

文章编号: 1001-1498 (2006) 05-0541-06

德国北部挪威云杉林可持续经营 中期计划的实例分析

陈伯望^{1,2}, Klaus von Gadow², František Vilčko², Sofía Sánchez Orois²

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 2. Institut für Waldinventur und Waldwachstum der Universität Göttingen, B ürgenweg 5, D-37077 Göttingen, Germany)

摘要: 可持续森林经营理论为中期林业计划和收获调整提供了丰富的模型选择, 其不同的方法可应用于各种特定的场合和不同经营类型。本文简要回顾了传统的森林计划方法, 一种称为“多林分发展”的概念可以用于任意的经营系统, 这个概念把森林看作由一系列林分组成, 在每一个林分中可以预先制定多种经营措施的选项, 每种选项都可以通过木材或其它产品以及消耗的资源计算出一个目标值。这种简单的概念可以应用到大量的不同森林经营场合, 它为森林经营者制定切实可行的森林措施和评价森林经营计划提供方法。在本研究中, 以德国北部一片包括 21 个小班的挪威云杉林班的一个中期计划为例, 说明“多林分发展”这一经营系统在实际生产中的应用。每个小班具有不同的初始状态, 每个小班预设了若干经营选项, 根据小班的初始状态、生长模型为各种选项计算各时期的木材产出。在林班的水平上, 经营目标方程包括两个组成部分: 净现值和均衡木材收获值。用模拟退火的方法来优化总体目标方程值。优化的总体解决方案在为每个小班选定合适的经营选项的同时, 在全林的水平上获得最优的经济和均衡产出组合。

关键词: 挪威云杉; 生长模型; 疏伐; 净现值; 多林分发展; 营林计划

中图分类号: S750

文献标识码: A

A Case Study in Planning for Sustainable Forest Medium-Term Management of Norway Spruce from Northern Germany

CHEN Borwang^{1, 2}, Klaus von Gadow², František Vilčko², Sofía Sánchez Orois²

(1. Research Institute of Forestry, CAF, Beijing 100091, China; 2. Institut für Waldinventur und Waldwachstum der Universität Göttingen, B ürgenweg 5, D-37077 Göttingen, Germany)

Abstract: The theory of sustainable forest management provides a rich assortment of models for medium-term planning and harvest control. The different methods are applicable in specific circumstances and different types of management. A useful theoretical framework that can be used in any arbitrary system of management is the concept of multiple forest developments. The concept of multiple forest developments realizes that a forest consists of a discrete number of stands and that different treatment options can be defined for each stand. Each option has a value that can be calculated, delivers timber and other products and consumes resources at specified time periods. This simple concept can be applied in a great number of different forest management situations. It provides a methodical framework for producing practical management plans for foresters and for evaluating scenarios of forest development. In the present study, an example of Norway spruce compartment in Northern Germany including 21 stands is used to il-

收稿日期: 2004-04-16, 修回日期: 2006-05-19

基金项目: 德国德意志学术交流中心 (DAAD) 资助

作者简介: 陈伯望 (1965—), 男, 福建古田人, 副研究员, 博士。

illustrate the approach. Each stand was prepared with options and their periodic timber outputs were implemented by their initial status and growth and thinning models. On the compartment level, the objective function includes two components: Net Present Worth and Even Flow of the timber harvest. The solution is obtained using the method of Simulated Annealing. The global optimized solution provided proper option for each stands as well as the best combination of two components for the entire compartment.

Key words: *Picea abies*; growth model; thinning; net present worth; multiple forest developments; scenario

可持续森林经营理论为中期林业计划和收获调整提供了丰富的模型选择。Hundeshagen^[1]提出的法正林模型就是一个根据平均年生长量以及当前蓄积与标准正态蓄积的比率来计算可持续采伐量的例子。法正林模型是一个标准,它可以被用来比较当前状态与理想状态。龄级模拟法虽然很简单,但是很有用。另一种传统的森林计划方法是面积变化模型,它预测林地状态随时间的变化,根据历史的收获措施来制定木材供应计划,在日本和欧洲国家得到应用^[2-7],但是需要预先获得更精确的条件转移概率^[7]。转移概率并不是独立于当前森林的层次分布的,这是影响它的应用的主要问题^[8]。在世界上很多地方,新的营林系统变得有政治现实性。这涉及到逐渐地把传统的营林方法向连续覆盖的林业转变,它的重点在于混交异龄林、适地适树和择伐^[9]。在异龄择伐系统中,林分的年龄是不确定的。森林生长不再遵循循环式的收获—更新模式,生长量维持在一个理想的水平附近。年平均生长量不再适合用来衡量生产力,法正林和传统的可持续标准也不再适用。人们提出了在各种保证连续覆盖的林业系统中可持续采伐的方法,其中最常见的方法是检查每个林班计算它们的蓄积量。连续覆盖森林中的主要问题是如何确定砍伐树,这需要根据树木大小、树种和木材质量综合评定。在瑞士、法国、意大利、斯洛文尼亚、德国、美国的北加利福尼亚州应用的传统的择伐林采伐系统,其目标是实现一种倒 J 形的径阶分布模型,定期从不同的径阶疏伐去一些树木^[10-13]。然而,通常没有实用的径阶分布^[14]。多林分发展模型是一种可以应用于任何经营系统的理论框架^[14],它把森林看成由一定数量的离散的分组成。对于面积为 A_i 的每个林分 i ($i=1 \dots I$) 分别制定不同的经营方案选项。每一个经营方案选项 j ($j=1 \dots J_i$) 描述某一时间段的木材 (其它产品) 产量,这个产量可以用单位林分面积的产量 u_{ij} 来表示。这种简单的概念可以应用到各种广泛的森林

经营实践中去。任何一种森林经营方案都是由各种特殊的林分经营方案组合而成。本文以南 Winnefeld 林班为例,解释如何应用多林分发展模型来优化经济和木材收获指标,其中用到的挪威云杉 (*Picea abies* (L.) Karst.) 林分的生长模型是在 Schübeler 等^[15]研究的基础上发展起来的,由下萨克森州林业研究站提供的数据。生长模型通过已知的林分属性来估算林分断面积、树高和公顷株数。林分疏伐用特定的强度和类型来定义^[16]。

1 林班的基本情况

南 Winnefeld 林班位于德国北部 Solling 林区 (51°44'N, 9°36'E), 包括 41 个年龄不同的林分 (小班) (图 1)。

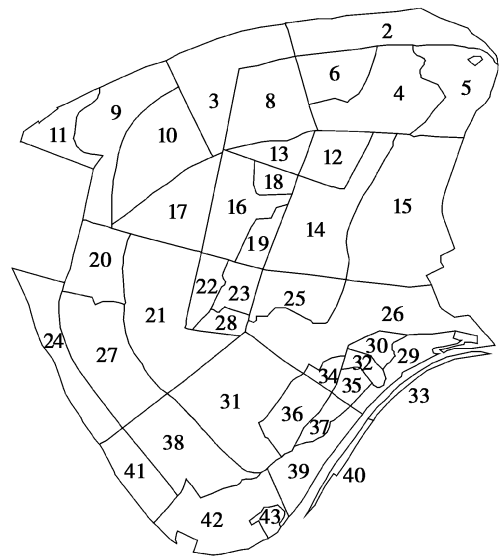


图 1 南 Winnefeld 林班中的林分 (小班) 分布图

(总面积 123.87 hm²)

(图中数字为地理信息系统中的多边形编号,参见表 1)

本研究采用生长模型和疏伐模型对各个林分制定多种经营选项,并用统一的方法评价各种选项,用同种算法确定各种林分方案选项的优化组合。

表 1 南 W innefeld 林班不同挪威云杉林分(小班)的生长情况

林分 (小班)	多边形 (图 1)	面积 /hm ²	林龄 /a	优势高 /m	立地指数 /m	断面积平均直径 /cm	断面积 / (m ² · hm ⁻²)	密度 / (株 · hm ⁻²)
1	2	4.27	32	16.5	38	12	30.6	2706
2	3	5.05	27	13.8	39	10	32.0	4074
3	4	4.97	68	29.2	36	25	25.8	526
4	5	3.69	44	24.4	40	18	34.1	1340
5	6	2.30	68	29.2	36	25	30.1	613
6	8	4.24	38	21.9	41	16	32.9	1636
7	9	4.68	46	22.8	37	17	36.8	1621
8	10	5.01	29	16.5	41	12	34.1	3015
9	11	1.86	37	17.9	36	13	30.4	2290
10	12	2.04	50	24.9	38	19	42.2	1488
11	13	1.29	50	24.9	38	19	38.4	1354
12	14	5.77	116	34.6	32	38	34.6	305
13	15	9.00	40	21.9	39	16	32.9	1636
14	16	3.40	41	21.9	39	16	36.6	1820
15	17	3.80	41	21.9	39	16	32.9	1636
16	18	0.80	17	-	39	5	-	5000
17	19	1.07	17	-	39	5	-	1080
18	20	2.79	44	24.4	40	18	22.7	892
19	21	7.25	45	24.4	39	18	41.6	1635
20	22	1.24	42	21.9	38	16	36.6	1820
21	23	1.26	7	-	38	2	-	6020
22	24	3.45	7	-	38	2	-	6020
23	25	2.53	17	-	36	6	-	1083
24	26	7.16	40	21.9	39	16	36.6	1820
25	27	5.32	41	20.4	37	15	31.6	1788
26	28	0.75	86	28.8	31	26	29.3	552
27	29	1.63	83	28.0	31	40	25.6	204
28	30	0.75	23	13.8	44	10	32.0	4074
29	31	6.87	47	22.8	37	17	36.8	1621
30	32	0.56	65	28.1	36	23	25.1	604
31	33	0.41	83	28.0	31	40	25.6	204
32	34	0.56	23	13.8	44	10	32.0	4074
33	35	0.67	14	-	44	4	-	5000
34	36	2.07	23	11.4	40	9	27.0	4244
35	37	0.74	15	-	40	4	-	5000
36	38	4.65	63	29.5	38	25	47.4	966
37	39	2.39	72	24.8	30	36	28.1	276
38	40	0.40	72	24.8	30	36	28.1	276
39	41	2.25	7	-	40	2	-	6020
40	42	4.49	52	24.9	37	19	30.7	1083
41	43	0.44	17	-	37	5	-	1083
合计		123.87						

2 林分经营选项

林分选项可以通过手工设定也可以由计算机自动生成。自动生成的选项是更客观的,但是可能产生不实际的选项(或排除了某些实际的选项,如果选项的数目有限的话)。表 2 是其中一个林分的例子。如果在每个疏伐阶段只允许下

层进行中等强度的疏伐,一个林分的理论选项有 21 个,为简单起见,本例中选项间的差异仅来自不同的疏伐年度,实际的选项可以更多。表 2 中的计划年限是 20 a,分成 4 个阶段,在每个阶段中只允许有 1 次疏伐,2 次疏伐的间隔是 5 a。选项间因起始疏伐年度不同,林分随着时间而生长,不同时间开始疏伐获得的木材数量是不同的,同

时还会影响到木材收益后起始记息时间,从而影响到整个计划期内总经济收益和木材供给波动。

此外,每个林分的第 1 个选项总是空白对照,即在所有 4 个阶段中都不采取任何营林措施。

表 2 第 2 个林分 (小班) 的经营选项

选项	疏伐年度 /a				疏伐蓄积 / (m ³ · hm ⁻²)				活立木蓄积 / (m ³ · hm ⁻²)	净现值 欧元
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄		
1	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	606	5 965
2	1	6	11	16	0.0	27.3	15.9	28.0	517	6 637
3	2	7	12	17	0.0	29.6	22.7	28.7	508	6 655
4	3	8	13	18	5.3	15.6	26.0	30.3	515	6 511
5	4	9	14	19	12.2	15.7	26.6	31.0	505	6 542
6	5	10	15	20	19.5	15.8	27.3	31.6	495	6 568
7	6	11	16	0	27.3	15.9	28.0	0.0	517	6 637
8	7	12	17	0	29.6	22.7	28.7	0.0	508	6 655
9	8	13	18	0	22.0	26.0	30.4	0.0	515	6 515
10	9	14	19	0	25.7	26.9	31.3	0.0	511	6 484
11	10	15	20	0	24.9	28.3	32.6	0.0	511	6 399
12	11	16	0	0	25.2	29.5	0.0	0.0	544	6 354
13	12	17	0	0	26.2	30.8	0.0	0.0	543	6 316
14	13	18	0	0	27.4	32.0	0.0	0.0	542	6 261
15	14	19	0	0	28.7	33.2	0.0	0.0	541	6 214
16	15	20	0	0	29.9	34.4	0.0	0.0	539	6 136
17	16	0	0	0	31.2	0.0	0.0	0.0	573	6 110
18	17	0	0	0	32.5	0.0	0.0	0.0	572	6 085
19	18	0	0	0	33.8	0.0	0.0	0.0	571	6 049
20	19	0	0	0	35.1	0.0	0.0	0.0	571	6 013
21	20	0	0	0	36.4	0.0	0.0	0.0	570	5 965

注:为了便于说明,本例中均采用了中等强度的下层疏伐;假设木材价格为 100 欧元 · m⁻³,利率为 4%。

林分可能的营林选项数目取决于最大允许疏伐次数、计划年限、疏伐强度和疏伐类型。年龄小的林分因为优势高或密度较低一般要到计划年限的后期才能满足疏伐的条件,例如在选第 2 个选项中, V₁ 的值是 0,表明该林分在第 1 个阶段时年龄还太小,达不到疏伐的条件。

对于特定的林分,待选的选项越多,找到的最佳选项就越准确;然而,全林的最优方案不是每个林分最优方案的简单相加,因为约束条件是对全林起作用的。

2.1 评价选项

在森林经营实践中,有时人们可能只对给定的 n 年的“时间窗口”内的经营选项作计划,评价涉及到不同强度和疏伐间隔的一些连续的收获活动。Hille^[17]等提出了如果不考虑土地的价值净现值 (net present worth, NPW, 单位:欧元) 的计算公式,该公式已经在挪威云杉林中得到应用^[18]:

$$NPW_i = V_i(Q_i(t_i, g_i))e^{-rt_i} + \sum_{k_i=1}^{t_i} A_i(k_i)e^{-rk_i} - P_{i-1}g_i - K_i \quad (1)$$

式 (1) 中: V_i(Q_i(t_i, g_i)) (i = 1, 2, 3, 4) 表示第 i

次收获的立木价值;

Q_i(t_i, g_i) 表示第 i 个林分的蓄积, g_i 是计划期限初始保留的活立木数量, t_i 是疏伐周期; P_i 是立木价值; K_i 是第 i 次收获的固定费用; A_i(k_i) 是由第 k_i 年第 i 个林分的木材收获而得到的净收入; r_i 是第 i 次收获时的利率 (4%)。

应该注意到,因为这个公式涉及有限的收获次数,所以称为净现值 (NPW_i), 而不是土地期望值。木材材积是根据生长模型和疏伐模型计算而来的。对于特定的林分,单位面积的 NPW_i 还要乘以林分的面积。在全林水平上,营林的一个目标是最大化各种经营选项组合获得的净现值。通过比较每个选项的 NPW_i 值就可以找出每个林分最优的选项;但是,每个林分最优选项的总和得到的净现值 (76 780 欧元) 只是最优的经济目标。另一个目标,就是确保在计划年限内每年木材产量的均衡产出,就是要使得年度木材采伐量的波动最小。把 2 个目标结合起来需要一个复合的目标方程,因此作者定义了有 2 个组成部分的目标方程,使得 $a \times \sum_{i=1}^N NPW_i$ 在最大

化的同时, $b \times \sqrt[M]{\sum_{j=1}^M \frac{(V_j - \bar{V})^2}{M}}$ 的值最小化,从而实

现优化了经济指标的同时,也优化了每个年度木材均匀产出的指标。

其中: NPW_i 为净现值 / 欧元; N 为全林的林分数量 / 片; M 为计划年限 / a; V_j 为年度木材产出量 / m^3 ; a 和 b 为无单位的权重因子,用来调整目标方程中两个部分的相对重要性以及消除不同单位引起的差异。

2.2 优化结果

南 Winnefeld 林班所有林分选项的可能组合数是 2^{141} , 作者不可能逐一列举所有的组合并排序。作者采用模拟退火 (SA) 的方法来搜寻最优解决方案, 该方法见文献 [19, 20], 这里不再赘述。图 2 是一次经过 100 次循环后目标方程值收敛的例子 (图 2)。

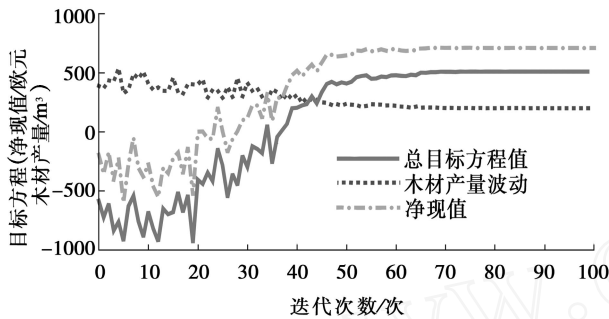


图 2 模拟退火方法使目标方程优化后的净现值和木材产量 (计划年限 20 a, 利率 4%)

当考虑均衡木材产出因素时, 无法确保最优的 NPW 方案仍然是最优的, 然而, 这个最优的 NPW 值 (76 780 欧元) 可以作为一个参考指标。目标方程加入了均衡木材输出部分后, 总的 NPW 从 76 780 欧元下降到了 71 078 欧元, 即原来的 92.6%, 但是年

度木材产出波动幅度也从 $409.57 m^3$ 下降到了 $205.79 m^3$, 即原来的 50.2% (图 2, 3)。当考虑均衡木材产出因素时, 木材产量从 $409.57 m^3 \cdot a^{-1}$ 下降到了 $205.79 m^3 \cdot a^{-1}$ (即原来的 50.2%)。

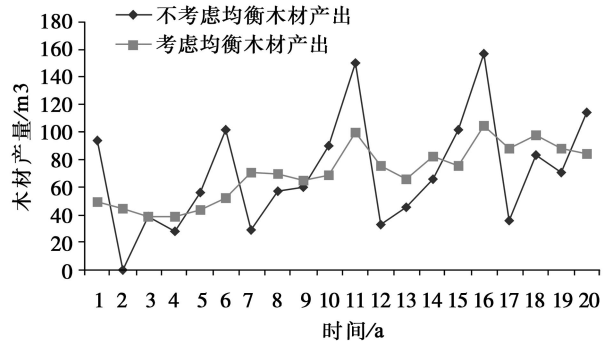


图 3 考虑与不考虑均衡木材产出时的木材年产量

2.3 采伐林分的地理分布

图 4 显示了在计划年度内 5 a 的采伐林分的地理分布, 年利率为 4%。图中比较了单一指标 (NPW , 第 1 行) 和 2 个指标 (NPW 和均衡木材输出, 第 2 行) 的目标方程。双指标的目标方程显示出改进了的计划, 作业区域分布更加均匀。

不同计划年限长度和利率会产生不同的最优选项组合。有些年幼的林分可能在 20 a 的计划年限内都不会被疏伐。经济和均衡木材输出 2 个要求是影响疏伐次数和强度的重要因子, 有些林分可能在整个计划期内被选定为“不采取任何措施”的选项, 而这个选项对于该林分本身也可能不是最优的选项。

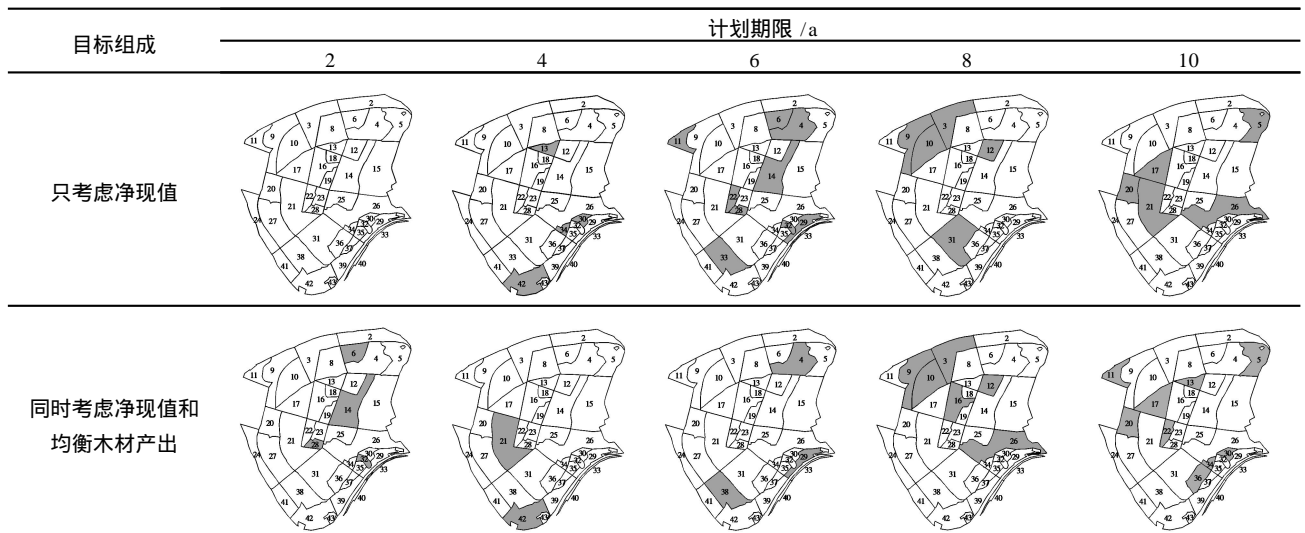


图 4 计划年限内 5 个年度的采伐林分的地理分布 (深色部分表示采伐林分)

3 结果与讨论

优化的营林计划能提供可行的作业安排。本研究的优点是可以立即改变任何林分的状态,而其它所有数据和设置均可保留原来的状态,可以及时产生出新的优化计划。实地经营中经常会发现实际情况与原有计划有所出入,而这种出入易于调节,并能得到新的优化的建议计划。

经过 200 年的发展,森林可持续经营的理论为制定合理的计划与有效的控制方法提供了依据。然而,当需要比较生长模型、疏伐模型以及包括了目标方程和相应的约束条件的适当的计划体系时,传统的分析和模拟方法显得不是很有效。环境保护、生物多样性保护、对森林产品和功能的多种需求使得森林经营问题比以往更加复杂,面对复杂的需求,制定切实可行的、易于理解的和满足特定目标的森林经营计划是很重要的,而且这个目的可以通过诸如本文介绍的新方法来实现。

参考文献:

- [1] Hundeshagen J C. Die Forstabschaetzung auf neuen wissenschaftlichen Grundlagen[M]. Tuebingen: Laupp, 1826: 428
- [2] Konohira Y, Amano M. Methods for the forests allowable cut calculation in Japan[A]. In: Carcea F. Determination of the forests allowable cut in various countries of the world[C]. UFRO, Bucharests, 1986: 149 ~ 157
- [3] Kurth H, Gerold D, Dittrich K. Reale Waldentwicklung und Zielwald-Grundlagen nachhaltiger Systemregelung des Waldes. Wiss Zeitschr[M]. TU Dresden: Dresden, 1987: 121 ~ 137
- [4] Kouba J. The theory of an estimate of the development of calamities and of management of the process of forest adjustment to normal forest[J]. Lesnictvi, 1989, 35 (10): 925 ~ 944
- [5] Suzuki T. Forest transition as a stochastic process[J]. Mitt FBVA Wien Heft, 1971, 91: 137 ~ 150
- [6] Nabuurs G J, Päivinen R. Large scale forestry scenario models-a compilation and review. European Forest Institute working papers 10 [M]. Finland: Joensuu, 1996: 174
- [7] Blandon P. Forest Economics and the Gertan Probability Distribution [J]. J Jap For Soc, 1985, 7(12): 478 ~ 485
- [8] Randall J H, v Gadov K. An evaluation of the use of "Gertan" probabilities in forestry planning[J]. South Afr For J, 1990, 154: 27 ~ 35
- [9] Griesel F, v Gadov K. Naturgemäß er-naturnaher-ökologischerWaldbau-Begriffsbestimmungen, Konzepte und Richtlinien, Anwendungsbeispiele[M]. Institute of Forsteinrichtung, Univ. of Göttingen: Internal report, 1995: 20
- [10] Susnel L. Normalizzazione delle foreste alpini-basi ecosistemiche-equilibrio-modelli colturali-produttività[M]. Padova: Liviane editrice, 1980: 437
- [11] Virgilietti P, Buongiorno J. Modelling forest growth with management data-a matrix approach for the Italian Alps[J]. Silva Fennica, 1997, 31 (1): 27 ~ 42
- [12] Meyer H A. Eine mathematisch-statistische Untersuchung über den Aufbau des Plenterwaldes[J]. Schweiz Zeitschr Forstwes, 1933, 84: 88 ~ 103, 124 ~ 131
- [13] Cancino J, v Gadov K. Stem Number Guide Curves for Uneven-Aged Forests Development and Limitations[A]. In: v Gadov K, Nagel J, Saborowski J. Continuous Cover Forestry-Assessment, Analysis, Scenarios[C]. Goettingen: Kluwer Academic Publishers, 2002: 394
- [14] v Gadov K, Puumalainen J. Scenario planning for sustainable forest management[A]. In: v Gadov K, Pukkala T, Tom ĘM. Sustainable Forest Management Managing Forest Ecosystems [C]. Goettingen: Kluwer Series, 2000, 1: 319 ~ 356
- [15] Schübeler D. Untersuchungen zur standortabhängigen Wachstumsmodellierung bei der Fichte [M]. Goettingen: Diss Univ Göttingen, 1997: 155
- [16] Spellmann H, u Nagel J, Böckmann T. Summarische Nutzungsplannung auf der Basis von Betriebsinventurdaten [J]. Allgemeine Forst und Jagdzeitung, 1999, 170 (7): 122 ~ 128
- [17] Hille M, Hessemöller D. Mőhring Evaluating alternative silvicultural regimes in a 110-year old beech forest[A]. In: UFRO-Symposium Prague, Provisional Proceedings, From Theory to Practice-Gaps and Solutions in Managerial Economics and Accounting in Forestry[M]. Prague: Czech Republic, 1999: 94 ~ 100
- [18] Sánchez-Orois S, Gurjanov M, Schröder J. Analyse des Grundflächenwachses gleichaltriger Fichtenreinbestände [J]. Allg Forst- & Jagd-Ztg, 2001, 172 (3): 51 ~ 59
- [19] Chen B W, v Gadov K. Timber harvest planning with spatial objectives, using the method of simulated annealing[J]. Forest W Cbl, 2002, 121: 25 ~ 34
- [20] 陈伯望, 惠刚盈, v Klaus Gadov. 线性规划、模拟退火和遗传算法在杉木人工林可持续经营中的应用和比较 [J]. 林业科学, 2004, 40 (3): 80 ~ 87