

文章编号: 100F 1498(2002) 06 0700 06

不同森林植被下土壤化学和生物化学肥力的综合评价

姜春前¹, 徐庆², 姜培坤³

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 2 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091; 3. 浙江林学院资源与环境系, 浙江 临安 311300)

摘要: 利用模糊数学和多元统计分析原理, 对常绿阔叶林、针阔混交林、马尾松林和杉木林 4 类森林植被下土壤化学和生物化学肥力进行了综合评价。结果表明: 4 类林分土壤化学、生物化学综合肥力由高到低依次是常绿阔叶林、针阔混交林、马尾松林、杉木林, 0—20 cm 土层土壤肥力综合指标值分别为 0.741 2、0.579 6、0.479 8、0.347 6, 20—40 cm 土层则分别是 0.235 7、0.174 6、0.159 2、0.116 8。土壤肥力综合评价结果和单项肥力指标分析结果一致, 但比单项肥力分析更具说服力。

关键词: 常绿阔叶林; 针阔混交林; 马尾松林; 杉木林; 土壤肥力; 综合评价

中图分类号: S714

文献标识码: A

森林植被类型是影响土壤化学和生物化学性质的主要因素^[1-3]。以往的研究表明, 阔叶林由于凋落物数量大, 易分解, 因而其土壤养分含量和土壤生物学活性常高于针叶林^[4], 针叶林中尤其是杉木林由于其枯死枝叶有宿存特性, 凋落晚并难贴地面和其分解慢常造成地力的衰退^[5,6]。但迄今为止, 对不同森林植被下土壤化学和生物化学肥力的研究只局限于单个指标的比较, 众多肥力指标的综合评价只在一些土壤学文献中有所报道^[7,8]。本文选择亚热带地区的常绿阔叶林、针阔混交林、马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb.) 林和杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 林为研究对象, 在对 4 种林分土壤化学、生物学单项肥力比较的基础上, 应用模糊数学和多元统计中的因子分析原理对 4 种林分土壤的化学和生物化学肥力进行综合评价, 以探求不同森林植被下土壤肥力的变化规律。同时也对综合评价法在林地土壤肥力评价中的适用性进行研究。

1 样品与方法

1.1 样品来源

土壤样品采自浙江省淳安县境内的千岛湖地区。千岛湖是我国著名的国家级森林公园, 地处 29°22′—29°50′ N, 118°34′—119°15′ E。千岛湖地区由于封山育林, 少有人为活动, 使库区森林得以很好保护, 是研究森林生态效益的理想场所。1999 年春在属于同森林立地类型区的千岛湖姥山、龙川、小金山等林场进行调查、采样。这几个林场分布有大量常绿阔叶林、针阔混交林(以马尾松优势度 30%—60% 为标准)、马尾松林(以马尾松优势度大于 60% 为标准) 和人

收稿日期: 2002-03-12

基金项目: 2000—2002 年亚太区域示范林项目(GCT/RAS/177/JPN)资助

作者简介: 姜春前(1963), 男, 安徽全椒人, 副研究员。

工杉木林。土壤为发育于沉积岩砂岩、页岩的红壤土类黄红壤亚类。通过调查, 选定4种林分样地各5个, 各林分样地状况见表1。

表1 调查林分的基本情况

样地号	林分类型	地点	林龄/a			坡位	土层厚/ cm	腐殖质层 厚/cm	岩性	郁闭度/ %		
1	常绿阔叶林	姥山	优势种	25	26, 伴生种	10	20	中坡	95	14.0	砂岩	95
2	常绿阔叶林	姥山	优势种	25	26, 伴生种	10	20	中坡	100	10.0	砂岩	91
3	常绿阔叶林	小金山	优势种	25	26, 伴生种	10	20	中坡	90	12.0	砂岩	85
4	常绿阔叶林	小金山	优势种	25	26, 伴生种	10	20	中坡	103	16.0	页岩	96
5	常绿阔叶林	龙川	优势种	25	26, 伴生种	10	20	中坡	94	12.0	砂岩	93
6	针阔混交林	龙川	马尾松	25	27, 阔叶树	10	20	中坡	80	10.0	砂岩	96
7	针阔混交林	龙川	马尾松	25	27, 阔叶树	10	21	中坡	75	8.0	砂岩	90
8	针阔混交林	龙川	马尾松	25	27, 阔叶树	10	22	中坡	90	13.0	砂岩	93
9	针阔混交林	小金山	马尾松	25	27, 阔叶树	10	23	中坡	93	9.0	页岩	90
10	针阔混交林	姥山	马尾松	25	27, 阔叶树	10	24	中坡	70	9.5	页岩	85
11	马尾松林	姥山	马尾松	25, 夹杂的阔叶树	10	15	中坡	85	7.0	砂岩	87	
12	马尾松林	姥山	马尾松	25, 夹杂的阔叶树	10	16	中坡	68	7.5	砂岩	73	
13	马尾松林	姥山	马尾松	25, 夹杂的阔叶树	10	17	中坡	95	10.0	页岩	92	
14	马尾松林	小金山	马尾松	25, 夹杂的阔叶树	10	18	中坡	90	13.0	页岩	90	
15	马尾松林	小金山	马尾松	25, 夹杂的阔叶树	10	19	中坡	78	8.1	页岩	85	
16	杉木林	小金山	20				中坡	81	10.0	页岩	80	
17	杉木林	龙川	20				中坡	82	8.0	页岩	78	
18	杉木林	姥山	20				中坡	78	7.4	页岩	78	
19	杉木林	姥山	20				中坡	88	80.0	页岩	80	
20	杉木林	姥山	20				中坡	71	6.5	砂岩	80	

常绿阔叶林: 树种以青冈(*Cyclobalanopsis glauca* (Thund.) Oerst.)、苦槠(*Custanopsis sclerophylla* (Lindl.) Schottky) 为优势种, 另外还伴有木荷(*Schima superba* Gardn. et Champ.)、冬青(*Ilex purpurea* Hassk.)、石栎(*Lithocarpus glaber* (Thunb.) Nak.)、樟(*Cinnamomum camphora* (L.) Presl)、枫香(*Liquidambar formosana* Hance)、黄连木(*Pistacia chinensis* Bunge) 等。优势种林龄在25~26 a, 许多伴生树种林龄在10~20 a。母岩以砂岩为主, 其中1个样地为页岩。针、阔叶混交林: 针叶树为马尾松, 林龄在25~27 a, 伴生阔叶树有木荷、苦槠、青冈、枫香等, 阔叶林树年龄不等, 一般在10~20 a。5个样地中3个样地母岩为砂岩, 2个样地为页岩。马尾松林: 马尾松林龄在25 a左右, 伴生阔叶树有苦槠等, 阔叶树年龄为10~15 a, 5个样地中2个样地母岩为砂岩, 3个样地为页岩。杉木林: 杉木林龄为20 a, 5个样地中有4个样地母岩为页岩, 1个样地为砂岩。

4类林分都是在千岛湖建成后经封山育林或人工造林而形成的, 故年龄接近。样地均建立在离开水库水面50~100 m的坡地中坡地段, 海拔高度均为150~200 m。另外, 样地母岩虽包含了砂岩和页岩, 但不同林分均包含了这两种岩石, 因而林种间土壤本底有可比性, 特别是土壤酶、微生物量碳和土壤有机质、全N的本底是一致的。

1.2 采样与分析方法

在每个样地代表性地段挖掘土壤剖面, 分0~20 cm(a)和20~40 cm(b)两层采集土壤分析样品。土样分成两份, 其中1份鲜样测定土壤微生物量碳; 另外1份风干后测定其它项目。

分析方法如下: 土壤微生物生物量 C 用氯仿熏蒸法^[9]; 土壤全 N 用凯氏法; 有机质用重铬酸钾外加热法; 水解 N 用碱解扩散法; 有效 P 用 Bray 法; 速效 K 和乙酸铵浸提用火焰光度法^[10]。土壤酶全部采用关松荫等方法^[11]。

2 结果与分析

2.1 不同林地土壤化学和生物化学肥力比较

2.1.1 土壤化学肥力比较 对 4 种林分 5 项化学肥力指标进行方差分析和 LSD 法多重比较。结果(表 2)表明, 土壤化学肥力总体上是常绿阔叶林最高, 马尾松和杉木林较低。从单项化学肥力来看, 土壤有机质和全 N 含量常绿阔叶林与针阔混交林之间差异不显著, 但它们均明显高于马尾松和杉木林, 特别是阔叶林 a 层土壤有机质、全 N 分别是马尾松、杉木土壤的 1.52、1.50、1.38、1.54 倍。同时, 杉木林与马尾松林的土壤有机质、全 N 也无显著性差异。有效 P 和速效 K 含量 4 类林分表层土壤均无明显差异, b 层土壤有效 P 含量则是混交林和马尾松林较高。水解 N 含量 a、b 层均表现出常绿阔叶林 > 混交林、马尾松林 > 杉木林的规律, 并差异均达显著水平。这些结果中有有机质、全 N 和水解 N 含量的排序和前人研究结果类似, 即阔叶林土壤高于针叶林土壤^[1], 而不同林种间土壤有效 P 和速效 K 变化和前人研究有不同结果。值得一提的是, 同是针叶林的马尾松林和杉木林的化学肥力差异不大, 除了水解 N 和 b 层土壤有效 P 含量外, 其余指标虽数值上总体表现出马尾松林稍高于杉木林, 但多重比较未发现显著性差异。研究表明, 马尾松凋落物的营养元素多于杉木凋落物, 马尾松凋落物 C/N 小于杉木^[12], 因而它易分解, 马尾松林土壤的化学肥力常高于杉木林。此 2 类林分土壤化学肥力差异不显著, 是否可归结于林地的复杂性以及林木生长年龄的差异等, 这也值得进一步深入研究。

表 2 不同林地土壤化学肥力比较

林分类型	有机质/(g·kg ⁻¹)		全 N/(g·kg ⁻¹)		水解 N/(mg·kg ⁻¹)		有效 P/(mg·kg ⁻¹)		速效 K/(mg·kg ⁻¹)	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
常绿阔叶林	43.77 a	15.82 a	1.88 a	0.84 a	170.96 a	89.43 a	7.34 a	1.90 b	93.84 a	58.90 a
针阔混交林	39.57 a	10.38 b	1.73 a	0.71 b	132.79 b	58.97 b	7.33 a	2.53 a	87.00 a	62.88 a
马尾松林	28.89 b	10.34 b	1.36 b	0.68 b	123.98 b	57.27 b	5.33 a	2.18 a	73.68 a	58.76 a
杉木林	29.13 b	9.39 b	1.21 b	0.60 b	109.53 c	40.35 c	5.39 a	1.75 b	61.33 a	49.38 a

注: 表中数据为 5 个样本的平均值, 同列中不同字母表示差异达显著水平 ($P < 0.05$), 下表同。表头中的 a、b 分别表示 0 20 cm, 20 40 cm 土层。

2.1.2 土壤生物化学肥力比较 土壤酶活性反映了土壤生物化学过程的强度, 对 4 种林分 5 种生物化学肥力进行方差分析和 LSD 法多重比较后发现(表 3), 4 类林分中常绿阔叶林土壤总体上酶活性最强, 杉木林土壤酶活性最弱, 针阔混交林和马尾松林居中。从各类酶分析可以看到, 4 类林分 a 层土壤脲酶活性无显著差异, 则常绿阔叶林 b 层土壤的脲酶活性显著高于混交林、马尾松林和杉木林。常绿阔叶林 a 层土壤蛋白酶活性最高, 其次是针阔混交林和马尾松林, 杉木林土壤活性最低。常绿阔叶林土壤蛋白酶活性分别是针阔混交林、马尾松和杉木林的 1.54、1.36、2.34 倍; 常绿阔叶林与马尾松林 b 层土壤蛋白酶活性无显著差异, 但它们明显高于混交林和杉木林。针阔混交林、马尾松和杉木林 a、b 层土壤间的蔗糖酶活性均无显著差异, 但它们都明显低于常绿阔叶林, 3 类林分 a 层比常绿阔叶林分别低了 45.71%、44.28%、63.21%; b 层分别降低了 37.01%、37.66%、51.30%。4 类林分 a 层土壤磷酸酶活性无明显不同, 杉木

林和马尾松林 b 层土壤的磷酸酶活性相对较低, 而常绿阔叶林和混交林的较高。

表 3 不同林分类型土壤的生物化学肥力

林分类型	脲酶		蛋白酶		蔗糖酶		磷酸酶		微生物生物量 C	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
常绿阔叶林	0.68 a	0.50 a	0.68 a	0.28 a	2.80 a	1.54 a	78.85 a	14.88 a	0.413 a	0.209 a
针阔混交林	0.58 a	0.25 b	0.44 b	0.19 b	1.52 b	0.97 b	76.87 a	10.32 a	0.317 ab	0.178 b
马尾松林	0.67 a	0.30 b	0.50 b	0.24 a	1.56 b	0.96 b	70.73 a	9.73a b	0.299 b	0.130 b
杉木林	0.50 a	0.21 b	0.29 c	0.17 b	1.03 b	0.75 b	61.03 a	7.45 b	0.231 b	0.081 c

注: 酶活性单位: 脲酶($\text{NH}_3\text{N mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{ h}^{-1}$); 蛋白酶($\text{NH}_2\text{N mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{ h}^{-1}$); 蔗糖酶($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 24\text{ h}^{-1}$); 磷酸酶($\text{P}_2\text{O}_5\text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot 2\text{ h}^{-1}$); 微生物生物量 C($\text{C}\cdot\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)。表头中的 a、b 分别表示 0—20 cm, 20—40 cm 土层。

土壤微生物生物量 C 是反映土壤生物学性质较为理想的指标, 它可以表征土壤质量的总体状况^[13]。从表 3 数据看到, 无论 a 层还是 b 层土壤微生物生物量 C 含量均是常绿阔叶林>混交林>马尾松林>杉木林。但从多重比较结果可以发现, 常绿阔叶林与混交林 a 层土壤的土壤微生物生物量 C 无差异, 混交林、马尾松林、杉木林 3 种林分间也无显著差异; 常绿阔叶林 b 层土壤的土壤微生物生物量 C 显著高于混交林、马尾松林和杉木林, 混交林和马尾松林又显著高于杉木林。

从上面土壤单项肥力指标分析中虽可以看出许多规律, 但由于不同肥力指标在不同林分土壤间排序有差别, 因而要综合来比较不同林分土壤肥力高低还需进行肥力的综合评价。

2.2 不同林分土壤化学、生物化学肥力的综合评价

由于土壤有机质、全 N、水解 N、有效 P、速效 K 含量、土壤各类酶活性和土壤微生物生物量 C 含量的林木效应曲线均为 S 型, 所以据模糊数学原理, 把 S 型曲线转化成相应的折线函数(图 1), 以便于计算^[14]。其隶属函数是:

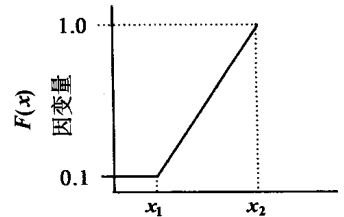


图 1 S 型隶属度函数曲线

$$f(x) = \begin{cases} 1.0 & x \geq x_2 \\ (x - x_1) / (x_2 - x_1) \times 0.9 + 0.1 & x_1 \leq x < x_2 \\ 0.1 & x < x_1 \end{cases}$$

据前人研究, 再结合浙江土壤的特点, 确定图 1 中转折点(x_1 和 x_2) 的值(表 4)^[15, 16]。

表 4 S 型隶属度函数曲线中转折点的取值

转折点	有机质	全 N	水解 N	有效 P	速效 K	脲酶	蛋白酶	蔗糖酶	磷酸酶	微生物生物量 C
x_1	10.00	0.50	80.00	2.50	50.00	0.50	0.20	0.50	50.00	0.10
x_2	50.00	2.00	220.00	10.00	100.00	1.50	1.00	2.50	100.00	0.50

注: 表中单位与表 2、3 相同。

根据表 4 可以计算出不同林分各肥力指标的隶属度值(表 5、6)。得到各肥力指标隶属度值后, 再利用多元统计中因子分析方法, 求出各项化学、生物化学肥力的特征值和贡献率。然后求出各肥力指标的公因子方差和权重值(表 7)^[17]。最后计算不同林分土壤肥力的综合性指标值

IFI(Integrated Fertility Index)。其计算如下: $IFI = \sum_{i=1}^n Wi \times Ni$, 公式中 Ni 和 Wi 分别表示第 i 种肥力指标的隶属度值和权量值。IFI 值越大表示土壤综合肥力水平越高, 反之则越小。

表5 不同林分土壤化学肥力指标的隶属度值

林分类型	有机质		全 N		水解 N		有效 P		速效 K	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
常绿阔叶林	0.86	0.23	0.93	0.30	0.68	0.16	0.68	0.10	0.89	0.26
针阔混交林	0.76	0.11	0.84	0.22	0.44	0.10	0.68	0.10	0.77	0.33
马尾松林	0.52	0.11	0.62	0.21	0.38	0.10	0.44	0.10	0.53	0.26
杉木林	0.53	0.10	0.53	0.16	0.29	0.10	0.45	0.10	0.30	0.10

注: a、b 分别表示 0-20 cm, 20-40 cm 土层。

表6 不同林分土壤生物学肥力指标的隶属度值

林分类型	脲酶		蛋白酶		蔗糖酶		磷酸酶		微生物生物量 C	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
常绿阔叶林	0.26	0.10	0.64	0.19	1.00	0.57	0.62	0.10	0.80	0.34
针阔混交林	0.17	0.10	0.37	0.10	0.56	0.31	0.58	0.10	0.59	0.28
马尾松林	0.25	0.10	0.44	0.14	0.58	0.31	0.47	0.10	0.55	0.17
杉木林	0.10	0.10	0.20	0.10	0.34	0.21	0.30	0.10	0.39	0.10

注: a、b 分别表示 0-20 cm, 20-40 cm 土层。

表7 各肥力因子的公因子方差和权重值

项目	有机质	全 N	水解 N	有效 P	速效 K	脲酶	蛋白酶	蔗糖酶	磷酸酶	微生物生物量 C
公因子方差	0.964 3	0.921 3	0.886 7	0.964 1	0.843 6	0.849 7	0.918 6	0.881 0	0.848 1	0.975 6
权重值	0.106 5	0.101 8	0.097 9	0.106 5	0.093 2	0.093 8	0.101 5	0.097 3	0.093 7	0.107 8

表8 各林分土壤肥力综合指标值

林分类型	a层	b层
常绿阔叶林	0.741 2	0.235 7
针阔混交林	0.579 6	0.174 6
马尾松林	0.479 8	0.159 2
杉木林	0.347 6	0.116 8

注: a、b 分别表示 0-20 cm, 20-40 cm 土层。

从计算结果可以清楚看到(表8), 无论是 a 层还是 b 层土壤肥力综合指标值均是常绿阔叶林 > 针阔混交林 > 马尾松林 > 杉木林, 这个结果和前文单项肥力分析结果是吻合的, 但比单项肥力分析更具说服力。通过化学、生物化学肥力综合评价说明了不同森林植被下土壤化学、生物化学肥力的演化结果, 同时, 也证明了采用肥力综合评价方法来分析不同植被下土壤肥力状况是较为理想的。

参考文献:

- [1] 梁宏温, 黄承标, 胡承彪. 广西宜山县不同林型人工林凋落物与土壤肥力的研究[J]. 生态学报, 1993, 13(3): 235-241
- [2] 姜培坤, 蒋秋怡, 董林根, 等. 杉木樟树根际土壤生化特性比较分析[J]. 浙江林学院学报, 1995, 12(1): 1-5
- [3] 于宁楼. 九龙山不同森林类型立地长期生产力研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2001
- [4] 李昌华. 杉木人工林和阔叶杂木林土壤养分平衡因素差异的初步研究[J]. 土壤学报, 1981, 18(3): 255-261
- [5] 盛炜彤. 杉木人工林的地力衰退及防治对策[A]. 见: 盛炜彤. 人工林地力衰退研究[C]. 北京: 中国科技出版社, 1992
- [6] 盛炜彤, 杨承栋. 关于杉木林下植被对改良土壤性质效用的研究[J]. 生态学报, 1997, 17(4): 377-385
- [7] 王效举, 龚子同. 红壤丘陵小区域不同利用方式下土壤变化的评价和预测. 土壤学报, 1998, 35(1): 135-139
- [8] 杨玉盛, 何宗明, 林光耀. 退化红壤不同治理模式对土壤肥力的影响. 土壤学报, 1998, 35(2): 276-282

- [9] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D C. An extraction method for measuring soil microbial biomass [J]. *Soil Biol & Biochem*, 1987, 19: 703-707
- [10] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999. 146-226
- [11] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1986. 274-330
- [12] 刘长怀, 罗汝英. 宁镇丘陵区森林土壤腐殖质的化学特性[J]. *南京林业大学学报*, 1990, 14(1): 1-5
- [13] Sparling G P. Ratio of microbial biomass C to soil organic C as a sensitive of changes in soil organic matter[J]. *Aust J Soil Res*, 1992, 30: 195-207
- [14] 沈思源. 土壤资源评价指标的研究[M]. 北京: 科学出版社, 1990. 128-133
- [15] 孙波, 张桃林, 赵其国. 我国东南丘陵山区土壤肥力的综合评价[J]. *土壤学报*, 1995, 32(4): 362-369
- [16] 叶仲节, 柴锡周. 浙江林业土壤[M]. 杭州: 浙江科学技术出版社, 1986. 55-100
- [17] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其计算机处理平台[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997. 206-203

Integrated Evaluation of Soil Chemical and Biochemical Fertility under Different Vegetations

JIANG Chun-qian¹, XU Qing², JIANG Pei-kun

(1. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China;

2. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China;

3. Department of Resource and Environment, Zhejiang Forestry College, Linan 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Comprehensive evaluation of soil chemical and biochemical fertility under different vegetations (broadleaved forest, mixture of broad leaved and coniferous trees, *Pinus massoniana*, *Cunninghamia lanceolata*) were conducted using fuzzy mathematics and multiple statistics principle. It is found that the integrated chemical and biochemical fertility ranged as following order: broadleaved > mixture > *Pinus massoniana* > *Cunninghamia lanceolata* (integrated fertility index for 0-20 cm horizon were 0.741 2, 0.579 6, 0.479 8 and 0.347 6 respectively). The result of integrated fertility evaluation is consistent with single factor of fertility evaluation, but it is more convincible.

Key words: broadleaved forest; mixture of broadleaved and coniferous trees; *Pinus massoniana*; *Cunninghamia lanceolata*; soil fertility; integrated evaluation