

159-169

19658(6)

第17卷第2期
1997年3月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 17, No. 2
Mar., 1997

生态梯度轴(EGA)区划林木育种区的研究

顾万春 李斌 郭文英 胡新生 阎洪 游应添 国丰富

(中国林业科学研究院林研所, 北京, 100091)

(林业部种苗工作站)

A

摘要 对全国 678 个样点统一选用 15 个生态因子, 包括地理坐标(X)3 个变量, 气象因子(Y)12 个变量。进行因子相关分析(CA), 典型相关检验, 选择第 1 典型变量(CA_1)的坐标 2 元数据, 跟进采用主成分分析(PCA)。根据主成分贡献大小, 确定第 1 主成分对应的样点 1 元坐标为综合生态梯度轴(值), 即 EGA($CA_1 \rightarrow PC_1$)。绘制样点生态梯度轴等值线图, 同时, 将 678 个样点生态梯度值(Y)与对应经度(X_1)、纬度(X_2)和海拔高(X_3)建立多项式回归, 利用计算机绘制“中国生态梯度图”, 依据 EGA($CA_1 \rightarrow PC_1$)等值线图与生态梯度图定量区划林木育种区, 并根据区划原则进行拟合与校正。最终将全国区划为 10 个林木育种大区, 31 个基本区, 97 个育种区和 74 个(A 级)亚区。

关键词: 林木育种区, 生态梯度轴, 区划, 因子相关分析(CA), 主成分分析(PCA)。

FOREST TREE BREEDING REGIONALIZATION ON THE BASIS OF ECOLOGICAL GRADIENT AXIS(EGA)

Gu Wanchun Li Bin Guo Wenying Hu Xinsheng Yan Hong

(The Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing, 100091)

You Yingtian Guo Fengfu

(The General Station of Forest Farm and Nursery, Ministry of Forestry)

Abstract At each of 678 sampling locations in China, 15 ecological factors, including 3 geographical factors(x) and 12 climatic factors(y), were selected and subjected to the canonical analysis(CA). The coordinate values of the first canonical variable were chosen and subjected further to principle component analysis(PCA) if the canonical correlation was significant at 0.01 level. The sample locations' coordinate values of the first principle component were taken as comprehensive ecological gradient axis, namely EGA(CA_1-PC_1), according to the contribution of principle components. The isogram of the ecological gradient axis(EGA) was drawn out. Meanwhile the multinomial regression of the sample locations' EGA values against their correspondent longitude(x_1) and latitude(x_2) and altitude(x_3) in built. Then the ecological

- 该项研究是林业部重点课题“中国林木育种区划”(90-01-02)的研究内容, 同时是“八五”国家科技攻关“林木种质资源保存与利用研究”(85-018-01-16)专题的主要研究内容之一。

收稿日期: 1994-10-24, 修改稿收到日期: 1995-11-10。

gradient map of China was plotted by computer according to the isogram and the multinomial regression equation. The forest tree regionalization was quantitatively conducted on the basis of the map and the result of regionalization was further fitted and corrected in accordance with the principles of regionalization. Finally, the whole county was divided into 10 forest tree breeding region groups which were further subdivided into 97 breeding regions, 74 sub-regions, and 31 forest tree breeding basic regions for arranging the forest breeding trials.

Key words: forest tree breeding region, regionalization, ecological gradient axis, canonical analysis(CA), principle component analysis(PCA).

林木育种区的区划是遵从气候分类、地理分类及森林树种为主的地植物分类等自然规律,兼顾行政区划和技术经济发展而进行的人为划分。通过区划,分别地域和生态条件,确定特定地理空间上的树种组合的遗传改良策略,研究育种技术体系及其配套良种繁育技术,寻求遗传与环境的最佳搭配;利用良种、环境与营林措施等配套技术提高营林生产力。因此,林木育种区的区划是为营林生产服务,是适应我国新时期林木育种研究与良种事业的重大课题。

1 研究方法

1.1 研究背景(生态梯度的意义)

林木种群分布多数呈随机方式沿复合环境梯度而散布,群体间相互关系依从于环境梯度而排列(1,2)。每个树种以自己的遗传、生理以及对环境的反应的方式而分布着。Lan-gee 最早发现梯度变异,后人将梯度变异解释为最适性状的产物,是基因的可变选择使基因频率沿平行的生态梯度作有规律变化的群体变异^[3]。Wgittaker 提出了生态距离(Ecological distance)作为群体隔离原因之一,并例证了群体结构随着环境的变化而变化^[2,4]。这就是说,分布广域的林木种群的连续变异,即长期由自然选择形成和保持的梯度变异,是生态梯度作有规律变化所引起的。生态梯度是研究林木群体变异及生态遗传学的重要内容和依据,是科学指导林木遗传改良和良种事业的前提,也是林木育种区划的决定因素。

生态梯度是由地理坐标、气象因子、土壤因子以及林木植物等多因素构成的环境空间有实际生态含义的量值连续阶梯。目前,国内外尚未找到准确、完整地表征生态梯度量值的生态梯轴的方法^[1~6];近几年顾万春等在白榆(*Ulmus pumilus*)种源变异研究中采用主要生态因子定量表征生态梯度轴(EGA)技术进行了研究尝试^[4,5,7],用于生态遗传分析取得结果。本文研究是利用生态梯度等值线图 and 生态梯度地图区划中国林木育种区。

1.2 研究生态梯度轴(EGA)的原则与方法

科学地估算生态梯度(轴)量值,首要问题是选取适宜的生态因子。林木育种区划中估算生态梯度轴,选择生态因子的原则是:全国统一规范并且可靠性高的数值因子,如反映地理坐标的纬度、经度和海拔高度,反映气候的温度、降水、生长期等。至于区域性的土壤因子、地貌因子以及树种生态反映等,因条件因子复杂,而且尚缺乏全国性的可比的统一度量,仅用于生态梯度定量区划之后的拟合与校正。

估算生态梯度轴数学方法的原则是:降维、简化和直观,又不失去数学方法的科学性。在前人工作基础上^[6,9],利用多元统计分析技术,使用典型相关分析(CA)与主成分分析

(PCA)方法,将每个地点的多元生态环境因子降维成1元数值,全国各地点的生态梯度转换成1维数据轴,即生态梯度轴(Ecological gradient axes)。英文缩写 EGA(CA→PC)。以下是估算过程简介。

将生态环境因子分为地理坐标(X)与气象生态因子(Y),根据典型相关分析,两组变量 X 与 Y 的每一个变量都不同,它们的线性函数关系,可以通过 X 与 Y 之间的线性相关来描述。考虑到 X 随机变量的回归问题是 Y 的投影, $E(\hat{Y})$ 写成 $\hat{P}(Y/X)$ 。 P 对典型相关变量(U_i, V_j)

$$\begin{aligned} Z &= U'X \\ W &= V'Y \end{aligned} \quad (1)$$

采用足够大容量的观测样本,并将生态因子数据中心化,进行典型相关分析。

在典型相关分析基础上,对第一对以至各对典型变量的典型相关系数进行显著性检验。检验临界值采用 Baltett(1977)给出的方法^[10,11]。

$$p\{-u\log w_1 \leq Z\} \approx P\{x_{11}^2 \leq Z\} \quad (2)$$

其中 $u = n - 1/2(p+1)$, $df_1 = p_1 \cdot p_2$ 同时,

$$W_r = \prod_{i=1}^{p_1} (1 - \lambda_i^2) \quad (3)$$

是样本数量, p_1 与 p_2 分别为 X 与 Y 变量数。而 $[-u\log w_r]$ 服从于自由度 df_1 的 χ^2 分布。经检第1典型变量的典型相关系数显著或极显著说明第1典型变量有价值;或者说, Z_1 与 W_1 的二维坐标能正确进行样本位点排序。

典型相关分析确认第1典型变量有价值之后,得到的 n 个样本 Z_1 与 W_1 的2元坐标数值,是2元变量,写作 X_1 与 X_2 的新数据组合。以下对新数据采用主成分分析(PCA),进行新的空间排序,根据主成分贡献大小,即第1主成分与第2主成分代表的信息量大小判别选择。主成分方差检验判别第1主成分的显著性^[7],或者根据主成分分析经验^[9,10],暂且规定第1主成分方贡献率70%以上作为选择第一主成分的标准。判别或选择后,第1主成分位点坐标1元(向量)数值作为代表各样本点的综合生态梯度的量值,称作生态梯度轴,即 EGA(GA→PC)。将全国678个样点的生态梯度值估算后,采用多项式回归,设任意地点的经度(X_1)和纬度(X_2)与 EGA(y)的回归;同时,采用拉普拉斯样条函数插值法^[12~16],依据678个样点的经度(X_1)、纬度(X_2)、海拔高(X_3)估算全国生态梯度 EGA(y),并绘制生态梯度地图和生态梯度等值线图。

1.3 生态环境因子选择

依据上述全国林木育种区划选择生态因子的原则,根据数据收集的难易,尽最大努力收集代表性强、稳定性高的样点数据。最终选择“中国地面气象”资料集中678个气象台站(样点)的1951~1980年资料。各样点均由15个生态因子组成,包括地理坐标:(1)北纬(WD), (2)东经(JD), (3)海拔高(HB);气象因子:(4)年均温(NJW), (5)年降水量(NJS), (6)1月均温(YPD), (7)7月均温(QPG), (8)小于40mm降水的干燥月数(HJ), (9)无霜期(FF), (10)绝对低温(JDW), (11)温暖指数(WI), (12)寒冷指数(CI), (13)温湿指数(MI), (14)日照时间(SUN), (15)≥10℃积温(JW)。为说明问题,678个样点中32个地点的15个生态因子列成表1。

表 1 全国 678 个气象台站中 32 个气象台站 1951~1980 年主要气象生态因子汇总表

Table 1 List of average meteorological datum from 1951 to 1980 samples which pick up from

678 meteorological observatories/stations in China

站名 Name of station	站号 No. of station	北纬 Latitude WD	东经 Longitude JD	海拔 Altitude HB	年均温 Annual mean temperature NJW	年降水 Annual precipitation NJS	1 月均温 Mean temperature in January YPD	7 月均温 Mean temperature in July QPG	干燥月份 Number of dry months EJ	无霜期 Frost-free days FF	绝对最低温 The lowest temperature JDW	温暖指数 Warmness index WJ	寒冷指数 Coldness index CI	湿度指数 Wetness index MI	日照时间 Annual sunny hours SUN	≥10℃ 有效积温 Available accumulated temperature JW
拉萨	11	29.70	91.13	3658.00	7.50	453.90	-10.20	21.70	8.00	137.30	-16.50	51.30	22.20	10.60	3007.70	2116.90
阿坝	26	32.67	102.23	3275.10	3.20	725.20	-16.20	19.80	6.00	33.40	-33.90	26.90	48.50	21.10	2351.90	681.90
成都	48	30.67	104.07	505.90	16.30	976.00	2.40	30.00	5.00	277.90	-4.60	135.40	0.00	16.10	1228.30	5107.20
昆明	93	25.02	102.68	1891.40	14.80	991.70	1.40	24.00	6.00	226.20	-5.40	117.80	0.00	17.20	2470.30	4490.30
贵阳	126	26.58	106.72	1071.20	15.30	1162.50	2.20	28.70	4.00	270.50	-7.80	123.50	0.10	19.80	1371.00	4637.50
西安	140	34.30	108.93	396.90	13.30	604.20	-5.00	32.40	5.00	207.70	-20.60	113.10	13.60	11.10	2164.90	4313.60
兰州	165	36.05	103.88	1517.20	9.10	331.90	-12.60	29.20	9.00	167.90	-21.70	82.90	33.90	7.20	2607.60	3242.00
西宁	190	36.58	101.92	2261.20	5.50	371.70	-15.40	24.40	7.00	129.70	-26.60	51.20	45.10	9.50	2762.00	2037.30
银川	216	38.48	106.22	1111.50	8.50	205.40	-15.00	29.60	10.00	168.80	-30.60	84.00	42.60	4.60	3039.60	3298.10
乌鲁木齐	241	43.57	87.10	2160.00	2.00	572.70	-20.30	29.60	12.00	155.80	-30.20	33.10	68.80	17.90	2733.60	3063.30
北京	272	39.80	116.47	31.20	11.60	682.90	-9.90	30.80	8.00	176.80	-27.40	105.20	26.40	13.30	2780.20	4118.10
石家庄	290	38.07	114.43	81.80	12.80	598.90	-7.80	31.90	8.00	195.30	26.50	113.60	19.70	11.20	2737.80	4415.00
洲里	310	49.57	117.43	666.80	-1.40	311.80	-29.00	25.70	9.00	116.50	-42.7	47.50	123.90	12.40	2868.60	1878.40
呼和浩特	345	40.82	111.68	1063.00	5.60	426.10	-18.90	28.10	8.00	129.90	-32.80	69.90	62.60	10.90	2970.50	2804.10
郑州	357	34.72	113.65	110.40	14.20	635.90	-4.70	32.40	5.00	215.40	-17.90	122.20	11.60	11.30	2385.30	4673.30

(续表 1)

台站 编号 No. of station	站名 Name of station	北纬 Latitude WD	东经 Longitude JD	海拔 Altitude HB	年均温 Annual mean temperature NJW	年降水 Annual precipitation NJS	1月均温 Mean temperature in January YPD	7月均温 Mean temperature in July QPG	干燥月份 Umount of dry months EJ	无霜期 frost-free days FF	绝对温 The lowest temperature JDW	温暖指数 Warmness index WJ	寒冷 指数 Coldness index CI	干湿指数 Wetness index MI	日照时间 Annual sunny hours SUN	≥10℃ 有效积温 Available accumulated temperature JW
381	武汉	30.63	114.07	23.30	16.30	1560.10	-0.90	32.00	2.00	238.60	-17.30	138.30	2.20	20.80	2058.40	5233.10
399	长沙	28.20	113.07	44.90	17.20	1422.40	1.60	34.00	0.00	274.80	-9.50	147.40	0.40	22.80	1677.10	5457.30
422	广州	23.13	113.32	6.30	21.80	1680.50	9.70	32.60	3.00	344.90	0.00	202.20	0.00	23.50	1906.00	7660.60
459	南宁	22.82	108.35	72.20	21.60	1280.90	9.60	33.00	4.00	341.90	-2.10	199.30	0.00	13.00	1827.00	7483.10
472	沈阳	41.77	123.43	41.60	7.70	755.40	-17.30	29.20	5.00	150.10	-30.60	87.60	55.60	17.40	2574.00	3400.40
497	长春	43.90	125.22	236.80	4.80	610.80	-21.60	27.90	7.00	146.30	-36.50	73.20	75.70	16.20	2643.50	2895.10
514	塔河	52.32	124.72	357.40	-2.80	428.20	-32.10	25.80	8.00	92.30	-45.80	42.10	135.80	19.10	2542.10	1660.20
538	哈尔滨	45.68	126.62	171.70	3.60	553.50	-24.80	28.00	8.00	140.90	-38.10	69.70	86.50	15.70	2461.00	2757.80
543	上海	31.17	121.43	4.50	15.70	1128.50	0.30	31.80	0.00	225.90	-9.40	130.20	2.10	19.00	2014.00	4958.40
553	南京	32.00	118.80	8.90	15.40	1026.10	-1.60	32.20	2.00	224.20	-14.00	129.20	4.80	17.50	2155.20	4889.10
567	金华	29.12	119.65	64.10	17.40	1404.80	1.60	34.40	0.00	256.90	-9.00	148.80	0.10	22.40	2062.60	5495.50
584	合肥	31.85	117.28	23.6	15.70	969.50	-1.20	32.40	2.00	227.30	-20.60	132.60	4.30	16.30	2163.30	5036.30
603	福州	26.08	119.28	84.00	19.60	1328.20	7.60	34.00	1.00	325.20	-1.20	175.40	0.00	19.80	1848.20	8505.00
630	赣州	25.83	114.83	123.80	19.40	1439.80	4.70	34.60	0.00	284.90	-6.00	172.00	0.00	21.60	1888.50	6150.30
648	青岛	36.15	120.42	16.80	11.90	777.40	-4.10	26.90	5.00	233.30	-20.50	100.80	18.00	15.00	2497.30	4016.40
656	台北	25.03	121.52	9.00	22.30	2047.50	12.20	33.70	0.00	265.00	-2.00	207.80	0.00	28.20	1801.40	7997.60
663	台南	23.00	120.22	14.00	23.60	1075.50	13.40	31.80	6.00	265.00	2.00	225.10	0.00	14.30	1937.70	8777.70

2 结果分析

2.1 15 个生态因子的典型相关分析结果

典型相关分析中, 典型变量 Z 是 X 的 P_1 个地理坐标因子的线性组合, 典型变量 W 是 Y 的 P_2 个气象生态因子的线性组合。典型相关程度(λ)反映第 i 典型变量的价值大小, 即代表性的程度。

3 个地理坐标(X)因子与 12 个气象生态因子(Y)典型相关分析结果, 矩阵 D 的迹等于 0.9957, 前 3 个特征根之和等于 0.9858, 占全部特征根的 99.0%, 因此取前 3 个特征根与典型相关系数进行显著性检验^[11]。表 2 列出了前 3 个典型变量的特征根(λ_i^2), 依据(1)、(2)式计算的典型相关系数显著性检验结果看出, λ_1^2 与 λ_2^2 都达到极显著水平($\alpha=0.01$), λ_3^2 不显著。这表明第 1 典型变量很重要, 第 2 典型变量也较重要。考虑到第 1 典型变量 $\lambda_1^2=0.6984$, 占全部特征的 70.14%, Z_1 与 W_1 相关系数达 0.8357, 极显著。因此, 采用第 1 典型变量 2 元坐标值进行(排序或)再分析是有价值的(见表 3)。

表 2 3 个地理坐标与 13 个气象因子典型相关系数与检验结果

Table 2 Result from testing and typical correlation analysis between 3 geographical ordinates and 13 climatic factors

典型变量编号 Canonical variable No.	特征根 Eigen-value λ_i^2	典型相关系数 Canonical- correlation's coefficient	典型相关系数的检验 ¹⁾ Test of canonical correlation coefficient				
			U	W_i	Q_i	f_i	X_1^2
1	0.6984	0.8357	668.5	0.2217	437.35**	36	$\alpha=0.01$ 67.32
2	0.2223	0.4714	667.5	0.7352	83.17**	22	$\alpha=0.01$ 50.84
3	0.0451	0.2123	666.5	0.9453	16.28**	10	$\alpha=0.10$ 20.60

1) X_1^2 检验用 $X_1^2(df) = dfF_{\alpha, (n, \infty)}$ 公式计算。

2.2 利用 Z_1 与 W_1 坐标变量的主成分分析结果

主成分分析是探讨多元数据问题的常用方法, 在林木育种, 群体遗传及生态遗传学研究中广泛运用, 它在结构程序中将生态集合体或性状集合体的总变异有效地分配在新轴中, 达到综合排序或分类的目的。本研究中利用主成分性质, 依据各主成分贡献率大小进行选择, 直接将第 1 主成分(PC_1)的样点坐标向量(Z_1)选作生态梯度轴(EGA)。

对典型相关分析结果中第 1 典型变量 2 元坐标数值(CA_1)跟进进行主成分分析, 结果(表 4)是第 1 主成分特征根(λ_1)1.9889, 贡献率高达 99.4472%, 这就是说, 在 CA_1 的 2 元变量基础上, 选用第 1 主成分(PC_1)作生态梯度轴值, 信息量损失仅为 0.6%。

至此, 对全国 678 个地点(样本)15 个生态因子, 经典型相关分析(CA_1)与跟进主成分(PC_1)分析, 估算出综合生态梯度轴(表 3), 即 $EGA(CA_1 \rightarrow PC_1)$, 用于全国林木育种区的定量区划研究。

2.3 绘制中国生态梯度[$EGA(CA_1 \rightarrow PC_1)$]图

678 个样点是全国广域国土上的一次样本(图 1)。通过样本估算总体的生态梯度, 采用常规的多项式回归技术。设 $EGA(CA_1 \rightarrow PC_1)$ 为 Y , 对应地点的经度(X_1)与纬度(X_2)之

表 3 678 个样点中 32 样点的第 1 典型变量(CA_1)坐标数值及其第 1 主成分(PC_1)
坐标值[即 $EGA(GA_1 \rightarrow PC_1)$]

Table 3 The first canonical coordinate(CA_1) and the first principal component
(PC_1 EGA) of 32 samples among 678 samples

样点(台站) 编号 Number of sample (ob- servatory/ station)	第 1 典型变量的 2 维坐标 Two dimension coor di- nate of the first canonical variable		第 1 主成分 样点坐标值 The first principal component [EGA] value EGA ($GA_1 \rightarrow$ PC_1)	样点(台 站) 编号 Number of sample (ob- servatory/ station)	第 1 典型变量的 2 维坐标 Two dimension coordinate of the first canonical vari- able		第 1 主成分 样点坐标值 The first principal component [EGA] value EGA ($CA_1 \rightarrow$ PC_1)
	$dx(x_2)$	$dy(x_2)$			$dx(x_1)$	$dy(x_2)$	
11	0.0405	0.0224	1.0990	399	-0.0296	-0.0223	-1.4451
26	0.2170	0.0282	1.5632	422	-0.032	-0.0259	-2.2998
48	0.0495	-0.027	-0.9385	459	-0.0289	-0.0213	-2.2133
93	0.0507	-0.0079	-0.6363	472	-0.0246	-0.013	0.6274
126	0.0450	-0.0193	-0.9551	497	-0.0226	-0.0042	1.1450
140	0.0212	-0.0029	-0.3306	514	-0.0208	0.0052	2.4769
165	-0.0162	0.0252	0.6311	538	-0.0226	-0.0047	1.3716
190	-0.0160	0.0357	1.2445	543	-0.0272	-0.0207	-0.9495
216	-0.0156	0.0214	0.7453	553	-0.0265	-0.0195	-0.8574
241	-0.0183	0.0316	1.7972	567	-0.0293	-0.0216	-1.3124
272	-0.0237	-0.0139	0.1227	584	-0.0262	-0.0186	-0.8832
190	-0.0227	-0.0117	-0.0837	603	-0.029	-0.0211	-1.7232
310	-0.0183	0.0141	2.2467	630	-0.0296	-0.0207	-1.7574
345	-0.0179	0.0175	1.1321	648	-0.0245	-0.0162	-0.2034
357	-0.0227	-0.0119	-0.4558	656	-0.0346	-0.0283	-2.2334
381	-0.0285	-0.0212	-1.1319	663	-0.0279	-0.0215	-2.2372

表 4 CA_1 2 维坐标的主成分分析结果

Table 4 Analyling result of principal component
of two dimension coordinate from the
first canonical variable

变 量 Variable	特征根 Eigen- value λ_i	贡献率 Contribu- tion rate (%)	累计贡献率 Accumulated contribution rate (%)
X_1	1.9889	99.4472	99.4472
X_2	0.0111	0.5528	100.0000

间用多项式回归表达:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots$$

样本量 $N=678$, 自变量方式 $M=1, 2, \dots$, 进行多项式回归拟合。

当 $M=2$, 精度(C)为 81.67%(图 2), 随着自变量方次增加, 多项式精度(C)逐渐增大; 当 $M=5$ 时, $C=89.22\%$, 拟合精度达到最高值(图 3); $M \geq 6$ 时, C 值有所下降。计算机计算的 $M=1 \sim 8$ 等 8 个回归模型, F 值都达到极显著水平($\alpha=0.01$)。

根据以上分析, 选择 $M=5$ 的多项式回归模型, 作为预测全国任意地点 $ECA(CA_1 \rightarrow PC_1)$ 的评价模型。同时, 利用软件程序绘制“中国生态梯度[$EGA(CA_1 \rightarrow PC_1)$]图”(图 2、图 3, 右侧图示)。

利用拉普拉斯样条函数插值法估算全国 97000 个点 $EGA(Y)$, 由计算机打印成 3 维彩色 EGA 地图。同时, 构绘生态梯度等值线图。利用全国生态梯度等值线图和生态梯度图, 并参照林木育种区划原则, 对全国进行林木育种区的 4 级区划, 绘制了生态梯度定量区划图。

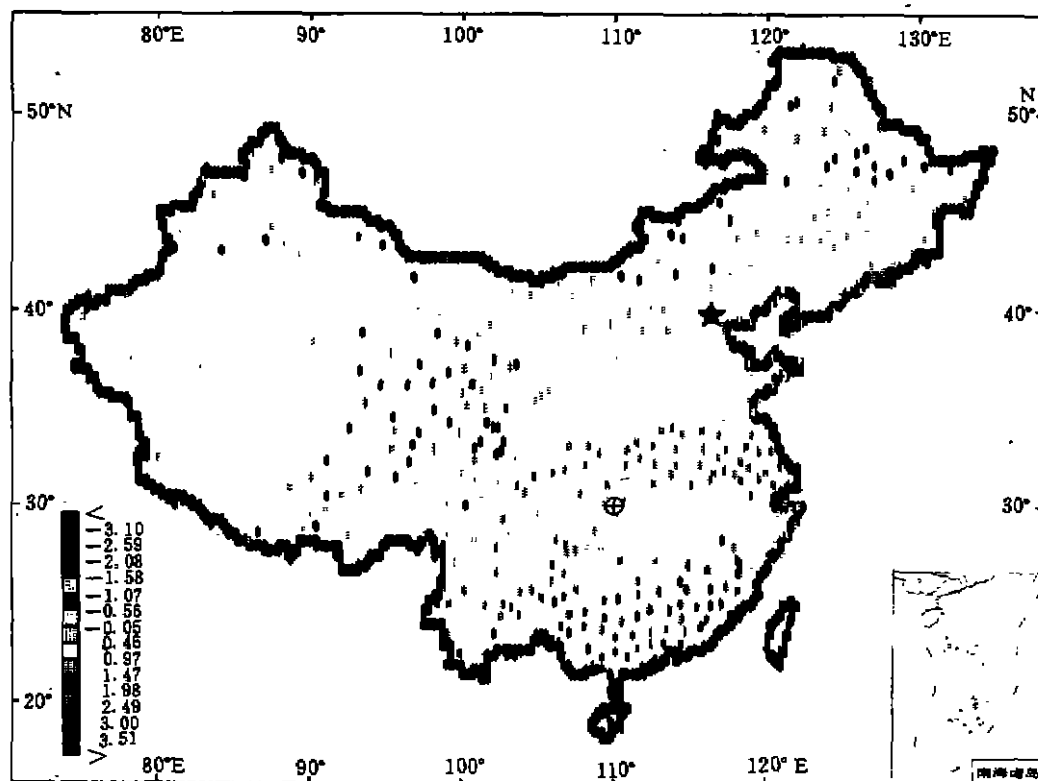


图1 全国678个样点生态梯度值 $EGA(CA_1 \rightarrow PC_1)$ 分布图

Fig. 1 The distribution map of 678 EGA samples in land of China

2.4 中国林木育种区划的研究结果

全国林木育种区划是利用生态梯度(轴)值,进行定量区划为基础。有关定量区划以后的各类拟合、修改和完善,将另文讨论。下面将利用 $EGA(CA_1 \rightarrow PC_1)$ 区划研究的结果总结如下:

(1) 全国678个样点的 $EGA(CA_1 \rightarrow PC_1)$ 值在素图上标注后,将各样点连接成“等值线”,又称生态梯度等值线。有意义的是:① 东经 $73^\circ \sim 135^\circ$,北纬 $4^\circ \sim 53.75^\circ$ 广域国土上, $EGA(CA_1 \rightarrow PC_1)$ 值变化在 $-3.0 \sim 3.0$ 之间,生态梯度变异的中心点——重心(零点)在河北省保定市;② EGA 值深刻地反映我国不同气候带, ≥ 1.50 为寒温带, 1.00 ± 0.50 为温带, -1.00 ± 0.50 为亚热带, $\leq -1.80 \sim -2.00$ 为南亚热带, $\leq -2.30 \sim -2.50$ 为热带(北线)地区;③ 我国东经 100° 是特殊生态梯度界线,该线以西是高原山地,西大区内 $EGA(CA_1 \rightarrow PC_1) 1.00$ 是区分高原山地(≥ 1.00)与平原谷地(< 1.00)的临界值。

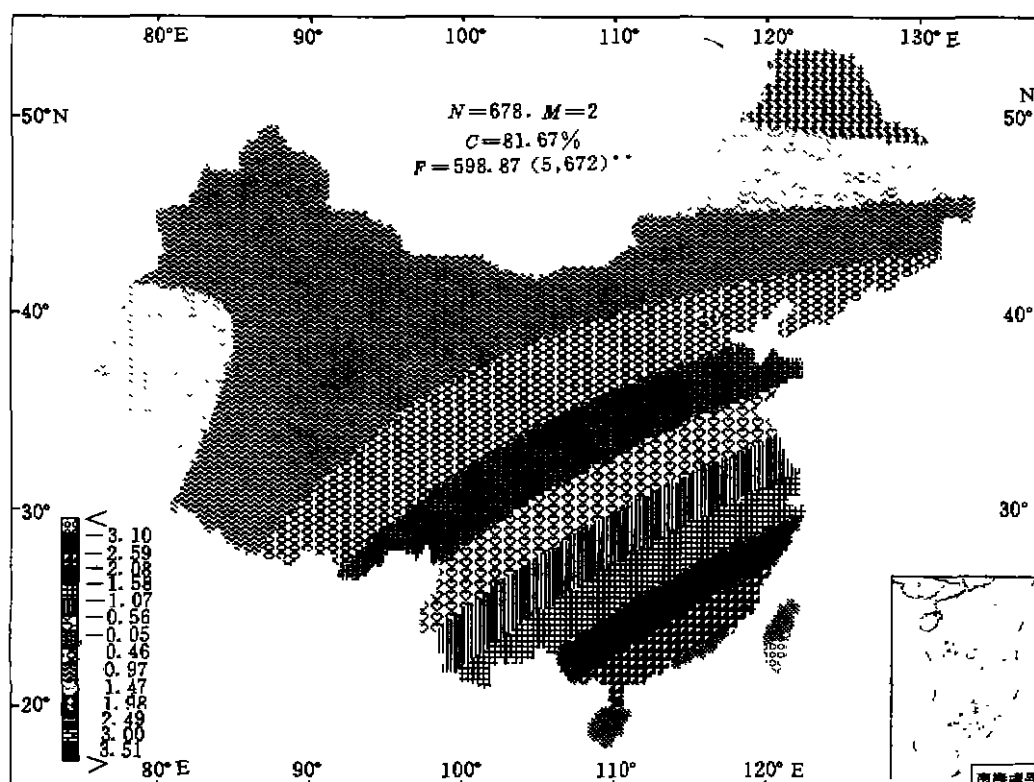


图 2 全国生态梯度图(1)

多项式回归 $M=2$, $C=81.67\%$

Fig. 2 The simple regression map of EGA value with latitude and longitude

(2) 678 个样点看成是全国的适宜样本, 根据 678 个样点计算, $EGA(CA_1 \rightarrow PC_1)$ 的总平均值 $\mu=0.0000$, 标准差 $\sigma=0.0384$ 。利用最小显著差值估算, $LSD_{\alpha}=t_{\alpha} S_{\bar{y}}$, 当 $\alpha=0.05$, $t_{0.05}=1.96$, $LSD_{0.05}=0.1064$ 。暂不管青藏新 3 省区, 以大于 2 个最小显著差的绝对值 0.25 为间隔, 南北勾划出 25 条东西向等值线, 东西勾划出 5~9 条南北向等值线, 共约划出 170 个生态梯度矩形格; 加上青海、西藏、新疆 3 省区依此原则勾划的 30 个不规则矩形格, 共得到 200 个生态梯度区划格(分区)。这便是“生态梯度定量区划图”, 也是中国林木育种区划的基本格局。

(3) 根据全国 $EGA(CA_1 \rightarrow PC_1)$ 数值分布等值线图 and “生态梯度定量区划图”变异, 兼顾行政区划因素, 全国共划分 10 个林木育种大区, 97 个林木育种区及 74 个(A 级)林木育种亚区, 认定 31 个省、市区为 31 个林木育种基本区。各育种大区, 育种基本区和育种区之间的 $EGA(CA_1 \rightarrow PC_1)$ 值的差异, 在大的地貌因素之外, 都达到显著水平。10 个林木育种大区的平均 $EGA(CA_1 \rightarrow PC_1)$ 值及标准差($\bar{X} \pm S$)依次如下:

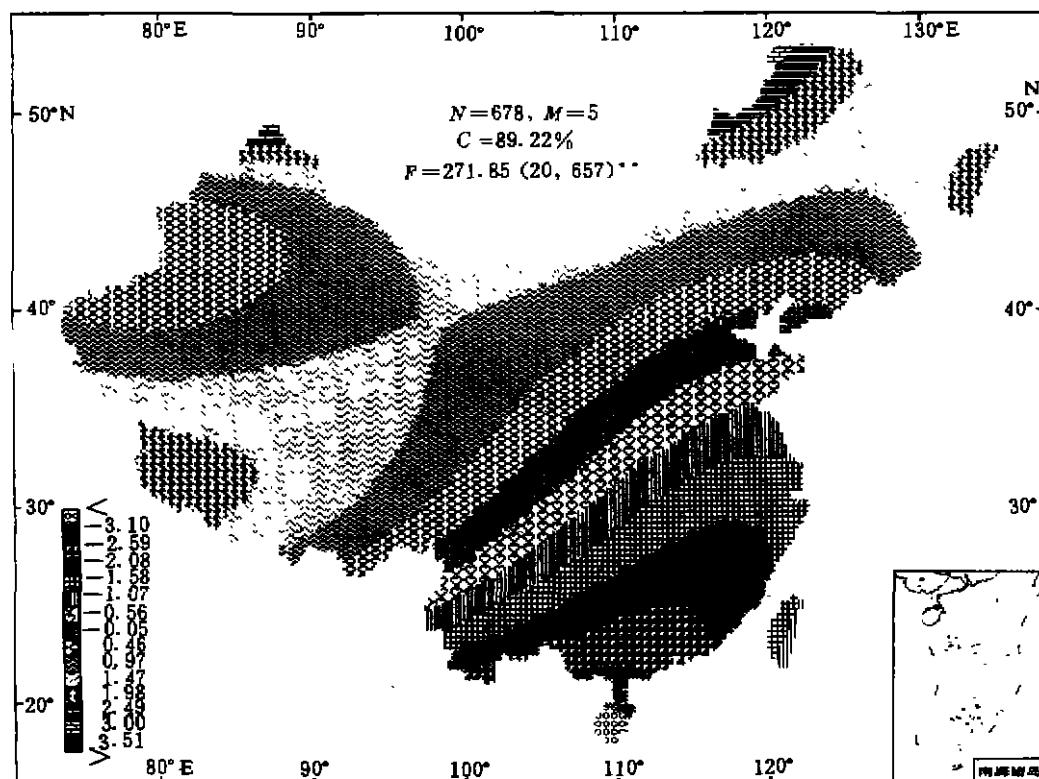


图3 全国生态梯度图(2)

多项回归, $M=5$, $C=89.22\%$

Fig. 3 The multiple regression map of EGA value with latitude and longitude

I. 东北大区	$1.335\ 0 \pm 0.638\ 8$
II. 内蒙古大区	$1.379\ 9 \pm 0.368\ 2$
III. 华北大区	$-0.003\ 1 \pm 0.567\ 1$
IV. 华东大区	$-1.205\ 9 \pm 0.409\ 3$
V. 华中大区	$-1.332\ 7 \pm 0.431\ 8$
VI. 陕甘宁大区	$0.856\ 7 \pm 0.645\ 9$
VII. 西南大区	$-0.472\ 2 \pm 1.019\ 6$
VIII. 华南大区	$-2.242\ 2 \pm 0.384\ 6$
IX. 新疆大区	$1.021\ 1 \pm 0.617\ 1$
X. 青藏大区	$1.835\ 2 \pm 0.587\ 6$

各林木育种基本区及其育种区、亚区的 EGA($CA_1 \rightarrow PC_1$) 值不一列出。

3 结论与讨论

3.1 全国 EGA 值分布, 变幅在 $-3.0 \sim 3.0$ 之间, 平均值为 0, $\sigma=0.0384$ 。生态梯度变异的中心点向北向西呈正值增长。依据 EGA($CA_1 \rightarrow PC_1$) 和生态梯度地图勾划的“生态梯度定量区划图”与气候带完全吻合, 符合生态梯度量值表达的原意。依据生态梯度定量区划结合各类林业区划, 兼顾行政区划, 全国共划分 10 个林木育种大区, 97 个育种区, 74 个(A

级)亚区, 31 个基本区, 能反映出林木育种区划的原则, 具有科学性和可行性。

3.2 叠加使用多元分析技术, 目的是为降维、简化、直观地进行林木育种区的区划。CA 结果选用了第 1 典型变量, 其特征值 λ_1^2 占总特征值 $\sum \lambda_j^2$ 的 70.14%, 典型相关系数 (0.8357) 高度密切, 样点坐标值可以反映综合生态梯度; 在 CA_1 的第 1 典型变量 2 维坐标数值基础上, 进行 PCA, 结果是第 1 主成分贡献率占总体 99% 以上, 从而估算出 EGA ($CA_1 \rightarrow PC_1$)。可以认为, 通过 678 个样点生态因子跟进 $CA \rightarrow PC$, 所估算的 EGA, 能综合代表全国各地的生态梯度, 用于林木育种区的区划具有定量依据。

3.3 CA 方法运用的成败, 取决于第 1 典型量 λ_1^2 占总特征根的比值大小, 即代表原始数据信息量程度, λ_1^2 达到极显著, $\lambda_1^2 / \sum \lambda_j^2$ 达 60% 左右时^[11]才具有较好的价值; 同样, PCA 所得到的第 1 主成分的贡献率宜在 70% 左右, 才能使 EGA 较好地综合表征生态梯度。本研究 EGA ($CA_1 \rightarrow PC_1$) 符合分析要求。

3.4 由于 EGA 主要反映广域地理气象的生态因子, 它在表征综合生态梯度时有一定局限性, 尤其是在地区性地貌变化, 大洋季风水系差异(雨型差异)、地区性土壤变异尚不能表达; 需要在 EGA 定量区划之后再拟合、完善、修订。

3.5 利用 EGA ($CA_1 \rightarrow PC_1$)(y) 与经度(x_1)、纬度(x_2)以及海拔高度(x_3)所建立的多项式回归与样条函数的插方法, 绘制 2 维与 3 维“中国生态梯度图”, 可以用于各省(市、区)林木育种基本区的二次区划, 尤其是(B 级)亚区的区划。

参 考 文 献

- 1 惠特克 R.H. 王伯荪译. 植物群落排序. 北京: 科学出版社, 1986. 52~114
- 2 斯特恩 K, 罗奇 L, 毛士田等译. 森林生态系统遗传学. 北京: 中国林业出版社, 1984. 296~311
- 3 梅里尔 D.J., 黄瑞夏等译. 生态遗传学. 北京: 科学出版社, 1991. 233~242
- 4 顾万春. 白榆生态遗传的研究. 全国林木遗传育种学术会议论文集. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1990. 60~64
- 5 顾万春等. 生态梯度轴(EGA)用于林木生态遗传的研究——PCA 估算 EGA(PCr), 生态学报, 1992, 12(4), 332~340
- 6 Stern K and Roche L. *Genetics of Forest Ecosystems*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 1974, 91~146
- 7 顾万春等. 生态梯度轴(EGA)用于林木生态遗传的研究——CA 方法估算 EGA(CA_1)和 EGA(r_2), 生态学报, 1993, 13(2), 148~156
- 8 张尧庭等. 多元统计分析引论. 北京: 科学出版社, 1982. 302~339
- 9 胡定国等. 多元数据分析方法——纯代数处理. 天津: 南开大学出版社, 1990. 149~181
- 10 周光亚等. 多元统计方法. 长春: 吉林大学出版社, 1988. 104~122
- 11 Giri. N.C. *Multivariate Statistical Inference* Academic Press, 1977, 69~81
- 12 Boot T.H. Mapping regions climatic/edaphic database and plant growth index prediction system. *Ecological Modelling*, 1990, 56, 127~134
- 13 Hutchinson M.F. and Bishof R.J. A new method for estimating the apatial distribution of mean seasonal and annual rainfall applied to the Hunter Vally, New South Wales. *Austrilian Meteorological Magazine*, 1983, 31, 179~184
- 14 Wahba G. How to smooth curves and surfaces with splines and cross-validation. *Proc. 24th Conference on the Design of Experiments*. U. S. Army Research Office, 1979, No. 79~2, Research Triangle Park, NC, 167~192
- 15 Yan Hong. A decision support system for introduction of exotics I. Delineation of suitable zones. *Scientia Silvae Sinicae*, 1989, 25, 395~400