

缙云山风灾迹地人工混交林生态恢复过程中物种多样性研究

石胜友^{1 2} 杨季冬¹ 王周平² 李旭光²

1 (涪陵师范学院, 重庆 408003)

2 (西南师范大学生命科学学院, 重庆 400715)

摘要: 根据对重庆缙云山风灾迹地人工混交林生态恢复的连续调查资料, 采用 Simpson 指数(D), Shannon-Wiener 指数(H')和 Pielou 均匀度指数(J)进行 α 多样性测度, 采用 Sorenson 指数, Bray-Curtis 指数和 Morisita-Horn 指数进行 β 多样性测度。结果表明: 木本植物 α 多样性在时间尺度上的变化随人工混交林演替的进行而增大, 草本植物的 α 多样性则减少; β 多样性指数在不同的时间尺度上差异明显, 说明风灾迹地人工混交林生态恢复过程中物种的周转率相对较快, 一些人工种植的针叶树种被常绿阔叶树种代替, 这一特点反映了风灾迹地人工混交林向地带性植被常绿阔叶林的方向发展的趋势。

关键词: 人工混交林, 生态恢复, 植物多样性, 时间尺度, 缙云山

中图分类号: Q948

文献标识码: A

文章编号: 1005-0094(2002)03-0274-06

Species diversity in the progression of ecological restoration of artificial mixed forest after wind-damage in Jinyun Mountain, Sichuan

SHI Sheng-You^{1 2}, YANG Ji-Dong¹, WANG Zhou-Ping², LI Xu-Guang²

1 Fuling Normal College, Chongqing 408003

2 Faculty of Life Science, Southwest Normal University of China, Chongqing 400715

Abstract: In June 1989, a catastrophic storm hit Jinyun Mountain, and destroyed much of forest. After this storm, the Jinyun Mountain Natural Protection Bureau planted *Pinus massoniana*, *Gordonia acuminata*, *Castanopsis carlessii* var. *spinulosa*, and *Symplocos setchuanensis*, etc. on the wind-damaged slash. At the same time we established fixed sample plots at the site of wind-damaged slash and investigated the species, quantity and growth state of the plants at the wind-damaged slash in 1990, 1992, 1994, 1996, 1999 and 2001. On the basis of the investigation into ecological restoration of artificial mixed forest of wind-damaged slash in Jinyun Mountain, we computed the Simpson index, Shannon-Wiener index, Pielou index, Sorenson index, Morisita-Horn index, and Bray-Curtis index. The result indicates that α -diversity of woody-plants increases with artificial mixed forest succession while that of grassy-plants decreases. On different time-scales, β -diversity is obviously different. This indicates that artificial mixed forest of wind-damaged slash has high species turnover rates, and evergreen broad-leaved species have replaced some coniferous species. It is concluded that artificial mixed forest of wind-damaged slash tends to become evergreen broad-leaved forest.

Key words: artificial mixed forest, ecological restoration, plant diversity, succession, Jinyun Mountain

生物多样性是恢复生态学研究的主要内容之一, 生态系统的退化常伴随生物多样性的丧失。亚热带常绿阔叶林在我国分布最广, 其生物多样性资

源丰富, 但由于人为因素和自然因素的干扰, 典型的天然常绿阔叶林受到严重破坏, 生物多样性资源大大减少, 其改善环境的功能衰退, 生产力下降。因

此, 研究受干扰的亚热带常绿阔叶林生态系统的物种多样性变化规律及保护对策是非常重要的课题(彭少麟, 方伟, 1995)。近年来, 一些学者对缙云山亚热带常绿阔叶林物种多样性进行了研究, 已取得了一些成果(李旭光等, 1996; 田茂洁等, 1998; 韩玉萍等, 1999; 齐代华等, 2001), 但对于缙云山风灾迹地物种多样性的变化还没有人研究。本文根据1990、1992、1994、1996、1999和2001年6年积累的调查资料, 对缙云山风灾迹地人工混交林生态恢复过程中物种多样性变化进行了初步研究, 以期为进一步探讨亚热带常绿阔叶林受干扰后恢复和重建的有效途径, 促进森林生物多样性保护和可持续利用提供理论依据。

1 研究区概况

缙云山位于重庆北碚, 其山体自然特征和植被概况已有报道(刘玉成等, 1984; 钟章成, 1988)。缙云山典型的地带性植被是中亚热带湿润性常绿阔叶林(刘玉成等, 1984)。1989年6月, 缙云山遭受了百年不遇的特大暴风雨袭击, 受灾面积达50多公顷, 数百年的古树被连根拔起或拦腰折断。风灾后, 缙云山自然保护区与西南师范大学生物地理研究所在风灾迹地建立了“中亚热带常绿阔叶林次生演替前期定位观测样地”。研究样地设在缙云山停车场下, 海拔640 m, 坡度30°, 坡向SE30, 样地面积5000 m²。

2 研究方法

2.1 样方的设置和调查

1989年10月缙云山自然保护区在风灾迹地营造了马尾松(*Pinus massoniana*)、四川大头茶(*Gordonia acuminata*)、小叶栲(*Castanopsis carlesii* var. *spinulosa*)、四川山矾(*Symplocos setchuanensis*)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、柳杉(*Cryptomeria fortunei*)、水杉(*Metasequoia glyptostroboides*)、南方红豆杉(*Taxus chinensis* var. *mairei*)、刺柏(*Juniperus formosana*)、白乳木(*Sapium japonicum*)、栲树(*Castanopsis fargesii*)和香樟(*Cinnamomum camphora*)等大面积的人工混交林。植被的调查从1990年5月开始, 然后分别在1992、1994、1996、1999和2001年进行重复调查, 对固定样方内的50个10 m × 10 m的立木进行每木调查, 记录每个立木的树

高、冠幅、胸围和株数。在每样方内随机选取2 m × 2 m的小样方调查草本, 记录种名、盖度、高度和多度。

2.2 生物多样性的测度

1) 重要值

$$\text{重要值}(IV) = \text{相对密度}(RD) + \text{相对频度}(RF) + \text{相对盖度}(RC) \quad (1)$$

2) α 多样性(李新荣等, 2000)

$$\text{Simpson 指数 } D = 1 - \sum_{i=1}^S P_i^2 \quad (2)$$

Shannon-Wiener 指数

$$H' = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \quad (3)$$

Pielou 的均匀度指数

$$J = \left(- \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i \right) / S \quad (4)$$

式中 P_i 为种 i 的个体数占所有个体总数的比例, S 为种 i 所在样方的物种总数。

3) β 多样性(马克平等, 1995)

$$\text{Sorenson 指数 } C_s = 2j / (a + b) \quad (5)$$

式中 j 为两个群落的共有种数, a 和 b 分别为群落 A 和 B 的物种数。

Bray-Curtis 指数

$$C_N = 2jN / (aN + bN) \quad (6)$$

式中 aN 为样地 A 的物种数目, bN 为样地 B 的物种数目, jN 为样地 A (jaN) 和 B (jbN) 共有种中个体数目较小者之和。本文用种的重要值代替个体数。

Morisita-Horn 指数

$$C_{MH} = \frac{2 \sum_{i=1}^S (a_i \cdot b_i) aN \cdot bN}{bN^2 \sum_{i=1}^S a_i^2 + aN^2 \sum_{i=1}^S b_i^2} \quad (7)$$

式中 aN , bN 同上式, a_i 和 b_i 为 A 和 B 两样地中第 i 种的个体数目(用重要值代替)。

3 结果与分析

3.1 风灾迹地生态恢复过程中生境与物种多样性的变化

表1反映了缙云山风灾迹地人工混交林在时间尺度上植被的组成变化特点。从表1可以看出, 缙云山风灾迹地人工混交林经过11年的自然恢复, 物种的组成和结构发生了很大的变化。其原因是由于风灾迹地的生境良好, 种子库中有大量的原有植物的种子, 周围未被破坏的群落亦提供大量的种源, 所

表 1 缙云山风灾迹地生态恢复过程中物种多样性的变化

Table 1 Species diversity change in the progression of ecological restoration of wind-damaged slash in Jinyun Mountain (1990 ~ 2001)

物种 Species	重要值 Importance value					
	1990	1992	1994	1996	1999	2001
木本植物						
四川大头茶 <i>Gordonia acuminata</i>	44.7	41.4	35.1	27.3	15.0	11.1
小叶栲 <i>Castanopsis carlesii</i> var. <i>spinulosa</i>	41.7	52.2	53.4	55.2	58.2	62.1
马尾松 <i>Pinus massoniana</i>	58.5	40.8	37.2	32.4	17.4	11.7
四川山矾 <i>Symplocos setchuanensis</i>	31.8	44.7	45.6	46.2	47.4	54.6
罗浮柿 <i>Diospyros morrisiana</i>	4.2	3.3	5.1	3.9	3.6	3.3
薯豆 <i>Elaeocarpus japonicus</i>	3.3	3.6	4.2	4.5	3.3	3.6
白乳木 <i>Sapium japonicum</i>	6.3	5.7	5.4	6.3	6.0	6.6
四川杨桐 <i>Adinandra bockiana</i>	/	/	/	2.4	3.9	5.4
白毛新木姜子 <i>Neolitsea aurata</i> var. <i>glauca</i>	/	/	3.0	4.2	5.7	11.6
杉木 <i>Cunninghamia lanceolata</i>	21.3	18.3	16.5	6.6	4.2	/
广东山胡椒 <i>Lindera kwangtungensis</i>	/	/	/	2.4	3.3	7.2
柳杉 <i>Cryptomeria fortunei</i>	9.9	7.5	6.3	5.1	3.0	/
润楠 <i>Machilus pingii</i>	/	/	1.5	2.1	2.7	3.0
香樟 <i>Cinnamomum camphora</i>	3.6	4.2	4.8	3.9	3.6	4.2
毛叶木姜子 <i>Litsea mollis</i>	/	/	/	2.7	3.3	6.6
缙云猴欢喜 <i>Sloanea tsinyunensis</i>	2.7	3.3	2.4	3.6	3.0	3.6
枫香 <i>Liquidambar formosana</i>	4.2	3.6	4.5	3.3	2.1	3.3
毛桐 <i>Mallotus barbatus</i>	/	/	3.3	2.1	2.4	2.7
大果杜英 <i>Elaeocarpus duclouxii</i>	3.3	2.1	2.4	2.7	3.9	2.7
小叶青冈 <i>Quercus myrsinaefolia</i>	4.2	5.7	5.1	3.6	3.0	2.1
水杉 <i>Metasequoia glyptostroboides</i>	11.8	6.1	4.2	2.7	1.8	/
南方红豆杉 <i>Taxus chinensis</i> var. <i>mairei</i>	10.1	5.4	4.8	3.9	2.8	/
刺柏 <i>Juniperus formosana</i>	9.2	4.5	3.9	3.3	2.1	/
桤木 <i>Alnus cremastogyne</i>	4.2	3.9	3.3	4.5	2.6	4.2
灯台树 <i>Cornus controversa</i>	3.6	3.3	2.7	3.3	3.9	2.1
栲树 <i>Castanopsis fargesii</i>	5.1	4.1	4.5	5.7	5.4	6.2
盐肤木 <i>Rhus chinensis</i>	/	/	2.1	3.3	4.2	3.6
假轮叶木姜子 <i>Litsea elongata</i> var. <i>subverticillata</i>	/	/	/	2.7	3.9	6.3
黄牛奶树 <i>Symplocos laurina</i>	/	/	/	1.8	3.3	5.4
山黄皮 <i>Randia cochinchinensis</i>	/	/	/	6.0	3.0	5.7
刺叶樱 <i>Prunus spinulosa</i>	/	/	1.8	2.4	3.0	3.9
光叶山矾 <i>Symplocos lancifolia</i>	/	/	/	/	4.2	6.0
绒毛红果树 <i>Stranvaesia amphidoxa</i>	/	/	/	3.0	3.6	7.2
石栎 <i>Lithocarpus glaber</i>	4.2	8.1	6.9	6.4	3.0	1.5
栀子 <i>Gardenia jasminoides</i>		7.2	8.7	6.6	2.4	1.2
白栎 <i>Quercus fabri</i>	3.9	8.4	3.3	1.8	/	/
五月茶 <i>Antidesma buniis</i>	/	/	/	5.1	3.9	8.4
细齿柃 <i>Eurya nitida</i>	/	/	/	/	3.3	4.5
长蕊杜鹃 <i>Rhododendron stamineum</i>	/	/	/	/	3.4	5.1
山胡椒 <i>Lindera glauca</i>	/	6.9	5.7	3.9	3	2.1
展毛野牡丹 <i>Melastoma normale</i>	4.1	4.6	3.0	6.8	/	/
黄杞 <i>Engelhardtia roxburghiana</i>	/	/	3.5	4.7	3.7	4.1
虎皮楠 <i>Daphniphyllum oldhamii</i>	/	/	/	/	3.1	6.7
杜茎山 <i>Maesa japonica</i>	/	/	3.1	3.5	4.2	7.1

表 1 (续) Table 1 (continued)

物种 Species	重要值 Importance value					
	1990	1992	1994	1996	1999	2001
缙云槭 <i>Acer wangchii</i> subsp. <i>tsinyunense</i>	3.7	3.2	3.9	3.2	3.3	3.4
草本植物						
长尾复叶耳蕨 <i>Arachniodes simplicor</i>	4.7	4.1	2.7	1.6	/	/
红盖鳞毛蕨 <i>Dryopteris erythrosora</i>	4.4	3.6	3.3	3.4	3.1	2.2
狗脊 <i>Woodwardia japonica</i>	6.1	4.5	3.1	2.9	3.6	1.8
铁芒萁 <i>Dicranopteris pedata</i>	5.3	2.6	/	/	/	/
栗褐苔草 <i>Carex brunnea</i>	3.8	3.3	2.8	2.5	1.8	/
淡竹叶 <i>Lophantherum gracile</i>	5.7	4.4	4.1	3.6	3.4	2.6
里白 <i>Diplazium glauca</i>	10.7	3.9	/	/	/	/
芒 <i>Miscanthus sinensis</i>	5.5	2.4	1.7	/	/	/
蝴蝶花 <i>Iris japonica</i>	3.4	/	/	/	/	/

注：种子植物的拉丁名来源于《拉汉英种子植物名称》，蕨类植物的拉丁名来源于《缙云山植物名录》

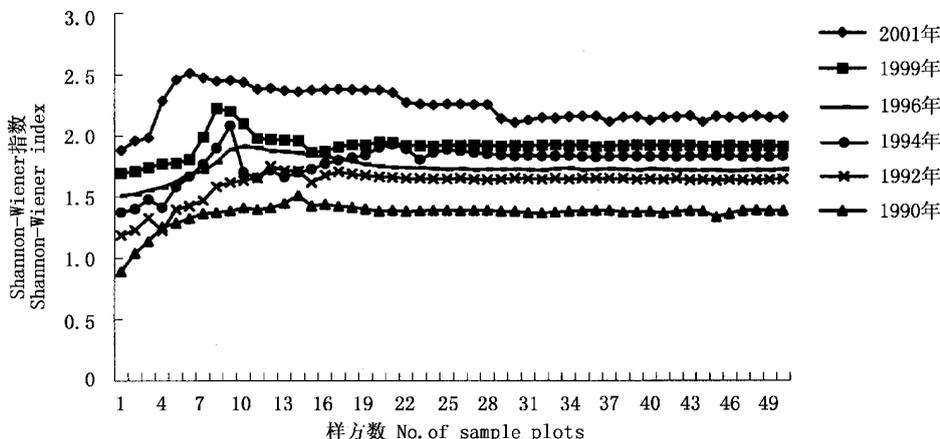


图 1 Shannon-Wiener 指数随取样尺度的变化

Fig. 1 The variation of Shannon-Wiener index with the increase of sampling scale

以, 风灾迹地植被的恢复速度很快, 物种组成变化较大。每个样方中, 木本植物由 1990 年的四、五个种发展到十余种甚至几十种。样地内的优势种也在发生变化, 1990 年以马尾松、四川大头茶等为优势种, 2001 年则以小叶栲、四川山矾等为优势种。随着人工混交林的自然恢复, 种群的盖度、密度增加, 种群的郁闭度增大, 群落内的环境条件逐渐变得阴暗潮湿, 一些耐荫的树种相继出现在群落中, 如白毛新木姜子、光叶山矾等, 植物的种类和个体数目都不断增加, 物种的多样性在增高。1999 年与 1990 年相比, 增加了 19 个种。但随着群落郁闭度的增大, 各物种为了争夺有限的空间资源, 群落的种内和种间必然进行激烈的竞争(特别是对光资源的竞争)(石胜友等, 1999), 在竞争中处于劣势的树种(如杉木、柳杉、水杉等)就退出了群落。从表 1 中重要值的变

化可以看出, 风灾迹地的群落正在向常绿阔叶林方向演替。

林下的草本植物在人工混交林初期对减少林地水土流失起到了重要作用。但是随着人工混交林生态恢复演替的进展, 环境条件(光照、水分和温度等)的不断变化, 特别是种子库中的常绿阔叶树种子大量萌发, 形成幼苗群体优势而占领大部分生境, 草本植物迅速地退出了群落。由表 1 可知, 草本植物的多样性在减少。由于风灾迹地的草本植物是逆行演替, 所以本文重点讨论木本植物的恢复演替。

3.2 α 多样性的变化特点

植物群落的 α 多样性是显示植物群落组成结构的重要指标, 一直受到生态学家的关注(Magurran, 1988; 马克平, 1994)。本文利用时间尺度与样方观察尺度相结合的方法, 对 11 年来缙云山风灾迹

地人工混交林 Shannon-Wiener 指数的变化进行了分析(图 1),随着观察尺度的不断扩大,Shannon-Wiener 指数逐渐增加,到达一个高峰后,出现较小的波动下降,最后达到平稳。由于恢复的时间不同,达到最高峰时的样方面积也不同。从 1990 ~ 2001 年,Shannon-Wiener 指数达到最高峰时的样方面积逐渐减少,由此可见,Shannon-Wiener 指数对时间尺度具有敏感的依赖性,达到顶极群落时,Shannon-Wiener 指数达到最高峰时的样方面积最小。

对于风灾迹地人工混交林不同恢复时期植被 α 多样性的测度表明(图 2),Simpson 指数、Pielou 均匀度指数和 Shannon-Wiener 指数反映了一致的结果。1990 年,多样性指数较低,说明人工植被初期相对简单,随着恢复演替的进展,物种多样性指数在增加。在恢复演替的第 9 年,即 1999 年群落的 α 多样性指数平均值最高($D = 0.917$, $H' = 3.11$, $J = 0.73$),2001 年略有下降。出现这种变动的原因是常绿阔叶林恢复的初期,群落内生态位在不断扩展分化,物种数逐渐增多,种群不断扩大,从而使得种间竞争增强,导致部分种群变小(如小叶青冈、石栎等)或从群落中消失(如杉木、水杉、柳杉等)。

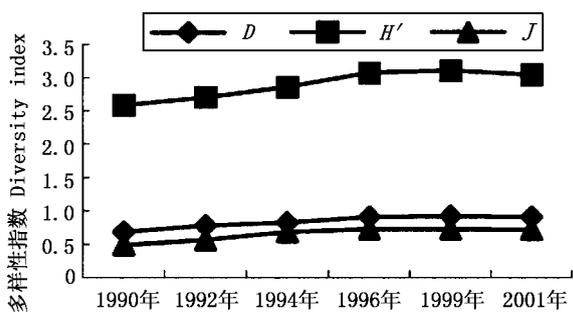


图 2 不同时期 α 多样性指数的变化

Fig. 2 Change of α -diversity at different phases

3.3 β 多样性的变化

β 多样性是指沿着环境梯度的变化物种替代的

速度或不同群落间物种组成的差异(彭少麟, 1996)。不同群落或某环境梯度上不同点之间的共有种越少, β 多样性越大(马克平等, 1995)。 β 多样性和 α 多样性一起构成了总体多样性。 β 多样性的测定可以与时间尺度相结合(马克平等, 1995), 有益于认识生物群落的时空结构和功能过程。本文采用 Sorenson、Bray-Curtis 和 Morisita-Horn 3 种指数对 5 个不同时间段的植被进行了 β 多样性的测度, 得到了相同的结果(表 2)。

随着演替的进展, 人工混交林在自然恢复过程中不断有新的物种侵入, 风灾迹地人工混交林的结构趋向多元化、复杂化。从表 2 中的 β 多样性可知, 群落生境(或物种)差异随着恢复演替的进展而逐渐增大, 3 个 β 多样性指标均反映了这一趋势。这说明无论人工混交林的起始树种是什么, 都将朝着地带性顶极植被类型的方向演替(彭少麟, 1996)。

4 结论

通过 1990、1992、1994、1996、1999 和 2000 年对缙云山风灾迹地人工混交林植被多样性的研究, 初步结论如下:

1) 缙云山风灾迹地人工混交林在自然恢复过程中, 随着恢复演替的进展, 环境条件在不断变化, 木本植物的多样性在增加, 草本植物的多样性在减少。在植物多样性的组成中, 人工栽种的针叶树种在逐渐被常绿阔叶树种代替。

2) α 多样性受到测度尺度(时间和观测样方)的影响。在本研究中, 随着演替时间的推移, 各个时期人工混交林的 Shannon-Wiener 指数趋于平稳时的样方面积不同, Shannon-Wiener 指数对时间尺度具有敏感的依赖性。

3) 与时间尺度相结合的 β 多样性测度和分析较好地反映了缙云山风灾迹地人工混交林的自然恢

表 2 缙云山风灾迹地群落恢复过程常绿阔叶林的 β 多样性

Table 2 β -diversity of evergreen broad-leaved forest in the course of ecological restoration of wind-damaged slash in Jinyun Mountain

	1990 ~ 1992	1992 ~ 1994	1994 ~ 1996	1996 ~ 1999	1999 ~ 2001
Sorenson index	0.420	0.431	0.440	0.456	0.451
Bray-Curtis index	0.171	0.188	0.194	0.211	0.207
Morisita-Horn index	0.364	0.412	0.454	0.487	0.475

本文的 β 多样性根据前后两个不同年代的植物群落计算, 故无 1990 年的 β 多样性值

The measurement of β -diversity according to two communities of fore-and-after different years. The β -diversity values of 1990 are not presented

复的特点。3 种不同的 β 多样性指数均反映了一致的结果,从时间序列上反映出风灾迹地的植被从针阔混交林到常绿阔叶林的演替过程,对于缙云山风灾迹地人工混交林的生态恢复和管理具有参考价值。

参考文献

- 韩玉萍,李雪梅,刘玉成,1999. 缙云山森林群落次生演替序列的垂直结构与物种多样性的关系. 西南农业大学学报, **21**(4): 391 ~ 396
- 李旭光,王丽,田强,1996. 缙云山森林生态系统物种多样性空间格局分析. 西南师范大学学报(自然科学版), **21**(3): 258 ~ 265
- 刘玉成,钟章成,缪世利,1984. 缙云山自然保护区植被概况. 西南师范大学学报(自然科学版), **9**(5): 117 ~ 128
- 李新荣,张景光,刘立超,陈怀顺,石庆辉,2000. 我国干旱沙漠地区人工植被与环境演变过程中植物多样性研究. 植物生态学报, **24**(3): 257 ~ 261
- 马克平,1994. 生物群落多样性的测度方法. 见:钱迎倩,马克平(主编),生物多样性研究的原理与方法. 北京:中国科学技术出版社, 141 ~ 156
- 马克平,刘灿然,刘玉明,1995. 生物多样性的测度方法 II β 多样性. 生物多样性, **3**(1) 38 ~ 43
- 彭少麟,方伟,1995. 热带人工林生态系统重建过程中物种多样性的发展. 生态学报, **15**(A): 18 ~ 30
- 彭少麟,1996. 南亚热带森林群落动态学. 北京:科学出版社, 84 ~ 93
- 齐代华,李旭光,王周平,石胜友,何正明,许文蔚,邓先宝,2001. 缙云山针阔混交林更新层物种多样性林隙梯度变化初探. 生物多样性, **9**(1) 51 ~ 55
- 石胜友,王周平,李旭光,1999. 缙云山风灾迹地生态恢复过程中的竞争研究. 西南师范大学学报(自然科学版), **25**(5): 601 ~ 605
- 田茂洁,刘玉成,黄林,李旭光,1998. 缙云山常绿阔叶林固定样方群落结构和物种多样性动态研究. 西南师范大学学报(自然科学版), **23**(2): 199 ~ 205
- 钟章成,1988. 常绿阔叶林生态学研究. 重庆:西南师范大学出版社, 345 ~ 370
- Magurran A E, 1988. Ecological Diversity and Its Measurement. Princeton University Press, New Jersey, 125 ~ 131

(责任审稿人 :高贤明 ;责任编辑 :孙大川)