

刺槐人工林养分利用效率

刘增文¹, 李雅素²

(1. 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学, 林学院)

摘要:目前普遍采用的短轮伐期萌生复壮的经营方式会使刺槐人工林在多代萌生以后地力衰退、生产力下降,其主要原因是由于树种对养分的选择吸收导致土壤养分平衡失调。根据对黄土残塬沟壑区刺槐人工林地的研究表明,刺槐从土壤中年吸收养分量以 Ca 最多,N 次之,K、Mg 再次,P、S 最少,且随树龄增长年吸收量增大,由速生期到杆材期年吸收量约增加 1 倍之多,由杆材期到成熟期 N、P、K、Mg 年吸收量缓慢增加,而 Ca、S 的吸收量有所下降。土壤养分年吸收系数以 N 最高,S、Mg 次之,P、Ca 再次,K 最低,且随树龄的增长亦呈增大趋势,其均值分别可达 N 1.150%、P 0.142%、K 0.013%、Ca 0.110%、Mg 0.194%、S 0.231%。刺槐对各养分的利用效率随树龄的增长而降低,生产 1t 树干材积约需从土壤中吸收 N 31.92~50.88kg、P 1.32~2.01kg、K 4.48~6.82kg、Ca 71.57~78.79kg、Mg 6.16~9.74kg、S 1.07~1.09kg。立地条件好的林地养分吸收系数及养分利用效率均好于立地条件较差的林地。此外与杉木、油松相比,刺槐对养分的利用效率明显偏低。

关键词:刺槐;养分利用效率

A study on the efficiency of nutrient utilization in black locust plantation

LIU Zeng-Wen¹, LI Ya-Su² (1. College of Resources and Environment, College of Forestry, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100; 2. College of Forestry, Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 444~449.

Abstract:As a type of forest resource with largest distribution and quantity in Gullied Loess Plateau Area, black locust plays an irreplaceable role in ecological environment protection. However, the current situation is not optimistic, that is, many Black locust stands on bad site take weak sign and form due to poor management, which results in low-yielding forest and even “little old man” forest with annual growth less than 1m³/hm². Traditional way to deal with this is to raise forest productivity through short-cycle cutting. But this is not a reliable method, for repeated regeneration of one tree species may cause the problem of soil nutrition imbalance, which leads to low growth of germinated plantation and not beneficial to the cultivation of thick timber. Therefore tow more effective methods can be adopted: Firstly, to fertilize to further prolong soil fertility and keep it from degeneration; Secondly, to introduce renewed

基金项目:国家“九五”攻关资助项目(96-004-05-07);中国科学院国家重点实验室基金资助项目(96W006)

收稿日期:2002-01-07; **修订日期:**2002-05-25

作者简介:刘增文(1965~),男,陕西横山人,博士,副教授,主要从事森林生态与水土保持研究。

Foundation item:This research is aided financially by the national 9th 5-year item (No. 96-004-05-07) and national key laboratory fundation of Chinese Academy of Science (No. 96W006)

Received date:2002-01-07; **Accepted date:**2002-05-25

Biography:LIU Zeng-Wen Doctor, Associate Professor, Research direction is forest ecology and soil and water conservation.

species in ways of mingle or rotation. Accordingly, a thorough and deep knowledge is required of nutrition situation in black locust forest so as to provide scientific basis for the determination of fertilizing plans and renewed species. For this reason, through determining the biomasses, productivities, soil and plant nutrients content of 16 forest plots that represent different landforms, site conditions, growth stages and growth states, related research is made on the nutrients absorption and utilization of the black locust plantation in gullied loess plateau area. It's major results are summarized as follows: (1) The quantity of annual nutrient absorption of black locust from soil is Ca followed by N, K, Mg, P and S successively. The absorption of these elements tend to increase with the growth of trees. From the quick growth stage to trunk growth stage, the absorptions increase to double and more. From trunk growth stage to ripe stage, the absorptions of N、P、K and Mg increase slowly but the absorptions of Ca and S decrease. (2)The ratio of annual nutrient absorption of black locust from soil(the percentage of annual nutrient absorption to the storage in soil)is N followed by S, Mg, P, Ca and K successively. The ratios of these elements tend to increase with the growth of trees, with average of N 1.150%, S 0.231%, Mg 0.194%, P 0.142%, Ca 0.110% and K 0.013% respectively. (3)The utilization efficiency of different nutrients for black locust tends to decrease with the growth of trees. According to statistics, producing 1 ton trunk wood needs to absorb N 31.92~50.88 kg, P 1.32~2.01 kg, K 4.48~6.82 kg, Ca 71.57~78.79 kg, Mg 6.16~9.74 kg, S 1.07~1.09kg from soil. Compared with those of china fir (*Cunninghamia lanceolata*) and pine (*Pinus tabulaeformis*), the nutrient utilization efficiency of black locust is evidently lower, particularly for N and Ca.

Key words:black locust; efficiency of nutrients utilization

文章编号:1000-0933(2003)03-0444-06 中图分类号:S718 文献标识码:A

在黄土高原南部的残塬沟壑区,目前分布最广、数量最多的树种是刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.),这些刺槐林大多是 20 世纪 60~70 年代营造的,仅陕西淳化、长武、永寿、旬邑、彬县、泾阳和三原等渭北地区就营造了 0.95 万 hm^2 的刺槐人工林^[1]。由于刺槐的萌生能力较强,所以一旦营造可以不断地采伐,让其自然萌生成林。然而,目前刺槐的生长状况却并不理想,在许多立地条件较差的地方刺槐多形成低产林,甚至为“小老头”林,年生长量不足 $1\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 。而且在刺槐的生产实践中多采用短轮伐期萌生复壮的经营方式,这种方法虽能在一定程度上促进林地生产力的提高,但多代萌生以后林地生产力必然下降,而且也不利于培育大径阶的木材。作者认为解决的办法是要么进行林地施肥,要么在多代萌生(2~3 代)后引进更新树种形成混交林或进行轮植。然而,不论是林地施肥还是引进更新树种都需要对刺槐林地的养分状况有一个全面深入的了解和认识。

我国关于刺槐林地养分的研究有过一些报道,主要集中于研究刺槐对土壤的改良作用和刺槐树叶、枯落物中养分含量动态变化及枯落物分解^[2,3],均未从养分吸收的角度系统地研究刺槐林地养分利用效率问题,以至于对刺槐林地养分的认识仍然停留在一个静止和片面的状态。鉴于这种情况,作者开展了对黄土残塬沟壑区刺槐人工林地养分利用效率的研究,期望能为指导刺槐的营林实践提供科学理论依据。

1 研究地区概况

研究地区位于黄土高原南部渭北残塬沟壑区陕西淳化县英烈林场境内。这里地处暖温带半湿润森林草原生物气候带,年平均雨量 600.6mm,年平均气温 10.5℃,平均无霜期 190d,海拔 1025~1823.5m,伊万诺夫湿润度平均值为 0.7。刺槐是当地的主要造林树种和成林资源,分布于不同地貌部位和不同立地条件的坡地上,林地土壤类型为褐色土类的白缙土亚类,林下植被以禾草、蒿类及悬钩子为主。

2 研究方法

2.1 林分标准地的选设

在淳化县英烈林场的辖区内分别于泥河沟流域、赵家山林区、英烈林场和安子洼 4 个分区选设刺槐林

分标准地 16 块(见表 1),为了比较,均选取实生林分,标准地面积 $20\times 20\text{m}^2$ 。这 16 块标准地分别代表了不同地貌部位、不同立地条件、不同生长阶段和不同生长状况的林地情况。同时,以标准地调查的常规方法建立标准地档案,测定林分平均树高、平均胸径及其连年生长量和林地枯落物量等指标。

2.2 生物量及生产力的测算

生物量及生产力测定是研究养分利用效率的基础,鉴于张柏林等人曾就淳化县刺槐林的生物量作过专门研究^[2],所以本研究关于生物量的测算便应用其所得出的预测模型。

根据每标准地检尺测定得出的平均树高(H)、平均胸径(D)代入测算模型即可求出各树木器官的单株生物量,乘以林分密度即得单位面积上的生物量。此外,根据实测胸径、树高的连年生长量指标,同理可得出,刺槐各器官的生物量年增长,即林分净生产力指标。

表 1 刺槐林分标准地概况

Table 1 Basic information of sample plots of Black locust forest land								
标准地号 Plots	林龄(a) AgeP	密度 (株·hm ⁻²) Density	地貌部位 Site	坡度 Gradient of slop	海拔(m) Elevation	平均树高 (m)Stand height	平均胸径 (cm)Stand D. B. H.	地理位置 Position
01	13	1755	阳坡上部	13°	1303	7.59	10.53	赵家山
02	5	5758	半阴岗顶	3°	1314	5.61	5.00	赵家山
03	6	2250	阳坡上部	8°	1283	6.14	4.64	石坡梁
04	17	1575	阴坡下部	8°	1244	12.75	13.26	石坡梁
05	11	3097	阳坡中部	9°	1283	9.41	9.51	石坡梁
06	17	4100	阳坡上部	6°	1314	7.72	7.44	石坡梁
07	10	2342	坡下部平地	2°	894	11.71	9.45	中木庄
08	4	4386	半阴坡下部	13°	924	5.60	4.37	中木庄
09	15	2444	半阴坡中部	37°	954	10.71	9.42	泥河沟
10	18	1525	阳坡中部	20°	954	9.86	10.48	泥河沟
11	14	2889	半阴坡中部	15 °	1343	9.10	9.65	峨
12	19	3241	半阴坡中部	16 °	1334	9.05	9.43	红石崖
13	11	5606	阴坡上部	10 °	1374	3.85	4.65	峨
14	32	769	半阳坡中部	13 °	1694	18.21	20.65	安子洼
15	18	1069	半阳坡上部	13 °	1823	13.90	16.43	安子洼
16	24	1500	塬面	2 °	1413	13.81	15.49	英烈

2.3 植物、土壤样品采集

在研究地区,刺槐于 4 月下旬开始展叶,5~6 月份为迅速生长期,7~8 月份达旺盛生长期,9 月后逐渐稳定,10 月上旬初霜后生长停止,10 月中旬严霜后大部分树叶开始枯落,林木逐渐进入休眠期。根据树木的生长规律,分别不同林龄标准地选择固定标准株(2~4 株)作为取样木,分别于生长初期(5 月上旬)、生长盛期(8 月下旬)、休眠期(10 下旬)取刺槐的叶、枝(分 1~2 年生幼枝,多年生老枝)、干材、干皮、根系(分 <0.5cm 细根和 >0.5cm 粗根)混合样品的适量留作化学分析。为了消除因取样部位不同对养分分析测定结果的人为影响,取样时叶子取树冠中部不同方向样品混合,干材、干皮取胸高处不同方向混合。

林地土壤于生长初期分别各标准地以 5 点取样法取根层(0~50cm)不同层次土壤样品。同时以小样方法($1\times 1\text{m}^2$)5 点调查林地枯落物量,并取样作化学分析

2.4 样品分析

用碱解扩散法测定 N,钠氏试剂比色法测定 $\text{NH}_4\text{-N}$,酚二黄酸比色法测定 $\text{NO}_3\text{-N}$,蒸馏比色法测定 Org-N,钼兰比色法测定 P,火焰光度法测定 K,EDTA 容量法测定 Ca、Mg,BaSO₄ 比浊法测定 S。

3 结果与分析

3.1 刺槐年吸收养分量

刺槐在其生长过程中不断地从土壤、大气中吸收养分供其生理代谢之用。根据 Denaeyer 提出的吸收

= 存留 + 归还的养分平衡式^[4], 可以计算出每块林地的年吸收养分量, 结果表明, 刺槐年吸收量以 Ca 最多, N 次之, K、Mg 再次, P、S 吸收量最少。每 1hm² 刺槐林年最大吸收量可达 N 269.310kg、P 10.703kg、K 37.340kg、Ca 372.235kg、Mg 52.636kg、S 6.455kg(安子洼, 林龄 32a)。可以想见, 年吸收量与树木年生长量紧密相关, 由于不同林龄、不同立地条件下刺槐林分的生长差异很大, 所以年吸收养分量的差异亦很大。表 2 给出了不同生长阶段刺槐年吸收养分量的平均值, 结果表明, 刺槐年吸收养分量随林龄增长而增大, 由速生期到杆材期, 养分年吸收量增加很快, 杆材期的养分年吸收量可达速生期的 2 倍之多。而由杆材期到成熟期年吸收量的增加较缓慢, 其中 Ca、S 的年吸收量甚至有所下降。

表 2 刺槐林分年吸收养分量(kg·hm⁻²·a⁻¹)、年吸收系数(%)和生产 1t 杆材需从土壤吸收养分量(kg)
Table 2 Annual nutrient absorption(ANA), ratio of annual nutrient absorption(RANA)and nutrients absorption from soil per production of 1 ton trunk wood(NASP)of Black locust plantation

生长阶段 Growth stage		N	P	K	Ca	Mg	S
速生期(4~6 龄)Quick growth stage	ANA	65.856	2.727	9.211	150.037	12.616	2.217
	RANA	0.508	0.069	0.006	0.064	0.114	0.204
	NASP	31.92	1.32	4.48	75.38	6.16	1.07
杆材期(10~15 龄)Trunk growth stage	ANA	150.921	6.821	21.764	300.487	28.120	4.122
	RANA	1.362	0.175	0.016	0.178	0.185	0.258
	NASP	39.61	1.79	5.74	78.79	7.29	1.08
成熟期(17~24 龄)Ripe stage	ANA	185.017	7.306	25.002	258.849	35.598	4.111
	RANA	1.581	0.181	0.018	0.089	0.283	
	NASP	50.88	2.01	6.82	71.57	9.74	1.09

(1) ANA 年吸收养分量(kg·hm⁻²·a⁻¹) Annual nutrient absorption;(2) RANA 养分年吸收系数(%) Ratio of annual nutrient absorption;(3) NASP 生产 1t 杆材需从土壤吸收养分量(kg) Nutrients absorption from soil per production of 1 ton trunk wood

3.2 刺槐林地土壤养分吸收率

刺槐对土壤养分的吸收利用率可用土壤养分的吸收系数, 即刺槐年吸收养分量与根层 0~50cm 土壤中的养分贮量之比来衡量。根据计算, 刺槐林地的年养分吸收系数以 N 最高, S、Mg 次之, P、Ca 再次, K 最低, 最高值分别可达 N 2.373%、P 0.246%、K 0.031%、Ca 0.202%、Mg 0.562%、S 0.258%。表 2 给出了不同林龄时期刺槐林地的养分吸收系数平均值, 结果表明, 林地养分年吸收系数亦随林龄的增长呈增大趋势, 特别是速生期到杆材期, 土壤养分吸收系数提高约 1~2 倍, 由杆材期到成熟期养分吸收系数增长甚微。

3.3 刺槐林的养分利用效率

养分利用效率是一个极为有用的概念, 它反映了树木对养分环境的适应状况和利用状况。但是目前对这一指数的测算有些混乱, 以致许多研究结果不能互相比对^[5]。在森林养分研究中应用较多的是 Chapin 指数^[6], 即以植物生物量与植物养分贮量之比值作为养分利用效率, 此实质上就是植物体养分平均含量(%)的倒数。然而, 作者认为, 以 Chapin 指数来反映树木的养分利用效率存在许多问题, 一是树木所积累的干物质以低养分含量(%)的木质部为主, 所以以全树平均养分含量(%)的倒数将会产生养分利用效率过高的估计; 二是养分在树木生长过程中是一个循环利用的过程, 而以 Chapin 方法计算的养分利用效率不能反映树木从土壤中吸收养分的情况。所以作者建议采用树木生产 1t 杆材(树干材积)需要从土壤中吸收的养分数量来反映其对养分的利用效率, 吸收量多说明其利用效率低, 吸收量少说明利用效率高, 而不同养分之间的差异说明了树木对不同养分的需求特征。

据测算, 刺槐生产 1 吨杆材约需从土壤吸收 N 31.92~50.88kg、P 1.32~2.01kg、K 4.48~6.82kg、Ca 71.57~78.79kg、Mg 6.16~9.74kg、S 1.07~1.09kg, 可见刺槐对 Ca、N 的需求量较大, K、Mg 次之, P、S 较少。此外, 由表 2 可以看出, 随着林龄的增长, 刺槐对养分的利用效率降低, 杆材期较速生期各养分利用效率降低 N 19.41%、P 26.26%、K 21.95%、Ca 4.33%、Mg 15.50%、S 0.93%, 成熟期较杆材期各养分利

用效率降低 N 22.15%、P 10.95%、K 15.84%、Mg 25.15%、S 0.92%，相反 Ca 的利用效率提高 10.09%。

为了比较不同树种的养分利用效率，采用 Chapin 方法计算了刺槐的养分利用效率，并与其它树种进行比较，见表 3。

表 3 不同树种每生产 1t 干物质所需养分元素量(kg)

Table 3 Nutrient needs per production of 1 ton dry material of different tree species

树种 Species	林龄 Age	N	P	K	Ca	Mg	S	资料来源 Source
刺槐 Black locust	13	11.71	0.50	1.91	12.16	1.91	28.19	陕西淳化
油松 Pine	20	3.74	0.38	2.63	3.02	0.65	10.40	陕西秦岭 ^[7]
杉木 Chinese fir	16	2.10	0.19	1.24	1.74	0.51	5.82	湖南会同 ^[8]
油松 Pine	28	5.22	0.77	4.02	5.29	1.48	16.78	河北隆化 ^[9]

表 4 不同立地条件刺槐林地养分吸收利用特征

Table 4 Characteristics of nutrient absorption and utilization in different forestlands

林龄 Age	标准地号 Plots	特征参数 Parameters	N	P	K	Ca	Mg	S
11	05	RANA	1.342	0.229	0.018	0.202	0.247	1.09
		NASP	39.43	1.78	5.68	75.52	8.24	
	13	RANA	0.689	0.077	0.007	0.023	0.033	1.50
		NASP	57.06	2.62	2.62	118.60	10.04	
17	04	RANA	1.620	0.220	0.017	0.156	0.226	0.338
		NASP	45.40	1.80	6.24	63.11	8.76	
	06	RANA	1.016	0.162	0.013	98.04	12.75	1.25
		NASP	67.78	2.64	8.71			
18	15	RANA	1.663	0.217	0.022	56.21	8.00	0.99
		NASP	40.69	1.61	5.57			
	10	RANA	1.376	0.101	0.011	65.17	9.03	1.02
		NASP	47.21	1.88	6.40			

由表 3 可见，从总的情况来看，刺槐的养分利用效率较低，大小顺序为杉木>油松>刺槐，特别是刺槐对 N、Ca 的利用效率极低，推测这可能与刺槐具有固 N 作用和黄土区土壤 Ca 的含量较高不无关系。

3.4 立地条件对土壤养分吸收的影响

林木从土壤吸收养分除了受林龄的影响外，还受立地条件的制约，由表 4 可见，同龄林分，立地条件较差的 N₀₁₃、N₀₀₆、N₀₁₀ 标准地土壤养分年吸收利用率和养分利用效率均低于立地条件较好的 N₀₀₅、N₀₀₄ 和 N₀₁₅ 标准地，由此可以说明，立地条件通过影响树木的养分吸收来影响其生长发育。

4 结论

刺槐从土壤中年吸收养分量以 Ca 最多，N 次之，K、Mg 再次，S 最少，且随树龄增长年吸收量增大，由速生期到杆材期年吸收量约增加 1 倍之多，由杆材期到成熟期 N、P、K、Mg 年吸收量缓慢增加，而 Ca、S 的吸收量有所下降。

土壤养分年吸收系数以 N 最高，S、Mg 次之，P、Ca 再次，K 最低，且随树龄的增长亦呈增大趋势，其均值分别可达 N 1.150%、P 0.142%、K 0.013%、Ca 0.110%、Mg 0.194%、S 0.231%。

刺槐对各养分的利用效率随树龄的增长而降低。统计表明，刺槐生产 1t 树干材积约需从土壤中吸收 N 31.92~50.88kg、P 1.32~2.01kg、K 4.48~6.82kg、Ca 71.57~78.79kg、Mg 6.16~9.74kg、S 1.07~1.09kg。立地条件对养分吸收影响很大，立地条件好的林地养分吸收量、养分吸收系数及养分利用效率均好于立地条件较差的林地。此外与杉木、油松相比，刺槐对养分的利用效率明显偏低，特别是对 N、Ca 的利用效率极低，推测这与刺槐具有固 N 作用和黄土区土壤 Ca 的含量较高不无关系。

Technology,1988,(1):24~25.

[2] Wang Y M, Liu B Z. *Ecological characteristics of protection forests in Loess plateau*. Beijing: Chinese Forestry Press,1994. 161~165.

[3] Hu S H, Cheng L Z. The Study on the litter decomposition of several tree species. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*,1987, **11**(2):124~128.

[4] P. Duvigneaud S. Denaeyer-De Smet, Chen Z Z translation. Mineral cycling of land ecosystem. *Translation of Plant Ecology* IV. Beijing: Science Press,1982. 144~150.

[5] Liu Z W, Zhao X G. On the Characteristic Parameters of Nutrient Cycling in Forest Ecosystem. *Journal of Northwest Forestry University*,2001,**16**(4):21~25.

[6] Chapin F S. III. The mineral nutrition of wild plants. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* ,1980,(1):233~260.

[7] Gao J R. Study on nutrients bio-cycling of pine plantation in Huoditang of Qinling moutain. *Journal of Northwest Forestry College*,1987, **2**(1):23~34.

[8] Pan W C, Tian D L, Li L C , *et al.* Study on nutrients cycling of Chinese fir plantation. *Journal of Central-south Forestry College*,1983, **3**(1):1~15.

[9] Sheng G F, Nian D P, Dun S R. Study on nutrients cycling of pine plantation. *Journal of Beijing Forestry College*,1985(4):1~13.

参考文献:

[1] 毛育福,任新昌,杨俊礼. 刺槐林的培育和利用. *陕西林业科技*, 1988,(1):24~25.

[2] 王佑民,刘秉正. 黄土高原防护林生态特征. 北京:中国林业出版社, 1994. 161~165.

[3] 胡肆慧,陈灵芝. 关于几种树木枯落物分解的研究. *植物生态学与地植物学学报*,1987,**11**(2):124~128.

[4] P. Duvigneaud S. Denaeyer-De Smet. 陈佐忠译. 陆地生态系统矿质循环. *植物生态学译丛* IV. 北京:科学出版社, 1982. 144~150.

[5] 刘增文,赵先贵. 森林生态系统养分循环特征参数研究. *西北林学院学报*,2001,**16**(4):21~25.

[7] 高甲荣. 秦岭火地塘油松人工林养分生物循环研究. *西北林学院学报*,1987, **2**(1):23~34.

[8] 潘维涛,田大伦,李利村,等. 火炬松林养分循环研究. *中南林学院学报*,1983, **3**(1):1~15.

[9] 沈国防,聂道平,董世仁. 油松人工林养分循环研究. *北京林学院学报*,1985(4):1~13.