高时, 其等值线呈似圆形, 说明在此范围内温湿之间有较明显的互补作用; 当 $GMTI$ 值很小时, 其等值线趋于方形, 说明温湿之间的互补作用在减弱, 而较差的生态因子越来越起到较大的限制作用, 这揭示了生态因子的综合作用规律随单一生态因子的改变而发生变化的矛盾转移, 这就体现了温湿互补的动态变化规律, 它说明, 水分和热量对树木生长和分布作用的相关性, 这种相关性不是固定不变的, 而是随环境条件的变化而发生改变。所以, 用水热指数这一定量化的数学模型不但能揭示影响树木生长

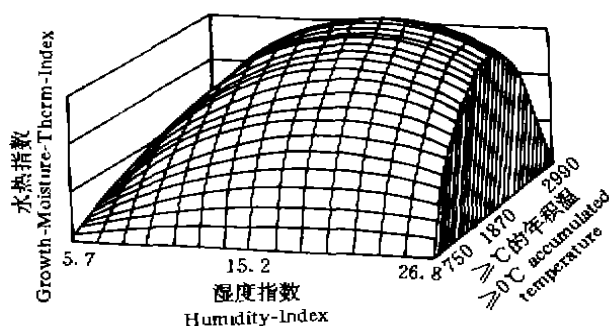


图1 水热指数与湿度指数和
≥0℃年积温的三维关系图

Fig. 1 Relationship among Growth-Moisture
-Therm-Index, Humidity-Index and
≥0℃ accumulated temperature

数 $n=16$, 经 F 检验结果显著。从上述模型可以看出, 随水热条件变好, 其生产力呈指数式增加, 这似乎与(3)式相矛盾, 其实不然。在(3)式中, G_{max} 为潜在的最高生产力, 而(7)式中, y 为林分的实际生产力。用(7)式可以预测其生产力变化。

2.5.2 华北落叶松天然分布区生态适应性等级的划分 因为水热指数综合反映了华北落叶松的水热条件, 可用它划分其天然分布区生态适应性等级, 根据 $GMTI$ 值的大小及温湿之间互补规律, 划分 3 个等级, 1 级区(最适宜区)的值为 0.85—1.00, 该区水热搭配最佳, 互补明显。3 级区(一般区)的 $GMTI$ 为 0.00—0.49, 该区水热互补不明显。2 级区(适宜区), 水热指数 $GMTI$ 为 0.50—0.84, 水热互补介于上述二区之间。据此划分华北落叶松天然分布区生态适应性等级, 具体结果见图 2, 同时给出各级区的具体情况(见表 5)。

从区划结果看, 山西省除恒山林区外, 均属最适区, 它构成了我国华北落叶松的主体, 生产力高, 在生产和经营上均具有重要的战略意义。河北省大部属于适宜区范围内。冀北山地、内蒙古敖包山, 北京的百花山, 大马群山属于边缘区, 只有零星分布, 生产力低, 急需人工恢复, 并妥善保存种质资源。以上区划结果, 从水热状况出发, 形成的分异与其它因子, 特别是生产力的分异是一致的, 也与生产实践中所形成的共识一致。

(包括生产力)和分布的主导因子, 亦能揭示在其生态适应范围内, 主导因子的地理变化规律及其相互影响、相互制约、相互补充的动态变化规律, 它不同于以往对生态适应性的静态分析与描述, 也不同于以往只是描述其生态适应幅度而描述了生态适应幅度内的变化规律。

2.5 水热指数的应用

2.5.1 水热指数和生产力的关系

华北落叶松水热指数和生产力之间的关系符合如下关系:

$$y = 173 \times 1.67^x \quad R = 0.85 \quad (7)$$

式中, y 为生产力, 其单位是 m^3/hm^2

· a ; x 为水热指数, 建立方程的样本

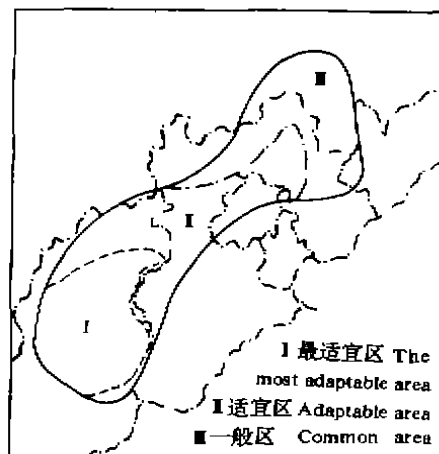


图2 华北落叶松天然分布区生态
适应性等级类型示意图

Fig. 2 Sketch map of ecological
adaptation division of *Larix Prince
rupprechtii*'s natural distribution area

表 5 各级区主要指标值

Table 5 The parameters of difference distribution regions for prince rupprecht

项 目 Items	最适区 The most adaptable area	适宜区 Adaptable area	一般区 Common area
水分指数 Growth-Moisture-Index	0.92—0.99	0.69—0.92	0.16—0.62
热量指数 Growth-Therm-Index	0.92—0.99	0.85—0.99	0.25—0.85
水热指数 Growth-Moisture-Therm-Index	0.88—1.00	0.69—0.82	0.04—0.49
≥0℃的年积温度(℃) ≥0℃ Accumulated temperature	1551—1870	1790—2310	2270—2838
湿度指数 Humidity-Index	13.2—15.2	10.3—13.3	6.6—9.6
最热月平均温度(℃) Mean temperature of hottest month	13.9—14.9	14.8—16.6	16.1—16.4
最冷月平均温度(℃) Mean temperature of Coldest month	-17.2—-14.5	-18.6—-19.3	-19.5—-20.1
年总降水量(mm) Annual rainfall	717—955	672—695	502—633
温暖指数(℃) Warm-Index	52.3—66.0	58.8—69.4	61.6—76.6
生产力(m ³ /hm ² ·a) Productivity	12.9—20.0	8.9—10.3	8.8

3 基本结论与讨论

3.1 本文给出了华北落叶松气候生态指标及其数值,它表达了华北落叶松的气候生态要求。

3.2 本文建立了定量评价华北落叶松生态适应性的指标体系,包括热量指数,水分指数和水热指数。该指数体系考虑了其水热条件的空间变异及水热因子相互作用规律,能恰当评价其水热要求,同时也反映了水热条件的动态变化规律。

3.3 本文应用水热指数对华北落叶松的生态适应性作了等级区划,结果与实际情况相符。

3.4 本文提出和建立的华北落叶松生态适应性数量化评价模型,只考虑了水热因子。但是,影响其分布和生长的其它因子仍在发生作用。如何修正和补充使之进一步完善,须作进一步的工作。生态适应性等级区划也过于定性化,进一步的工作当与地理信息系统结合,拓展其应用的精度和广度。

参 考 文 献

- 1 徐化成. 油松天然林地理分布和种源区划分. 林业科学, 1981, 3(2): 108—124
- 2 徐文铎. 中国东北主要植被类型的分布与气候的关系. 植物生态学与地植物学学报, 1996, 4(4): 254—262
- 3 张士增. 红松的生长与气候生态因子的关系研究. 植物研究, 1988, 6(4): 161—162
- 4 Putman R J. *Principle of ecology Groom Helm*. London and Canberra, 1984