

浙江天童植物群落次生演替与土壤肥力的关系*

张庆费

宋永昌 由文辉

(上海市园林科学研究所 上海 200232)

(华东师范大学环境科学系 上海 200062)

摘要 从土壤物理、化学和生物因子等方面出发,建立了土壤肥力综合评价指标体系,并利用多元统计方法,对浙江天童植物群落次生演替过程土壤肥力的变化特征进行综合评价。结果表明,裸地、灌丛、马尾松林、马尾松木荷林、木荷林、栲树木荷林和栲树林的土壤肥力综合指标值分别为 0.048、0.324、0.474、0.514、0.607、0.905 和 0.924。可见,随着进展演替,土壤肥力呈增长趋势,并且,由于群落类型,尤其是建群种的不同,而呈现跳跃性和渐变性增长特征;同时,土壤肥力的变化也影响着物种对环境的适应和物种间的竞争,促进了群落的演替。因此,土壤肥力是植物演替过程的重要驱使因素。

关键词 中亚热带常绿阔叶林,次生演替,土壤肥力,综合评价,多元分析。

RELATIONSHIP BETWEEN PLANT COMMUNITY SECONDARY SUCCESSION AND SOIL FERTILITY IN Tiantong, ZHEJIANG PROVINCE

ZHANG Qing-Fei

(Shanghai Landscape Gardening Research Institute, Shanghai, 200232, China)

SONG Yong-Chang YOU Wen-Hui

(Department of Environmental Science, East China Normal University, Shanghai, 200062, China)

Abstract A comprehensive evaluation index system for soil fertility based on soil physical, chemical and biological properties were developed. With the system, we then evaluated the soil integrated fertility of the succession series of the plant communities in Tiantong, Ningbo, Zhejiang Province. The values of soil integrated fertility index of bare land, shrub forest, *Pinus massoniana*, *P. massoniana* + *Schima superba*, *S. superba*, *Castanopsis fagassii* + *S. superba* and *C. fagassii* forest were 0.048, 0.324, 0.474, 0.514, 0.607, 0.905 and 0.924, respectively. It implied that the soil fertility increased as succession proceeded, which also exhibited the gradual and sharp increment characteristics according to the community types, in particular the dominant species. On the other hand, the variation of soil fertility also influenced the adaptation of species to the environment and competition among species. As the result, they promoted the succession course. It proved again that soil fertility was an important factor which impel the plant succession course.

* 国家自然科学基金资助项目(编号 39470131)。

收稿日期:1996-11-12,修改稿收到日期:1998-06-08。

Key words mid-subtropical evergreen broad-leaved forest, secondary succession, soil fertility, comprehensive evaluation, multivariate analysis.

土壤是植物群落的主要环境因子之一,植物群落演替过程,也是植物与土壤相互影响和相互作用的过程^[1]。但植物群落演替的研究,以往主要侧重于植物种类组成及结构变化特征上,涉及土壤因子变化的研究较少,且主要集中在土壤化学因子上^[2-4]。因此,在浙江天童植物群落次生演替过程土壤物理、化学和生物性质研究的基础上^[5],运用综合评价方法,对各演替阶段土壤肥力进行多因子综合比较,分析植物群落演替与土壤肥力的关系,以加深对群落演替过程和机制的认识;同时,也为退化生态系统的恢复和重建提供理论依据。

1 研究地区及样地概况

天童森林公园位于浙江宁波东部(29°48'N, 121°47'E),全年温暖湿润,年平均气温 22℃,7 月平均气温 28.1℃,极端最高气温 38.7℃,1 月平均气温 4.2℃,极端最低气温 -8.5℃,年平均降雨量 1374.7mm,年蒸发量 1320.1mm,属典型的亚热带季风气候;土壤为黄壤,成土母质主要是中生代沉积岩和部分酸性火成岩及石英砂岩的残积风化物,地带性植被是中亚热带北缘常绿阔叶林。运用次生演替的空间序列代替时间序列的研究方法,选择海拔、坡向、坡度相近的样地,划分了研究地区植物群落的 7 个主要演替阶段(如表 1)。

土壤各项肥力因子采用常规法^[6]测定各样地≤20cm 表层土壤值(表 2)。

表 1 天童常绿阔叶林主要演替阶段样地概况

Table 1 Characteristics of the sample plots of the succession stages

演替阶段 Succession stage	海拔(m) Elevation	坡度(°) Slope	坡向(°) Exposure	郁闭度 Coverage	树种组成 Composition
裸地 Bare land	115	10	SE15	0	—
灌丛 Shrub forest	110	12	SW70	0	—
马尾松林 Form. <i>P. ma.</i>	115	5	SE10	0.85	8 马 1 木 0.5 枫 0.5 石
马尾松木荷林 Form. <i>P. ma.</i> + <i>S. su.</i>	110	5	SE45	0.90	6 木 4 马
木荷林 Form. <i>S. su.</i>	130	20	SE40	0.95	7 木 2 石 1 马
栲树木荷林 Form. <i>C. fa.</i> + <i>S. su.</i>	130	25	SE30	0.95	5 栲 4 木 1 石
栲树林 Form. <i>C. fa.</i>	180	25	SE30	0.90	7 栲 1 米 1 木 1 石

表中:马或 *P. ma.* = 马尾松(*Pinus massoniana*);木或 *S. su.* = 木荷(*Schima superba*);石 = 石栎(*Lithocarpus glaber*);栲或 *C. fa.* = 栲树(*Castanopsis fagasy*);米 = 米槠(*C. carlessii*);枫 = 枫香(*Liquidambar formosana*)

2 土壤肥力综合评价

森林凋落物、林木庞大的根系和依赖于森林生存的特有生物,使森林具有其它土壤所没有的成土条件^[6],具有独特的自肥机制,森林土壤肥力也常常从土地生产力角度,根据林木生长状况进行评价^[7]。但对于树种组成及结构复杂的亚热带常绿阔叶林,难以确定具有统一而又有可比性的林分生长标准。因而,应该从土壤性状本身来评价土壤肥力的大小。但由于土壤肥力形成机制的复杂性,不同研究人员对土壤肥力内涵和外延的理解也不同,因此,评价方法和评价指标也不尽一致^[8-10]。本文运用多元统计分析,对天童植物群落主要演替阶段土壤肥力进行综合评价。

2.1 评价指标的选择

土壤肥力是土壤物理、化学和生物性质的综合反应^[11]。因此,本次研究也是从这 3 个方面出发,根据各单项肥力指标的代表性和对植被影响的主导性,建立了天童植物群落主要演替阶段土壤肥力评价指标体系(见图 1)。

1)张庆费,浙江天童常绿阔叶林主要演替阶段凋落物与土壤肥力研究,华东师范大学博士学位论文,1996

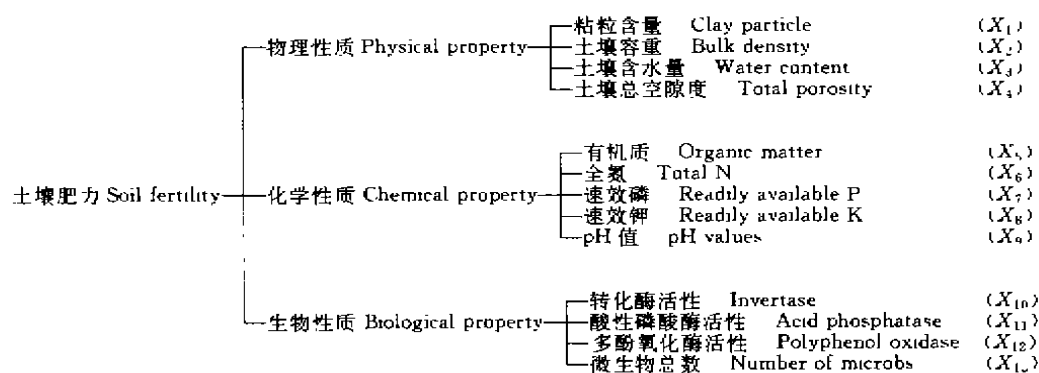


图1 植物群落演替过程土壤肥力评价指标体系

Fig. 1 Index system for evaluating soil fertility in plant communities succession series

2.2 评价指标隶属度的计算

由于土壤肥力因子变化具有连续性质,故各评价指标采用连续性质的隶属度函数^[12],并从主成分因子负荷量值的正负性,确定隶属度函数分布的升降性,这与各因子对植被的效应相符合。对于粘粒含量和土壤容重,采用降型分布函数,即

$$F(X_i) = (X_{i,\max} - X_{i1}) / (X_{i,\max} - X_{i,\min}) \quad (1)$$

而对于土壤含水量、空隙度及各项化学因子和生物因子,采用升型分布函数,即

$$F(X_i) = (X_{i1} - X_{i,\min}) / (X_{i,\max} - X_{i,\min}) \quad (2)$$

其中, $F(X_i)$ 表示各肥力因子的隶属度值, X_{i1} 表示各肥力因子值, $X_{i,\max}$ 和 $X_{i,\min}$ 分别表示第 i 项肥力因子中的最大值和最小值。

根据(1)式和(2)式计算了各演替阶段肥力因子的隶属度值,见表2。

表2 主要演替阶段土壤肥力因子值及其隶属度值

Table 2 Values of soil fertility factor and their membership function values of the succession series

肥力因子 Factors	裸地 Bare land		灌丛 Shrub forest		马尾松林 Form. <i>P. ma.</i>		马尾松木荷林 Form. <i>P. ma.</i> + <i>S. su.</i>		木荷林 Form. <i>S. su.</i>		栲树木荷林 Form. <i>C. fa.</i> - <i>S. su.</i>		栲树林 Form. <i>C. fa.</i>	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B*
X_1	411.2	0	379.4	0.198	375.4	0.220	381.2	0.190	306.7	0.650	258.3	0.950	250.3	1.000
X_2	1.21	0.170	1.30	0	1.21	0.170	1.17	0.250	1.04	0.490	0.80	0.940	0.77	1.000
X_3	223	0.193	219	0	274	0.379	285	0.455	271	0.359	364	1.000	317	0.676
X_4	523.5	0	527.0	0.030	602.0	0.671	606.5	0.709	602.5	0.675	640.5	1.000	631.0	0.919
X_5	17.5	0	67.3	0.476	94.2	0.733	76.1	0.560	91.5	0.707	114.7	0.929	122.1	1.000
X_6	0.53	0	1.73	0.396	2.05	0.489	2.10	0.505	1.87	0.431	3.46	0.942	3.64	1.000
X_7	5.60	0	12.44	0.309	19.14	0.612	21.78	0.731	22.53	0.765	27.24	0.978	27.73	1.000
X_8	40.8	0	68.5	0.330	93.9	0.620	93.1	0.620	96.0	0.650	116.1	0.890	125.8	1.000
X_9	4.22	0.441	4.47	1.000	4.02	0	4.07	0.110	4.23	0.470	4.06	0.090	4.16	0.319
X_{10}	1.823	0	5.954	0.365	6.569	0.419	6.947	0.453	8.758	0.613	11.755	0.878	13.137	1.000
X_{11}	0.060	0	0.087	0.551	0.093	0.673	0.100	0.816	0.106	0.939	0.107	0.959	0.109	1.000
X_{12}	0.123	0	0.174	0.144	0.193	0.197	0.188	0.183	0.331	0.586	0.412	0.814	0.178	1.000
X_{13}	226.6	0	950.6	0.744	868.2	0.659	1024.0	0.819	658.5	0.444	1199.7	1.000	1016.3	0.812

* A:各土壤肥力因子的测定值 Values of the soil fertility factors; B:各土壤肥力因子的隶属度值 Values of the membership function of the soil fertility factors

表中(In table), X_1 、 X_2 、 X_4 、 X_5 、 X_6 : g/kg; X_2 : g/cm³; X_7 、 X_8 : mg/kg soil; X_{10} : glucose mg/g soil in 24 h; X_{11} : phenol mg/g soil in 24 h; X_{12} : pyrogallol acid mg/g soil in 2h; X_{13} : 10⁴/g soil

2.3 肥力评价指标权重的确定

利用 STATGRAPHICS 软件包计算各肥力因子主成分的贡献率和累计贡献率(表 3)。第一主成分的贡献率(78.23%)已足以代表原变量的信息。所以,以第一主成分分析因子负荷量,计算各肥力因子在土壤肥力中的作用大小,确定它们的权重(表 4)。从表 4 可见,对演替过程土壤肥力影响较大的有土壤含水量、总孔隙度、有机质、全氮、速效磷、速效钾和转化酶活性。因此,土壤物理、化学和生物性质对植物演替群落的土壤肥力都具有明显的作用,仅考虑理化因子不能全面反映土壤的内在特性。

表 3 土壤肥力因子主成分的贡献率

Table 3 Cumulative percentage of principal fertility components

主成分 Component number	1	2	3	4	5	6	7, ..., 13
贡献率 Percent of variance	78.23	8.34	6.13	4.54	2.26	0.50	0, ..., 0
累计贡献率 Cumulative percentage	78.23	86.57	92.70	97.24	99.50	100	100, ..., 100

表 4 土壤肥力因子的负荷量和权重

Table 4 Values of component capacity and weights of the soil fertility factors

肥力因子 Factor	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}
因子负荷量 Capacity	0.284	0.269	0.292	0.298	0.300	0.300	0.308	0.308	0.154	0.303	0.289	0.209	0.244
权重 Weight	0.080	0.076	0.082	0.084	0.084	0.084	0.087	0.087	0.043	0.085	0.081	0.059	0.068

2.4 土壤肥力综合指标值的计算

根据加乘法则,对各个肥力指标值采用乘法进行合成,计算各演替阶段土壤肥力的综合指标值(integrated fertility index, IFI),计算公式如下:

$$IFI = W_i \times F(X_i)$$

式中: W_i 表示各肥力因子的权重向量; $F(X_i)$ 表示各肥力因子的隶属度值。

计算结果表明,裸地、灌丛、马尾松林、马尾松木荷林、木荷林、栲树木荷林和栲树林的土壤肥力综合指标值(IFI)分别为 0.048、0.324、0.474、0.514、0.607、0.905 和 0.924。

3 土壤肥力与次生演替的关系

各演替阶段土壤肥力综合指标值表明,随着进展演替,土壤肥力呈增长趋势,这与群落演替能促进群落生物循环和生物富集作用有关,如马尾松林、马尾松木荷林、木荷林、栲树木荷林和栲树林年凋落物量分别为 3.09、3.41、4.18、4.91 和 5.31t/hm²,年凋落物分解率则分别为 48.4%、54.4%、57.0%、63.4%和 60.9%^[13],呈现同步增长趋势,表明了演替能促进生物与土壤间物质和能量的交换,从而提高了群落自肥能力。

不同演替阶段的土壤肥力增长幅度不一样。从土壤 IFI 值可以看出,从裸地(0.048)→灌丛(0.324)→马尾松林(0.410),土壤肥力增长显著,这是因为裸地缺乏生物积累,土壤侵蚀严重;而灌丛具有一定的生物积累能力,土壤侵蚀减弱;马尾松林则有大量的枯落物归还,土壤生物化学活动明显增强,土壤肥力形成能力显著增大;但马尾松林和马尾松木荷林的土壤肥力比较接近,呈现缓慢增长的特征,这与它们均以马尾松为优势种有关;木荷林的土壤 IFI 值(0.607)明显高于马尾松木荷林(0.514),这也说明阔叶树比针叶树具有更大的土壤自肥能力,因为木荷林凋落物的数量和分解率均明显高于前者^[14],土壤养分归还和改造土壤结构的能力提高。栲树木荷林和栲树林均以栲树为优势种,群落结构接近,土壤肥力也接近,呈缓慢增长,但它们明显高于木荷林,这与它们的凋落物数量及分解率在各演替系列中最高,土壤微生物数量、土壤酶活性,尤其是转化酶、多酚氧化酶高于木荷林,土壤生化强度高,土壤有机物质的分解和再合成作用较大有关。因此,植物群落演替过程中,由于群落类型,尤其是优势种的不同,土壤肥力呈现跳跃性和渐变性增长特征。

一些生态学家认为树种的直接竞争是演替的原因^[11],但植物群落的演替是群落对其初始阶段异化的过程,不但体现在物种的竞争上,也体现在环境条件的改变上,使生境更适合于演替后来种^[12]。土壤作为植物群落的主要环境因子,而土壤肥力是土壤的基本属性和质的特征^[13],它对群落演替的影响不容忽视。某一演替阶段土壤肥力的状况,不仅反映了在此之前群落与土壤协同作用的结果,同时,也决定了后续演替过程的土壤肥力基础和初始状态;而不同植物对土壤条件的适应性以及在不同土壤肥力下的植物种群拓殖能力也不同。在土壤肥力很低的立地,如裸地,灌丛最先出现,通过生物积累,对土壤肥力具有一定的改良作用,为耐干旱瘠薄的马尾松自然侵入创造条件。在土壤肥力较低的生境中,马尾松种群拓殖能力较强,并占据了优势,同时,也促进了土壤肥力的形成,而土壤肥力的提高,为对肥力要求更高的阔叶阳生树种,如木荷和石栎提供了较适宜的土壤环境,它们开始入侵先锋性的马尾松林中,并在林下逐渐顺利更新,占据乔木层优势,而马尾松逐渐减少,马尾松林过渡到马尾松木荷针阔混交林,并最终形成木荷林。阳性阔叶林改良土壤的作用更大,土壤肥力持续提高,为对土壤肥力要求较高的栲树侵入和拓殖创造了条件,而马尾松和木荷依次退出演替阶段,最终形成以栲树为建群种的中生性顶极群落,表6是天童植物群落次生演替与土壤肥力变化模式。土壤状况,尤其肥力状况影响着群落优势种的拓殖和更替,土壤肥力提高有利于演替后续种的生长和发展,促进群落演替进程。因此,植物演替过程,也是物种对土壤肥力不断适应和改造及不同物种在不同肥力梯度下相互竞争和替代的过程,土壤肥力是植物演替的重要驱动力之一。

表5 天童植物群落次生演替与土壤肥力变化模式

Table 5 Variation pattern of secondary succession and soil fertility of the plant communities in Tiantong

演替阶段	裸地	灌丛	针叶林	针阔混交林	以阳性树种为主的常绿阔叶林	以中生树种为主的常绿阔叶林	中生常绿阔叶林
Succession stages	Bare land	Shrub forest	Coniferous forest	Mixed forest by coniferous and broad-leaved trees	EBLF dominated by intolerant trees	EBLF dominated by mesophytic trees	Mesophytic EBLF
土壤肥力	很低	较低	低	低	高	较高	最高
Fertility	Lowest	Lower	Low	Low	High	Higher	Highest

EBLF=evergreen broad-leaved forest

参 考 文 献

- West D C, et al. *Forest succession concept and applications*. Springer-Verlag, New York. 1981, 185~211
- 张全发, 郑重, 金义兴. 植物群落演替与土壤发展之间的关系. 武汉植物学研究. 1990, 8(4): 325~334
- Kimmins J P. *Forest Ecology*. Macmillan Publishing Company, New York. 1987: 384~432
- 关松荫, 等编著. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986. 274~325
- 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978
- Wilde S A. *Forest soils-their properties and relation to silviculture*. Ronald Press, New York. 1958: 6~11
- 罗汝英编著. 森林土壤学(问题和办法). 北京: 科学出版社, 1983. 102~120
- 刘创民, 李昌哲, 史敏华等. 多元统计分析在森林土壤肥力类型分辨中的应用. 生态学报, 1996, 16(4): 444~447
- 刘寿波. 黑龙江南部次生林区森林土壤肥力的研究. 土壤通报. 1964, (2): 13~16
- 杨玉盛, 李振国, 刘爱琴等. 人工阔叶林取代栎林天然林后土壤肥力变化的研究. 东北林业大学学报, 1993, 21(5): 14~21
- 熊毅, 李庆远主编. 中国土壤. 第二版. 北京: 科学出版社, 1987. 306~320
- 黎孟波, 张先婉. 土壤肥沃度的理化评价. 土壤肥力研究进展(张先婉主编). 北京: 中国科学技术出版社, 1991. 221~234
- 张庆费, 等. 浙江天童常绿阔叶林凋落物数量及分解动态. 植物生态学报, 1999
- Pickett S T A, et al. Models, mechanisms and pathways of succession. *Botanical Review*, 1987, 3: 335~342
- Odum E P. The strategy of ecosystem development. *Science*. 1969, 164: 262~270