

杉木- 观光木混交林不同经营模式土壤团粒结构的分形特征

封磊¹, 洪伟², 吴承祯², 宋萍²

(1. 福建农林大学资源与环境学院, 福建 福州 350002; 2. 福建农林大学林学院, 福建 南平 353001)

摘 要: 利用分形理论、弹性分析及边际分析方法对四种不同经营模式的杉木人工林进行了研究。探讨了四种杉木人工林的土壤团粒结构分形维数对林地土壤性质变化影响的效应。结果表明: 土壤 > 0.25mm 的团聚体及水稳性团聚含量越大, 团粒结构的分形维数越小, 土壤肥力越高, 在四种经营模式中以杉木同观光木行间混交的土壤状况最好; 土壤团粒结构的分形维数与土壤团聚体、水稳性团聚体之间存在显著回归关系。分形理论为林地土壤科学管理提供了理论依据。

关键词: 杉木人工林; 分形维数; 弹性分析; 边际分析; 土壤肥力

中图分类号: S152.4; S725.2

文献标识码: A

杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 作为我国南方重要的速生优良用材树种, 同时也是重要的商品用材树种。由于其生长快、轮伐期短、自肥能力差, 加上目前不合理的栽培制度, 导致一系列生态问题, 对林地持续利用构成严重威胁^[1-2]。寻找合适的阔叶树种与杉木混交是保护人工林生态系统持续生产力和稳定性, 保护生物多样性的一条有效途径。森林土壤资源不仅为林业可持续经营提供了物质基础, 而且是环境持续发展的物质基础。形状与大小各异的土壤颗粒组成的土壤结构, 表现出一个不规则的几何形体^[3-4]。已有研究表明, 土壤是具有分形特征的系统^[4]。Turcotte^[5]提出了多孔介质材料的粒径分布分式 $N(\delta > d_i) \propto d_i^{-D}$, 式中 N 是粒径 > d_i 的总数; D 是粒径的分形维数。由于 N 值不能直接通过实验得到, 其值受到假设与实际符合程度的影响, 也影响了 D 值的准确计算。基于在通常的分析中, 得到的均为土壤粒径的重量分布值, 杨培岭^[6]等提出用粒径的重量分布取代粒径的数量分布来描述土壤的分形特

征的模型, 则比较精确、简便。吴承祯^[7-8]、刘金福^[9]等提出运用分形模型分析不同林分经营模式土壤团粒结构取得了较好的效果。本文在前人研究的基础上运用分形模型对不同混交类型的杉木观光木人工混交林进行了研究, 旨在为选择合适的造林模式、深入探讨森林养份循环、防止地力衰退、保护和合理利用森林土壤资源提供理论依据。

1 自然概况

试验地位于福建省建瓯市东安林场, 面积 12 hm², 118°~ 119°E, 26°40'~ 27°20' N, 属亚热带季风湿润气候区, 年平均气温 18.8 °C, 年平均降雨量 1 665.7 mm, 降雨日 170 d, 年平均蒸发量 1 499.2 mm, 7-9 月蒸发量最大, 年平均相对湿度 79%。日照总时数 1 829.3 h。土壤是由花岗片麻岩发育而成的红壤, 腐殖质层+ 沉积层厚 20~ 25 cm, 坡度 20°~ 25°, 林地前茬为马尾松天然林, 1983 年采种育苗。

收稿日期(Received date): 2003- 11- 12; 改回日期(Accepted): 2004- 02- 10。

基金项目(Foundation item): 福建省科技厅重大资助项目(2001F007)。[Supported by the Key Project of the Provincial Science and Technology Department of Fujian, China.]

作者简介(Biography): 封磊(1977-)男, 吉林通化人, 硕士, 主要从事环境生态学研究。[FENG Lei(1977-), Master, majors in environment and ecology research.]

2 研究方法

2.1 资料收集

试验于 1984 年建立,按随机区组法进行试验设计,杉木× 观光木混交模式有:混交比例为 1:1 的行间混交(A),混交比例为 3:1 的行带混交(B),混交比例为 1:1 株间混交(C),杉木纯林(D) 4 个处理,每个处理 4 个重复,每个处理标准地面积 25.82 m × 25.82 m,标准地间种柳杉做隔离带,在标准地附近或周围同时营造上述各模式林分共 45 hm²,造林密度 2 100 株/ hm²。1996 年进行全面调查时,按 0 ~ 20 cm、20 ~ 40 cm 土层分别取土样带回实验室分析,具体方法见文献[10]。4 种模式混交林土壤表层试验结果见表 1~ 4(数据来源于文献[10])。

2.2 分形维数模型

具有自相似结构的多孔介质—土壤,由于大于某一粒径 d_i ($d_i > d_{i+1}$, $i = 1, 2, \dots$) 的土粒构成的体积 $V(\delta > d_i)$ 可由类似 Katz^[11] 的公式表示

$$V(\delta > d_i) = A [1 - (d_i/k)^{3-D}] \quad (1)$$

式中 δ 是码尺, A , k 是描述形状、尺度的常数。

通常粒径分析资料是由一定粒径间隔的颗粒重量分布表示的,以 \bar{d}_i 表示两筛分粒级 d_i 与 d_{i+1} 间粒径的平均值,忽略各粒级间土粒比重 ρ 的差异,即 $\rho = \rho(i = 1, 2, \dots)$, 则

$$W(\delta > \bar{d}_i) = V(\delta > \bar{d}_i) \rho = \rho A [1 - (\bar{d}_i/k)^{3-D}] \quad (2)$$

式中 $W(\delta > \bar{d}_i)$ 为大于 d_i 的累积土粒重量。以 W_0 表示土壤各粒级重量的总和,由定义有 $\lim_{i \rightarrow \infty} W_0 = 0$, 则由(2)式得

$$W_0 = \lim_{i \rightarrow \infty} W(\delta > \bar{d}_i) = \rho A \quad (3)$$

由(2)、(3)式导出

$$\frac{W(\delta > \bar{d}_i)}{W_0} = 1 - \left(\frac{\bar{d}_i}{d_{\max}} \right)^{3-D} \quad (4)$$

或

$$\left(\frac{\bar{d}_i}{d_{\max}} \right)^{3-D} = \frac{W(\delta < \bar{d}_i)}{W_0} \quad (5)$$

分别以 $\lg(W_i/W_0)$ 为纵、 $\lg(\bar{d}_i/d_{\max})$ 为横坐标,不难看出 $3-D$ 是 $\lg(\bar{d}_i/d_{\max})$ 和 $\lg(W_i/W_0)$ 的实验直线的斜率,因此,要测定 D 即可用回归分析方法。

2.3 建模

对于林地土壤物理及化学性质均采用下列非线性回归方程,建立预测模型,即

$$Y = aD_s^b D_g^c$$

式中 Y 为林地土壤性质指标含量; D_s 、 D_g 分别为林分湿筛、干筛条件下土壤团聚体结构分维; a 、 b 、 c 为参数。

分维对土壤性质效应分析:土壤团聚体分维对土壤性质效应的弹性系数(EP)为了反映某一土壤性质的变化率与土壤团聚体分维的变化率的比值,以表达土壤团聚体分维影响该土壤性质指标的效应规律,引入经济领域中常用的弹性系数分析法

$$\begin{aligned} EP &= (\Delta Y/Y)/(\Delta D/D) \\ &= (\Delta Y/\Delta D)/(Y/D) \\ &= \beta \end{aligned} \quad (6)$$

当 $EP > 1$ 时效应处于递增阶段;当 $EP < 0$ 时,效应处于负效应阶段;当 $0 < EP < 1$ 时,效应处于递减阶段。

土壤团聚体分维对土壤性质的边际量分析:为了反映连续追加每一单位土壤团聚体分维的量,所导致受其影响的土壤性质的指标增加量情况,亦引用经济领域中常用的边际分析法进行分析

$$\begin{aligned} MPP &= \partial Y / \partial D \\ &= \beta(Y/D) \\ &= \beta(\sum Y_i / \sum D_i) \end{aligned} \quad (7)$$

MPP 为边际量, $\sum Y_i$ 为各林地土壤性质指标含量的和, $\sum D_i$ 各林地土壤团聚体结构分维和。

3 结果与分析

3.1 土壤团粒结构分形维数

应用回归分析法计算得到杉木四种混交方式土壤团粒结构的粒径分布的分形维数。四种方式土壤团粒结构的粒径分布的分形维数在 2.496 ~ 2.827 之间(表 1),无论是湿筛还是干筛条件下,都表现为 < 0.25 mm 的质地细的土壤含量高时,其分形维数也高,即 > 0.25 mm 的团粒含量越低,其结构的粒径分布的分形维数越高。土壤被认为是一种具有分形特征的分散多孔介质,是因为它的结构性状具有统计意义上的自相似性质。土壤团粒结构粒径分布的分形维数反映了 > 0.25 mm 粒径的土壤团聚体(干筛)、土壤水稳性团聚体(湿筛)含量对土壤结构与稳定性的影响趋势,即团粒结构的分维越小,则土壤越具有良好的结构与稳定性。土壤团聚体、水稳性团聚体含量(Y)与团粒结构的分维(D)关系如下

$$D = 3.314 - 0.0092 Y \quad R = 0.981$$

从上式也可以看出,随着分形维数的增加, > 0.25

mm 粒径的土壤颗粒在不断的减少。说明分维能客观反映团粒结构的结构性状。从而为研究土壤特征提供了一个新的指标。

表 1 不同经营类型土壤团聚体组成
Table 1 The soil aggregate composition in different management pattern (%)

模式 Pattern	团聚体大小 aggregate composition size (mm)							结构破坏率(%) Percent of Construction damage	相关系数 Correlation coefficient	分形维数 Fractal dimension
	> 5	5~ 2	2~ 1	1~ 0.5	0.5~ 0.25	< 0.25	> 0.25			
A	5.12	8.86	19.28	19.00	11.74	36.02	64.00	25.15	0.967	2.734
	6.20	18.70	32.4	16.30	11.90	14.50	85.50		0.972	2.496
B	18.68	7.52	15.50	18.28	10.26	29.86	70.14	16.60	0.983	2.699
	21.90	15.00	20.80	17.60	8.80	15.90	84.10		0.986	2.533
C	12.74	9.56	14.14	17.02	9.78	36.76	63.24	25.86	0.985	2.746
	18.40	20.50	20.90	16.7	8.80	14.70	85.30		0.988	2.508
D	7.90	3.46	13.68	14.60	9.64	50.72	49.28	39.68	0.973	2.827
	30.40	17.00	13.00	11.50	8.00	18.30	81.70		0.999	2.585

分子为湿筛、分母为干筛; 表中资料来源文献[10]。

表 2 不同经营类型土壤化学性质
Table 2 The chemical properties of soil in different management pattern

模式 Pattern	深度 (cm)	有机质 (g·kg ⁻¹)	全氮 (g·kg ⁻¹)	全磷 (g·kg ⁻¹)	水解氮 (mg·kg ⁻¹)	速效磷 (mg·kg ⁻¹)	速效钾 (mg·kg ⁻¹)
A	0~ 20	17.34	1.178	0.561	42.10	6.25	72.0
B	0~ 20	13.96	1.135	0.463	43.10	3.90	63.0
C	0~ 20	24.95	1.130	0.526	49.30	1.25	96.0
D	0~ 20	11.41	0.873	0.426	32.10	1.15	60.0

表 3 不同经营类型土壤酶活性
Table 3 The biological activities of soil in different management pattern

模式 Pattern	深度 (cm)	脲酶	转化酶	淀粉酶	磷酸酶	过氧化物酶	多酚氧化酶
A	0~ 20	4.22	5.03	2.57	3.15	14.92	9.55
B	0~ 20	4.03	4.72	2.25	2.88	12.17	7.73
C	0~ 20	3.95	4.25	2.09	2.53	10.53	6.62
D	0~ 20	3.81	4.03	1.98	2.49	8.86	6.5

3.2 不同混交方式杉木人工林土壤团粒结构分维特征比较

采用分形理论分析四种杉木经营方式的土壤团粒结构分形特征的差异性(表 1)。四种经营方式中土壤团粒的分形维数大小的顺序为: 在湿筛条件下, D(2.827) > C(2.746) > A(2.734) > B(2.699); 在干筛条件下, D(2.585) > B(2.533) > C(2.508) > A(2.496)。可见, 无论是在湿筛还是干筛条件下, 四种方式中都是杉木纯林(D) 中的土壤团粒的分形维数最高, 其土壤团聚体、水稳性团聚体含量分别为 49.28% 和 81.7%, 在四种方式中是最低的; 同时杉木纯林的土壤结构体破坏率是四种方式中最高的,

表明其结构与稳定性在四种形式中是最差的。在湿筛条件下, 土壤团粒的分形维数最低的是 B 方式, 它的土壤团聚体含量是最高的, 而且结构体破坏率是最低的, 表明在这种混交模式下土壤结构是最好的。在干筛条件下土壤结构最好的是 A 模式, 但从表 1 可以看出 A、B、C 三混交模式下土壤水稳性团聚体的含量分别为 85.5%、84.1% 和 85.3%, 可见相差不大; 而土壤结构体破坏率分别为 25.15%、16.6% 和 25.86%, B 方式与 A、C 两种方式相差较大。因此综合湿、干两种条件, 杉木观光木按 3:1 行带混交(B) 条件下的土壤团粒结构性最好。

表 4 土壤孔隙组成状况

Table 4 The soil porosity in different management pattern (%)

模式 Pattern	深度 (cm)	重度 (g·cm ⁻³)	毛管孔隙度 (%)	非毛管孔隙度 (%)	总孔隙度 (%)	通气度 (%)
A	0~ 20	1. 13	51. 53	7. 58	59. 11	27. 33
B	0~ 20	1. 17	43. 97	7. 34	51. 31	20. 62
C	0~ 20	1. 11	44. 91	12. 13	57. 09	26. 28
D	0~ 20	1. 14	39. 28	5. 92	45. 18	18. 07

表 5 不同经营类型土壤水分状况

Table 5 Hydrologic characteristics of soils in different management pattern

模式 Pattern	深度 (cm)	自然含水量 (%)	最大持水量 (%)	最小持水量 (%)	毛管持水量 (%)	贮水量 (%)	最大贮水量 (%)	排水量 (%)	最大排水量 (%)
A	0~ 20	28. 15	52. 35	39. 15	45. 64	118. 31	226. 93	29. 83	52. 63
B	0~ 20	26. 34	44. 04	34. 60	37. 74	103. 65	194. 98	22. 09	37. 69
C	0~ 20	27. 66	51. 25	33. 06	40. 36	113. 78	224. 36	40. 38	69. 31
D	0~ 20	23. 74	39. 56	31. 90	24. 38	90. 20	175. 84	17. 46	33. 17

表 6 分形维数与土壤性质关系模型

Table 6 Model on relationship between soil fractal dimension and soil feature

项目 Item	模型 Model	R	弹性系数(%)		边限量	
			湿筛	干筛	湿筛	干筛
有机质	$Y= 47752927D_S^{6.399}D_G^{-23.023}$	0. 836	6. 399	- 23. 023	39. 338	- 153. 896
全氮	$Y= 4. 5E+ 09 D_S^{-3.306}D_G^{-5.381}$	0. 998	- 3. 306	- 5. 381	- 1. 296	- 2. 294
全磷	$Y= 394. 4573 D_S^{2.533}D_G^{-9.967}$	0. 996	2. 533	- 9. 967	0. 455	- 1. 946
水解氮	$Y= 650129. 7 D_S^{-2.857}D_G^{-7.3}$	0. 883	- 2. 857	- 7. 3	- 43. 247	- 120. 152
速效磷	$Y= 4. 63E+ 14 D_S^{-24.843}D_G^{-8.336}$	0. 699	- 24. 843	- 8. 336	- 28. 328	- 10. 336
速效钾	$Y= 133967. 7 D_S^{5.736}D_G^{-14.37}$	0. 763	5. 736	- 14. 37	151. 661	- 413. 127
脲酶	$Y= 36. 05786 D_S^{-0.486}D_G^{-1.839}$	0. 846	- 0. 486	- 1. 839	- 0. 707	- 2. 909
转化酶	$Y= 492. 0395 D_S^{-2.695}D_G^{-2.122}$	0. 798	- 2. 695	- 2. 122	- 4. 415	- 3. 780
淀粉酶	$Y= 392. 6449 D_S^{-1.106}D_G^{-4.374}$	0. 752	- 1. 106	- 4. 374	- 0. 893	- 3. 842
磷酸酶	$Y= 246. 6039 D_S^{-2.303}D_G^{-2.116}$	0. 683	- 2. 503	- 2. 116	- 2. 513	- 2. 310
过氧化物酶	$Y= 874983. 8 D_S^{-3.769}D_G^{-8.008}$	0. 837	- 3. 769	- 8. 008	- 15. 917	- 36. 773
多酚氧化酶	$Y= 8128. 305 D_S^{-1.774}D_G^{-5.593}$	0. 643	- 1. 774	- 5. 593	- 4. 900	- 16. 798
容重	$Y= 0. 866962 D_S^{-1.377}D_G^{1.794}$	0. 923	- 1. 377	1. 794	- 0. 569	0. 806
毛管孔隙度	$Y= 18663. 8 D_S^{0.501}D_G^{-7.047}$	0. 92	0. 501	- 7. 047	8. 180	- 125. 101

3.3 各土壤性质与分维关系模型

将表 2~ 4 中的数据输入计算机, 求解得到各土壤性质变化与土壤团聚体分形维数的回归模型(表 5)。由表 5 可知无论是湿筛还是干筛得到的土壤团聚体分形维数都与各土壤性质变化存在显著相关性。因此可以利用这些模型预报各土壤团聚体结构分形维数对应的土壤性质指标值。

3.4 分形维数对各土壤性质变化的弹性分析及边际分析

应用(6)式对湿干两种条件下土壤团聚体分形维数对各土壤性质变化的弹性系数进行计算(表

5)。由表 5 可知, 在湿筛条件下, 处于弹系数> 1, 属于 EP> 1, 其效应处于对各土壤性质变化递增阶段的有: 有机质、全磷、速效钾、非毛管孔隙度、总孔隙度、通气度、最大持水量、最大贮水量、排水量、最大排水量, 分形维数每增加 1%, 以上各指标分别增加 6.399%、2.533%、5.736%、3.164%、1.089%、4.22%、2.252%、1.933%、7.158%、9.126%。处于 1> EP> 0, 其效应处于对各土壤性质变化递减阶段有: 毛管孔隙度和贮水量, 分形维数每增加 1%, 以上各指标分别降低 0.501% 和 0.66%。处于 EP< 0, 其效应处于对各土壤性质变化负效应阶段的有:

全氮、水解氮、速效磷、脲酶、转化酶、淀粉酶、磷酸酶、过氧化物酶、多酚氧化酶、重度、自然含水量、最小持水量和毛管持水量,分形维数每增加1%,以上各指标分别按其自身弹性系数降低;在干筛条件下,处于弹性系数 >0 的指标只有重度(1.794 g/cm^3),属于 $EP>1$,其效应处于对各土壤性质变化递增阶段,分形维数每增加1%,其指标值增加1.794%。由于 $EP<0$,所以分形维数每增加1%,有机质、全氮、全磷、水解氮、速效磷、速效钾、脲酶、转化酶、淀粉酶、磷酸酶、过氧化物酶、多酚氧化酶、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度、通气度、自然含水量、最大持水量、最小持水量、毛管持水量、贮水量、最大贮水量、排水量和最大排水量分别降低23.023%、5.381%、9.967%、7.300%、8.336%、14.370%、1.839%、2.122%、4.374%、2.116%、8.008%、5.593%、7.047%、16.010%、8.737%、16.053%、4.813%、10.352%、3.962%、14.439%、8.353%、9.406%、26.562%和25.891%。

应用(7)式对湿、干筛条件下土壤团聚体分形维数对各土壤性质变化的边际量进行计算(见表4),在不同过筛条件下,土壤团聚体分形维数对各土壤性质变化的边际量亦有明显不同。湿筛条件下,土壤团聚体分维每增加一个单位值,林地土壤的有机质、全氮、全磷、水解氮、速效磷、速效钾、脲酶、转化酶、淀粉酶、磷酸酶、过氧化物酶、多酚氧化酶、重度、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度、通气度、自然含水量、最大持水量、最小持水量、毛管持水量、贮水量、最大贮水量、排水量和最大排水量依次变化为39.338%、1.296%、0.455%、-43.247%、-28.328%、151.661%、-0.707%、-4.415%、-0.893%、-2.513%、-15.917%、-4.900%、-0.569%、8.180%、9.478%、21.045%、35.390%、-1.183%、38.304%、-2.962%、-42.474%、25.542%、144.388%、71.385%、159.867%;在干筛条件下,土壤团聚体分维每增加一个单位值,林地土壤的上述指标依次变化为-153.896%、-2.294%、-1.946%、-120.152%、-10.336%、-413.127%、-2.908%、-3.780%、-3.842%、-2.310%、-36.773%、-16.798%、0.806%、-125.101%、-52.149%、-183.587%、-146.383%、-50.351%、-191.454%、-54.295%、-211.293%、-351.499%、-763.956%、-288.031%、-493.162%。由边际分析可知,在湿筛条件下,土壤团聚体分维的变化对有机质、速效磷、

速效钾、通气度、总孔隙度、最大持水量、贮水量、最大贮水量、排水量和最大排水量影响较大;在干筛条件下,土壤团聚体分维的变化对有机质、速效钾、毛管孔隙度、非毛管孔隙度、总孔隙度、通气度、自然含水量、最大持水量、最小持水量、毛管持水量、贮水量、最大贮水量、排水量和最大排水量影响较大。

4 讨论

土壤团聚体和水稳性团聚体的状况是影响土壤肥力的一个重要因素。土壤中这两种团聚体含量越高表明该土壤相对越松散、通透性越好,林地表层生物活动加强,矿化作用加快,有利于土壤肥力的提高。在本研究中土壤团粒结构的粒径分布的分形维数与土壤团聚体及水稳性团聚体含量之间存在明显的直线关系,通过对团粒体的分形维数的研究可以正确的反映出林地土壤的结构性和稳定性,从而为土壤肥力的测定研究提供了一个新的思路。

对四种类型的杉木人工林的研究表明:无论是湿筛还是干筛条件下,杉木纯林的土壤的团粒体的分形维数都是最高的,因此该林地的土壤稳定性及自我培肥性较差,这是因为杉木纯林的凋落物较少。据报道大部分郁闭的林分中每年每公顷约2000 kg,仅为阔叶林的40%~50%,而且所含营养元素也比阔叶林低,加上杉木是速生高产的树种,耗肥较多,因此杉木纯林的林地土壤状况不理想^[1]。而在混交林中由于观光木树种在形态和生态要求上与杉木有一定的差异性,两树种间关于土壤养份的竞争要比杉木种内小,而且作为阔叶树种其凋落物数量及所含营养元素也较杉木多,因此混交林的土壤状况要比纯林的理想。在三种混交模式中,经过土壤团粒体的分形维的综合比较,以行带混交的B模式土壤状况最好。

弹性分析与边际分析表明,在湿筛条件下,土壤性质变化的效应处于递增阶段的弹性系数在1.089%~9.126%间,处于递减阶段的弹性系数在0.501%~0.66%间,处于负效应阶段的弹性系数在-24.84%~-0.123%间,而每连续追加一个单位分维,土壤性质变化的边际量为-43.247%~159.867%;在干筛条件下,土壤性质变化的效应除重度外全部处于负效应阶段,每增加1%的分形维数,其弹性系数在-26.562%~-1.839%间,而每连续追加一个单位分维,土壤性质变化的边际量

为 $-493.162\% \sim 0.806\%$ 。可见在湿、干筛两种条件下土壤分形特征对土壤性质影响程度不一样。至于哪一种条件下能够真实的反映土壤的性质,还有待进一步研究。

参考文献(References):

- [1] Yu xintuo. Cultivation of chinese fir[M]. Fuzhou: Fujian Science and Technical Publishing House, 1977, 322~ 335. [俞新妥. 杉木栽培学[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 1997. 322~ 335.]
- [2] Zhou Yu, Li Hongwei, Xu Qiang. Effect of Yunnan pine forest canopy on soil erosion[J]. *Journal of mountain science*, 1999, **17** (4): 324~ 328. [周跃, 李宏伟, 徐强. 云南松林的林冠对土壤侵蚀的影响[J]. 山地学报, 1999, **17** (4): 324~ 328.]
- [3] He Yurong, Yang Zhaocong, Chen Xuehua, et al. Characteristics and classification of K_{2g} purple cambisol in the west of Sichuan basin [J]. *Journal of mountain science*, 1999, **17** (1): 28~ 33. [何毓蓉, 杨昭琮, 陈学华, 等. 四川盆地西部灌口组(K_{2g})紫色雏形土的特征与分类[J]. 山地学报, 1999, **17** (1): 28~ 33.]
- [4] Yi ShanM in, Cai ShanWu. The Fractal dimension characteristics of landslides activities in the zhangmu area of tibet and its geological significance[J]. *Journal of mountain science*, 1999, **17** (1): 63~ 66. [易顺民, 蔡善武. 西藏樟木滑坡活动空间分布的分维特征及其地质意义[J]. 山地学报, 1999, **17** (1): 63~ 66.]
- [5] Turcotte, D. L. J. Fractal fragmentation[J]. *Geophys. Res.*, 1986, **91** (12): 1921~ 1926.
- [6] Yang Peiling, Luo Yuanpei, Shi Yuanchun. Fractal feature of soil on expression by weight distribution of grain size[J]. *Chin Sci Bull*, 1993, **38** (20): 1896~ 1899. [杨培岭, 罗远培, 石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报, 1993, **38** (20): 1896~ 1899.]
- [7] Wu Chengzhen, Hong Wei. Study on fractal features of soil aggregate structure under different management patterns[J]. *Acta Pedol Sin*, 1999, **36** (2): 162~ 167. [吴承祯, 洪伟. 不同经营模式土壤团粒结构的分形特征研究[J]. 土壤学报, 1999, **36** (2): 162~ 167.]
- [8] Wu Chengzhen, Hong Wei. Study on soil fractal characteristics of purple soil and its relationship to soil erodibility[J]. *J Soil Erosion & Soil & Water conservation*, 1998, **4** (6): 37~ 41. [吴承祯, 洪伟. 紫色土壤分形特征及土壤可蚀性关系研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1998, **4** (6): 37~ 41.]
- [9] Liu Jinfu, Hong Wei, Wu Chengzhen. Fractal Features of Soil Clusters Under Some Precious Hardwood Stands in the Central Subtropical Region, China[J]. *Acta Ecol Sin*, 2002, (2): 198~ 205. [刘金福, 洪伟, 吴承祯. 中亚热带几种珍贵树种林分土壤团粒结构的分维特征[J]. 生态学报, 2002, (2): 198~ 205.]
- [10] Zheng Yushan, Ding Yingxiang. A study on soil character for Chinese fir plantation mixed with *Tsoongiodendron odorum* [J]. *Journal of Nanjing Forestry University*, 1997, **21** (4): 31~ 35. [郑郁善, 丁应祥. 观光木-杉木混交林土壤性状研究[J]. 南京林业大学学报, 1997, **21** (4): 31~ 35.]
- [11] Katz, A. J. Thompson, A. H. Phys. Rev. Lett, 1985, **54** (12): 1325~ 1328.

Fractal Feature of Soil Aggregation in Different Management Patterns of Chinese Fir Plantation Mixed with *Tsoongiodendron odorum*. *Journal*

FENG Lei¹, HONG Wei², WU Chengzhen², SONG Ping²

(1. College of Resources and Environment, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002;

2. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Nanping 353001)

Abstract: In this paper, the fractal theory, elasticity analysis and marginal yield analysis were used to study the soil aggregation structure in different management patterns. The effects of soil properties variety were analyzed by fractal dimension. The result showed that the more the content of the cluster $> 0.25\text{nm}$ and the water-stable cluster, the less the fractal dimension of soil cluster and the higher the soil fertility. The soil condition of Chinese fir plantation mixed with *Tsoongiodendron odorum*. Journal in rows has the greatest advantages in comparison among all the four management patterns. There are remarkable relationship between the fractal dimension and the content of soil cluster or water-stable cluster. The fractal theory of soil will provide scientific basis for management of forest land soil.

Key word: Chinese fir plantation; fractal dimension; elasticity analysis; marginal yield analysis; soil properties