

# 山西省油松人工林的生产力及经营潜力

樊兰英, 孙拖焕

(山西省林业科学研究院, 山西 太原 030012)

**摘要:** [目的] 研究山西省油松林生产力动态变化规律, 以潜在生产力为目标, 对油松人工林生产力提升空间进行预测, 为区域林分提质增效提供科学指导。[方法] 采用分层法和收获法, 结合相对生长模型建立油松单木生物量回归方程; 采用“累积法”和 Thornthwaite memorial 模型估算林分现实生产力和潜在生产力。[结果] 油松林生产力与林龄有着密切的关系, 随着林龄的增加, 油松林生产力先增加, 成熟期开始下降, 全省油松林现实生产力平均为  $4.462 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ; 乔木层生产力幼林龄期最小, 贡献率占 72.17%, 随着林龄增加, 生物量总量继续增加, 生产力在近熟林晚期开始下降; 草本层贡献率最大值出现在幼龄林期 21.16%, 而后逐渐降低, 相反, 灌木层生产力贡献率逐渐增大, 林分成熟初期其贡献率超过草本层, 是林分结构调整关键期; 油松林平均潜在生产力为  $8.422 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ , 以此为目标, 油松林生产力提质增效至少有 32% 的空间。[结论] 山西省油松林生产力提质增效空间为 32%, 油松林生产力首要限制因子为降雨。

**关键词:** 油松林; 单木生长方程; 净初级生产力; 潜在生产力

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)05-0176-06

**中图分类号:** S750

**文献参数:** 樊兰英, 孙拖焕. 山西省油松人工林的生产力及经营潜力[J]. 水土保持通报, 2017, 37(5): 176-181. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.030; Fan Lanying, Sun Tuohuan. Net primary productivity and management potential of *Pinus tabulaeformis* forest in Shanxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(5): 176-181. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2017.05.030

## Net Primary Productivity and Management Potential of *Pinus Tabulaeformis* Forest in Shanxi Province

FAN Lanying, SUN Tuohuan

(Shanxi Academy of Forestry Sciences, Taiyuan, Shanxi 030012, China)

**Abstract:** [Objective] The dynamic variation of net primary productivity of *Pinus tabulaeformis* forest in Shanxi Province was studied, and the potential for improvement of plantation forest was predicted to provide reference for improving quality of regional forest. [Methods] The regression equation was established using the stratification and harvesting method and the relative growth model. Cumulative method and Thornthwaite Memorial model were used to estimate the actual and potential productivity of the forest. [Results] The productivity of *P. tabulaeformis* forest increased with the increase of its age and decreased when it evolved into mature period. The actual productivity of *P. tabulaeformis* forest was  $4.462 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ; The contribution of trees was 72.17% to the total productivity at young stand. With the increase of age, total biomass got increase, but in the sense of productivity, it got decrease when evolved into late near-mature period. The contribution of herb layer was 21.16% in the young forest stage, and decreased latterly. On the contrary, the contribution rate of shrub layer increased gradually, which was more than that of the herb layer in the early mature period, when it is critical for structural management. The average potential productivity of forest was  $8.422 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ , implied that there was at least 32% potential room for improvement. [Conclusion] The potential room of *P. tabulaeformis* productivity was at least 32%, and the primary limiting factor of *P. tabulaeformis* forest productivity in Shanxi Province was rainfall.

**Keywords:** *Pinus tabulaeformis*; individual tree biomass model; net primary productivity; potential productivity

收稿日期: 2017-07-07

修回日期: 2017-07-12

资助项目: 山西省青年科技基金项目“典型林分土—林系统养分耦合机制及限制性营养元素判定”(201601D021115)

第一作者: 樊兰英(1982—), 女(汉族), 山西省泽州县人, 博士, 主要从事森林生态学研究。E-mail: fanlanying2011@163.com。

通讯作者: 孙拖焕(1958—), 男(汉族), 山西省兴县人, 大学本科, 教授级高级工程师, 主要从事森林生态学研究。E-mail: suntuohuan@126.com。

山西是中国油松林(*Pinus tabulaeformis*)的集中分布区,油松林地面积  $9.999 \times 10^5 \text{ hm}^2$ ,占山西省林地总面积的 40.5%,其生产力高低直接影响到全省林分的森林质量<sup>[1]</sup>。自 20 世纪 50 年代,全球开展了大量关于森林生产力的研究,对植被恢复、经营和管理起到了重要作用。70 年代以来,中国也开展了相关工作,基于森林资源清查结果的全国尺度研究中,Zhao 等<sup>[2]</sup>建立了中国油松林生物气候生产力(NPPa)模型,并估算了中国油松林净第一性生产力为  $7.82 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,其中山西省油松林生产力水平约为  $7.4 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ;方精云等<sup>[3]</sup>对全国森林总生产力和各林种生产力进行研究,结果显示森林总生产力为  $1.18 \times 10^9 \text{ t/a}$ ;罗天祥等<sup>[4]</sup>对油松林不同年龄段生产力统计结果表明,全国油松林全林生产力为  $7.57 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ 。基于实测数据的单个林区油松林生产力研究结果表明<sup>[5-10]</sup>,秦岭 39 年生油松林年净生产力为  $4.18 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,甘肃五凤山林区 35 年生油松净生产力为  $12.917 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,山西太岳山油松林年生产力为  $6.824 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ <sup>[11]</sup>,山西省省域尺度油松林生产力的动态变化研究未见报道。前期研究者更关注的是乔木层、灌草层生物量和生产力的研究很少,对林分生产力的估算因素欠缺,不能直接用于指导省域尺度上林分的合理经营。

本文拟从省域尺度,以山西省各林龄组油松人工林为研究对象,采用大样地大量实测数据和生长模型相结合的方法,对其林分、乔木层、灌木层和草本层的现实生产力进行动态研究,并以潜在生产力为目标,对山西省油松人工林生产力提升空间进行预测,以期对研究区域林分提质增效提供科学目标和实践指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

山西省地处黄土高原东部、黄河中游、海河上游,地理坐标为  $110^{\circ}14'36''\text{E}$ — $114^{\circ}33'24''\text{E}$ ,  $34^{\circ}34'48''\text{N}$ — $40^{\circ}43'24''\text{N}$ ,总面积  $1.57 \times 10^5 \text{ km}^2$ 。省境内地形多样,山地、丘陵、残塬、台地、谷地、平原等交错分布,而以山地、丘陵为主。据初步量算,全省的山地、丘陵、平原 3 大类地形各占 40.0%,40.3%,19.7%,大体成 4:4:2,大部分地区海拔在 1 000~2 000 m。属大陆性季风气候,总的气候特点是冬季寒冷干燥,夏季炎热多雨,春秋较为短促,时空温差悬殊,年均气温  $4 \sim 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年降水量 400~650 mm,但分布不匀。

山西省森林植被类型主要有 6 个植被型组,即针叶林、阔叶林、灌丛与灌草丛、草原、草甸以及沼泽与

水生植被。森林群落建群种主要有油松(*Pinus tabulaeformis*)、白皮松(*Pinus bungeana*)、云杉(*Picea asperata*)、华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)等针叶树种,辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、等落叶栎类,山杨(*Populus davidiana*)、白桦(*Betula platyphylla*)等小叶落叶树种。油松林在中条山、吕梁山、太岳山、太行山、关帝山、管涔山、五台山和黑茶山等 9 大国有林区均有分布。

### 1.2 研究方法

依据近 30 a 山西省降水和气温的资料,采用反距离权重插值法,形成面状数据,与林业区划图叠加,采用板块面积合并指数对斑块进行整合,形成山西省森林生态类型区划图,划分结果形成 11 个生态类型区,包括北部风沙区(年均气温  $<7.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,年均降雨量  $<400 \text{ mm}$  子区;  $400 \sim 500 \text{ mm}$  子区)、西部黄土丘陵区( $<7.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $400 \sim 500 \text{ mm}$  子区;  $7.5 \sim 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $400 \sim 500 \text{ mm}$  子区;  $>10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $>500 \text{ mm}$  子区)、吕梁山土石山区( $<7.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $400 \sim 500 \text{ mm}$  子区;  $7.5 \sim 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $400 \sim 500 \text{ mm}$  子区)、东部土石山区( $<7.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $400 \sim 500 \text{ mm}$  子区;  $7.5 \sim 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $400 \sim 500 \text{ mm}$  子区;  $7.5 \sim 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $>500 \text{ mm}$  子区;  $>10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $>500 \text{ mm}$ )。反距离权重插值法是基于插值区域内部样本点的相似性,计算与到邻近区域样点的加权平均值来估算出单元格的值,进而插值得到一个表面。以生态类型区为划分标准,结合林组面积比例进行样地设置,共设置样地 30 块,涵盖全省 14 个县,林分年龄分布范围 5~63 a,土壤类型包括黄绵土、栗钙土、褐土、灰褐土。样地概况见表 1。

1.2.1 标准地调查 乔木层生物量调查样地为  $1 \text{ hm}^2$  大样地,首先调查并记载样地的地点、坡向、坡度和坡位,土壤类型、土层厚度。标准地调查采取每木检尺,实测其胸径和树高等调查因子,根据径级(起测胸径  $3.2 \text{ cm}$  为 1 径级,共 8 个径级)选取 50 株标准木。样木伐倒后,用“分层法”测定树干、树枝、叶鲜重,同时分别按“混合取样法”取样;根系采用全挖法,按根茎、粗根( $>5 \text{ cm}$ )、细根( $<5 \text{ cm}$ )分级称取鲜重并取样。将上述样品(约 800 个),在  $85 \text{ }^{\circ}\text{C}$  烘箱中烘干至恒重,计算干物质质量。

依据实测和文献数据,采用相对生长方程建立经验公式<sup>[12-13]</sup>,计算林分每  $1 \text{ hm}^2$  生物量。灌草层生物量调查在样地内均匀布设  $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$  灌木样方 5 个,其内设置  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  的小样方,调查灌木层与草本并记录,用全收获法测定灌木的生物量鲜重,叶、枝、根分别采样;在每个  $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$  的次样方中设 1 个  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$

小样方,全收获法测定草本的生物量鲜重,叶、根分别采样;将上述各层次样品按比例混合取样(>1 000 g),

在 85 ℃烘箱中烘干至恒重,求算干鲜比并计算出各器官干物质质量。

表 1 油松林样地基本概况

龄组	样地号	所在县	林龄/a	胸径/cm	坡度/(°)	坡向	坡位	土壤类型	土厚/cm
幼龄林	YS-1	娄烦县	5	3.2	24	东北坡	上坡	褐土	38
	YS-2	交城县	6	5.3	22	西南坡	上坡	褐土	42
	YS-3	石楼县	10	8.3	36	东北坡	中坡	黄绵土	49
	YS-4	浑源县	7	8.9	24	南坡	中坡	栗钙土	50
	YS-5	泽州县	10	9.2	20	北坡	中坡	褐土	50
	YS-6	兴县	12	10.0	0	南坡	上坡	褐土	58
	YS-7	平遥县	18	10.5	20	西北坡	中坡	褐土	54
	YS-8	榆社县	13	11.0	1	西坡	中坡	褐土	54
中龄林	YS-9	壶关县	21	10.4	29	西坡	中坡	褐土	57
	YS-10	天镇县	21	11.3	21	东北坡	中坡	褐土	59
	YS-11	灵丘县	21	10.6	20	西坡	上坡	褐土	60
	YS-12	临县	25	12.1	26	东北坡	中坡	灰褐土	78
	YS-13	平遥县	21	14.0	30	北坡	中坡	褐土	80
	YS-14	五台县	30	14.7	16	北坡	上坡	褐土	85
	YS-15	古县	25	10.0	22	西坡	中坡	褐土	77
	YS-16	保德县	35	13.2	37	北坡	中坡	褐土	98
	YS-17	岚县	35	11.6	28	东北坡	脊部	褐土	88
	YS-18	和顺县	36	14.0	22	南坡	中坡	褐土	88
	YS-19	安泽县	37	14.0	29	西坡	中坡	褐土	90
近熟林	YS-20	沁县	41	12.0	15	东北坡	中坡	褐土	107
	YS-21	沁源县	41	12.3	25	东北坡	中坡	褐土	105
	YS-22	阳曲县	45	15.0	11	西坡	中坡	褐土	91
	YS-23	和顺县	45	14.3	27	北坡	中坡	褐土	80
	YS-24	浮山县	40	15.7	20	西北坡	上坡	褐土	81
	YS-25	沁源县	50	19.1	23	西北坡	中坡	褐土	82
成熟林	YS-26	灵丘县	52	19.0	22	北坡	上坡	褐土	84
	YS-27	忻府区	46	21.0	16	东北坡	中坡	褐土	80
	YS-28	古交市	58	27.3	32	北坡	中坡	褐土	87
	YS-29	昔阳县	60	23.0	27	西北坡	中坡	褐土	72
	YS-30	方山县	63	23.3	7	西坡	中坡	棕壤	73

1.2.2 生产力计算方法 现实生产力计算方法。林分现实生产力指多年平均净第一性生产力,测定采用“累积法”(群落收获法或现存量法)<sup>[13]</sup>,即在  $t_1$  和  $t_2$  时间段,新合成的有机物质的总量,具体公式如下:

$$P = \Delta P_g / \Delta t \quad (1)$$

$$\Delta P_g = \Delta Y + \Delta R + \Delta L + \Delta G \quad (2)$$

式中:  $P$ ——林分生产力;  $\Delta t$ ——某个时间段;  $\Delta P_g$ ——净生产量;  $\Delta Y$ ——增加的生物量;  $\Delta R$ ——呼吸消耗量;  $\Delta L$ ——枯死凋落量;  $\Delta G$ ——被食量。

在森林生态系统中,因复杂的相互关系,测定净生产量所必须的条件很少能被实现,例如  $\Delta R$ ,  $\Delta L$  和

$\Delta G$ ,因此现实中常用公式为:  $P = \Delta Y / \Delta t$ ,具体实施过程中,采用现存生物量除以平均年龄(本研究中林龄采用年轮分析仪测定)而得。乔木层生物量测定采用平均木法,下木层和草本层采用样方收获法(灌木 6 a,草本 1 a)<sup>[14]</sup>。

潜在生产力计算方法。某一地区的植被生物量主要决定于该地区的光、热和水,而在土壤和气候处于最适条件下植被所能达到的最大生产力为潜在生产力,也称为气候生产力。采用 Miami 模型评价区域生产力限制因子;基于蒸发散量计算的 Thornthwaite Memorial 模型<sup>[15]</sup>,是一个地区水热状况的综

合表现,能把水热平衡和辐射联系在一起,计算所得的气候生产潜力比用 Miami 模型计算所得的气候生产潜力更全面准确<sup>[16]</sup>,本文采用 Thornthwaite Memorial模型计算潜在生产力。

Miami 模型:

$$N_t = 3\ 000 / (1 + e^{1.315 - 0.119 t}) \quad (3)$$

$$N_p = 3\ 000 (1 - e^{-0.000\ 664 p}) \quad (4)$$

式中: $N_t$  和  $N_p$ ——基于温度和基于降水量的潜在生产力 $[g/(cm^2 \cdot a)]$ ;  $t$ ——年均温 $(^\circ C)$ ;  $p$ ——年平均降水量 $(mm)$ ;  $e$ ——自然对数的底数。根据 Liebig 的限制因子定律,选取二者中的最低值作为各计算点的生物生产力数据。

Thornthwaite 纪念模型:

$$N_E = 3\ 000 [1 - e^{-0.000\ 969\ 5(E-20)}] \quad (5)$$

式中: $N_E$ ——基于蒸发散的潜在生产力 $[g/(cm^2 \cdot a)]$ ;  $E$ ——年平均实际蒸发散量 $(mm)$ ;  $e$ ——自然对数的底数。3 000——Lieth 统计得到的地球自然植物在每年每  $1\ m^2$  上的最高干物质产量。

$$E = 1.05 p / [1 + (1.05 p/L)^2]^{-0.5} \quad (6)$$

$$L = 300 + 25 t + 0.05 t^2 \quad (7)$$

式中: $L$ ——年平均最大蒸发散量 $(mm)$ ;  $t$ ——年均温 $(^\circ C)$ 。

$p > 0.316 L$  时,式子(5)适用。 $p < 0.316 L$  时,  $E = p$ 。

1.2.3 数据分析 试验采用 Microsoft Excel 软件和 Origin 软件进行数据分析处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 单木生物量回归方程

统计分析结果显示,油松全株生物量、树干生物量、枝生物量、叶生物量、根生物量均与胸径平方和树高的乘积存在密切相关关系,相关系数均达极显著水平( $p < 0.001$ ,见表 2)。

表 2 油松各器官生物量回归方程

项目	回归方程	$R^2$
总生物量	$\ln W_t = 0.640\ 6 \ln(D^2 H) - 0.233\ 3$	0.912 2
树干生物量	$\ln W_s = 0.756\ 2 \ln(D^2 H) - 2.191\ 9$	0.929 1
树枝生物量	$\ln W_B = 1.345\ 0 \ln(D^2 H) - 9.903\ 5$	0.956 1
树叶生物量	$\ln W_L = 0.837\ 1 \ln(D^2 H) - 4.254\ 5$	0.831 9
树根生物量	$\ln W_R = 0.997\ 6 \ln(D^2 H) - 4.815\ 9$	0.820 0

### 2.2 山西省油松林现实生产力

随着油松林林龄的增加,林分生产力呈先增加后降低的趋势,较高生产力林龄范围为 39~43 a,而后

随着林龄的增大,生产力整体呈下降趋势(图 1)。全省油松林现实生产力平均为  $4.462\ t/(hm^2 \cdot a)$ ,最高生产力为  $5.736\ t/(hm^2 \cdot a)$ 。

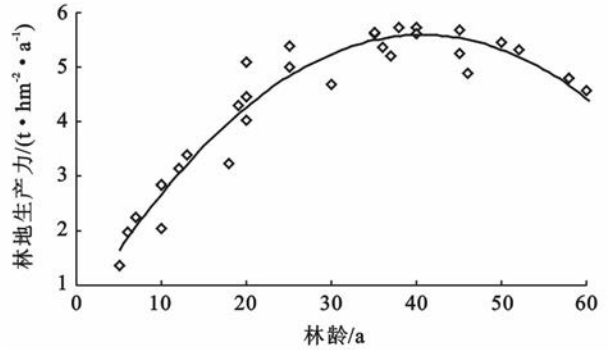


图 1 林分生产力随林龄增长的关系

2.2.1 油松林各层次生产力 油松林不同层次生产力研究结果显示,随着林龄的变化,乔木层生产力在 35~45 a 期间维持在  $4.80\ t/(hm^2 \cdot a)$  左右,而后随着林龄的增加,乔木层生产力呈下降趋势,即虽然生物量增加,乔木层生产力在近熟林阶段已经开始下降;灌木层则逐渐上升趋势;草本层生产力呈逐渐降低趋势(图 2—3)。对于不同林龄组,乔木层在近熟林阶段生产力最高,平均值为  $4.843\ t/(hm^2 \cdot a)$ ,成熟林期降为  $4.312\ t/(hm^2 \cdot a)$ ,灌木层和草本层变化趋势同上。

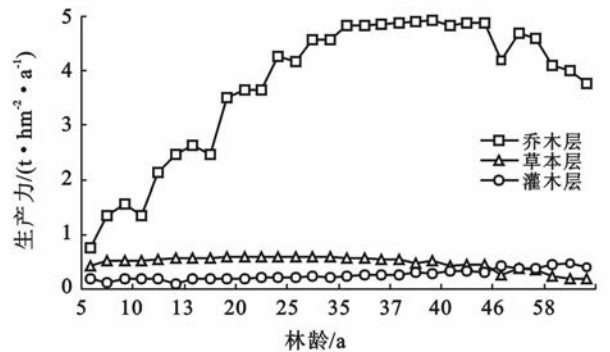


图 2 各层次生产力随林龄的变化

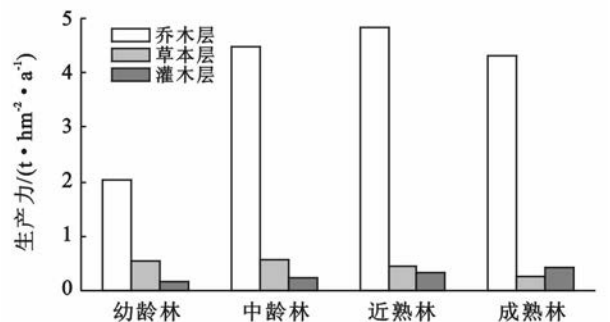


图 3 不同龄组各层次生产力变化

2.2.2 各层次对生产力贡献率 乔木层、灌木层和草本层对林分贡献率研究结果(图 4—5),在乔木层贡献率在幼龄林期 72.17%,而后维持在 85%左右;灌木层生产力贡献率在成熟林之前平均贡献率为 5%左右,成熟林期达到 9.35%,其贡献率超过草本层;草本层对总生产力的贡献最大值出现在幼龄林期 21.16%,而后逐渐降低,中龄林、近熟林和成熟林期分别为 10.98%,7.88%和 5.40%。

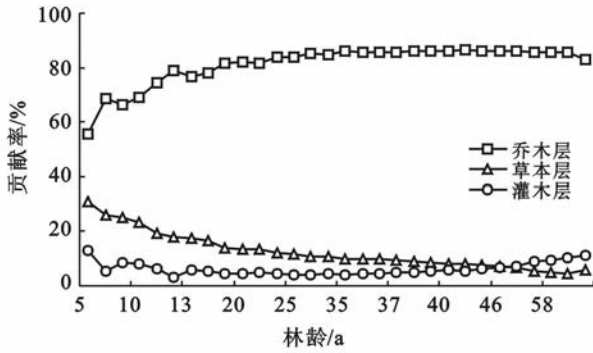


图 4 油松林各层次贡献率随林龄变化

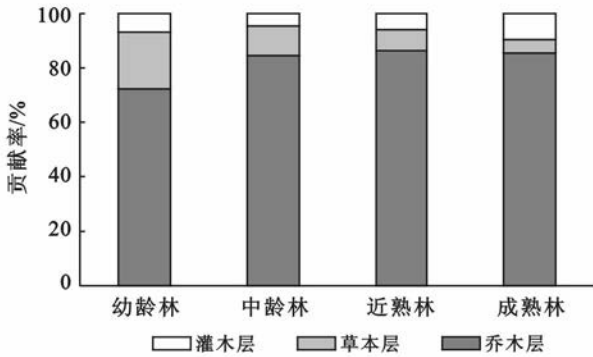


图 5 不同龄组层次贡献率比例

### 2.3 油松林潜在生产力

Thornthwaite Memorial 模型基于蒸发散量计算植被生产力,蒸发散量是一个地区水热状况的综合表现,受太阳辐射、温度、降水量、饱和差、气压、风等一系列气候因素的影响,能把水热平衡和辐射联系在一起,计算所得的气候生产潜力比用 Miami 模型计算所得的气候生产潜力更全面准确。如表 3 所示,山西省油松林潜在生产力为 8.422 t/(hm<sup>2</sup>·a),现实生产力平均水平为 4.462 t/(hm<sup>2</sup>·a),仅占潜在生产力的 53%。

### 2.4 山西省油松林生产力提质增效潜力

研究样地中,位于沁源县的油松林现实生产力最高,为 5.736 t/(hm<sup>2</sup>·a),该区处于森林生态类型 10 区(平均气温 >10℃,降雨量 >500 mm),乔灌草生产力比例为 60:5:6,林下有茶条槭和栎类,土壤呈

弱酸性。以潜在生产力为基数,该油松林现实生产力仅为潜在生产力的 68%,油松林生产力提质增效至少有 32%的空间。

表 3 油松林潜在生产力

t/(hm<sup>2</sup>·a)

样地号	$N_t$	$N_p$	$N_t - N_p$	$N_E$
YS-1	12.221	7.394	4.826	7.866
YS-2	14.242	7.333	6.909	8.163
YS-3	13.709	8.101	5.608	8.578
YS-4	11.035	7.123	3.913	7.463
YS-5	15.401	9.505	5.896	9.703
YS-6	12.916	8.042	4.874	8.390
YS-7	14.420	7.233	7.187	8.117
YS-8	13.003	9.110	3.893	8.970
YS-9	13.267	9.101	4.166	9.028
YS-10	11.202	6.947	4.255	7.389
YS-11	11.792	7.106	4.686	7.603
YS-12	13.267	8.007	5.260	8.439
YS-13	14.420	7.233	7.187	8.117
YS-14	11.369	8.709	2.661	8.367
YS-15	15.669	8.611	7.058	9.243
YS-16	13.003	7.855	5.149	8.297
YS-17	11.369	7.852	3.517	7.949
YS-18	11.202	8.673	2.529	8.305
YS-19	13.443	9.207	4.236	9.121
YS-20	13.267	9.282	3.985	9.115
YS-21	12.916	9.876	3.040	9.285
YS-22	13.267	7.330	5.937	8.009
YS-23	11.202	8.673	2.529	8.305
YS-24	15.401	8.889	6.512	9.362
YS-25	12.916	9.876	3.040	9.285
YS-26	11.792	7.106	4.686	7.603
YS-27	11.622	6.860	4.763	7.412
YS-28	13.620	7.195	6.425	7.972
YS-29	13.797	8.468	5.329	8.811
YS-30	11.878	8.475	3.402	8.390
平均值	12.954	8.172	4.782	8.422

研究结果显示,山西省油松林基于气温的潜在生产力为 12.954 t/(hm<sup>2</sup>·a),基于降雨量的潜在生产力为 8.172 t/(hm<sup>2</sup>·a),根据 Liebig 的限制因子定律,基于气温和降雨量的潜在生产力,选取二者中的最低值作为计算点的林地生产力数据。 $N_t - N_p > 0$ ,该区生产力限制因子为降水, $N_t - N_p < 0$ ,该区生产力限制因子为气温。由表 3 可见,所有分布区限制因子均为降雨量,因此,山西省油松林生产力主要限制因子为降雨量。

## 3 讨论与结论

油松林生产力与林龄有着密切的关系,随着林龄

的增加,油松林生产力先增加,成熟期后逐渐减少;全省油松林现实生产力平均为  $4.462 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,与 Zhao Ming 等<sup>[2]</sup>的研究结论  $7.4 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$  差别较大,一方面后者加入了枯落物的贡献,总量会有所加大,另一方面与数据来源的精度和准确度有关;乔木层生产力幼林龄期最小,贡献率占 72.17%,随着林龄的增加,林分生物量总量继续增加,在近熟林与成熟林过度阶段净生产力已经开始下降。

草本层对总生产力的贡献最大值出现在幼龄林期 21.16%,而后逐渐降低,相反,灌木层生产力贡献率逐渐增大,林分成熟林期其贡献率超过草本层。因为乔木层贡献率的绝对优势,灌木和草本的贡献往往被忽视,而该研究结果发现,在乔木层的生产力绝对值和贡献率均开始下降期,灌木层生产力超过草本层,在三者关系中竞争力增强,是林分结构调整的关键时期。

山西省油松林潜在生产力为  $8.422 \text{ t}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$ ,以潜在生产力为目标,油松林生产力提质增效至少有 32% 的空间。油松林生产力首要限制因子为降雨量,与郭跃东等<sup>[10]</sup>对三道川林场的研究结果和范敏锐等<sup>[17]</sup>对北京地区的研究结果一致。明确生产力提升空间及限制性因素减少了经营的盲目性,对森林经营的目标和经营措施具有重要的实践意义。

#### [参 考 文 献]

- [1] 冯建成. 山西省森林植被的碳贮量研究[J]. 山西林业科技, 2010, 39(1): 16-18.
- [2] Zhao Ming, Zhou Guangsheng. A new methodology for estimating forest NPP based on forest inventory data: A case study of Chinese pine forest[J]. Journal of Forestry Research, 2004, 15(2): 93-100.
- [3] 方精云, 刘国华, 徐篙龄. 中国森林植被净生产量及平均生产力动态变化分析[J]. 生态学报, 1996, 16(3): 597-508.
- [4] 罗天祥, 李文华, 赵士洞. 中国油松林生产力格局与模拟[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 257-261.
- [5] 杨凤萍, 胡兆永, 侯琳, 等. 秦岭火地塘林区油松和华山松林乔木层净生产力与气候因子的关系[J]. 生态学报, 2014, 34(22): 6489-6500.
- [6] 杨东, 杨秀琴. 甘肃武都五凤山林区油松人工林的生物量和生产力研究[J]. 西北师范大学学报: 自然科学版, 2004, 40(1): 70-75.
- [7] 成泽虎, 丁坤元, 刘艳红. 北京油松天然林和人工林乔木层生产力与气候因子的关系[J]. 南京林业大学学报: 自然科学版, 2016, 40(5): 177-183.
- [8] 王云霓, 熊伟, 王彦辉, 等. 宁夏六盘山三种针叶林初级净生产力年际变化及其气象因子响应[J]. 生态学报, 2013, 33(13): 4002-4010.
- [9] 孙继超. 太岳山油松人工林生物量和碳储量研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2011.
- [10] 郭跃东, 郭晋平. 山西三道川林场主要森林生态系统生物量和生产力研究[J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2009, 29(3): 233-237.
- [11] 程小琴, 韩海荣, 康峰峰. 山西油松人工林生态系统生物量、碳积累及其分布[J]. 生态学杂志, 2012, 31(10): 2455-2460.
- [12] 王宁, 王百田, 王瑞君, 等. 晋西山杨和油松生物量分配格局及异速生长模型研究[J]. 水土保持通报, 2013, 33(2): 151-155, 159.
- [13] 冯宗炜, 王效科, 吴刚. 中国森林生态系统的生物量和生产力[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
- [14] 马钦彦. 中国油松生物量的研究[J]. 北京林业大学学报, 1989, 11(4): 1-10.
- [15] Lieth H, Box E O. Evapotranspiration and primary productivity: CW. Thornthwaite Memorial Model[J]. Climatology, 1972, 25(2): 37-46.
- [16] 王树力, 周延阳, 杨广巍. 黑龙江省林口林业局森林的潜在生产力[J]. 中国水土保持科学, 2007, 5(5): 60-65.
- [17] 范敏锐, 余新晓, 张振明, 等. 北京山区油松林净初级生产力对气候变化情景的响应[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(11): 46-48.