

薪炭林植物选择指标数值分析

汪有科 王晗生 傅左李立杨光

(中国科学院
水利部西北水土保持研究所·陕西杨陵·712100)

摘 要

根据薪炭林植物应具有热值高,抗旱性强的特点,文章选择了产量、热值、水势、组织含水量、自由水/束缚水和自然饱和亏六个特征指标,在单指标分析的基础上,又应用数值分析技术选出了沙棘、狼牙刺、山桃、柠条、沙打旺、草木樨、苜蓿、红豆草共8个优良的薪炭林植物种。

关键词 薪炭林 植物选择 数值分析

植物选择是发展和建立薪炭林成败的关键。国外十分重视,并开展了大量的研究工作。我国薪炭林植物种选择一般仅考虑生物产量和热值两项指标,周泽生等人近年来进行了多指标选择薪炭林植物的研究,使薪炭林植物选择研究提高到一个新的水平。在此我们进行了薪炭林植物选择指标的数值分析探讨,选出的植物种已在当地生产中得到应用,收到较好的效果。

1 试验区的自然条件

试验区位于宁夏西吉县境内,地理位置界为北纬 $35^{\circ}35'$ ~ $36^{\circ}14'$,东经 $105^{\circ}23'$ ~ $105^{\circ}42'$ 。该县属黄土丘陵区,温带半干旱气候,水土流失严重,年干燥度 $1.45\sim 2.66$,年干旱率 $50\%\sim 70\%$,年降雨量 $330\sim 430\text{mm}$,多集中在7、8、9三个月,约占全年降雨量的60%,年平均气温 5.3°C ,大于 10°C 积温为 2260°C ,无霜期120天左右。土壤为细黄土,肥力差,有机质含量低(0.7%)。常见植物种有:长芒草(*Stipa bungeana*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、阿尔泰狗娃花(*Heteropappus altai-cus*),覆盖度 $0.3\sim 0.5$,海拔 $1920\sim 2144\text{m}$ 。

2 参试植物种及研究方法

2.1 参试植物种

1. 沙棘 *Hippophae rhamnoides* Linn.
2. 狼牙刺 *Sophora viciifolia* Hance.
3. 蒙古莜花 *Cargopleris mongolica* Bunge.
4. 荆条 *Viton negundo* Linn.

5. 马茹刺 *Prinsepia uniflora* Batal.
6. 杞柳 *Salix purpurca* Linn.
7. 柠条 *Caragana inlelmadia* Kuang et H.C.Fu.
8. 山桃 *Amygdalus davidiana* (Carr) Franch.
9. 山杏 *Prunus armeniaca* L. Var. *ansu* Malim.
10. 刺槐 *Robinia pseudoacacia* Linn.
11. 胡枝子 *Lespedeza bicolor* Turoz.
12. 怪柳 *Tamarix chinensis* Lour.
13. 杜梨 *Pyrus betulaefolia* Bge.
14. 沙柳 *Salix mongolica* Siuzov.
15. 紫穗槐 *Amorpha fruticosa* Linn.
16. 沙打旺 *Astragalus adsurgens* Pall.
17. 草木樨 *Melilotus suaveolens* Ledeb.
18. 苜蓿 *Medicago sativa* L.
19. 红豆草 *Onobrychis viciaefolia* Scop.

2.2 研究方法

各项特征指标均在西吉县农村能源试点的燃料林试验区和示范区测定。造林立地为荒坡,株行距是 $1\text{m} \times 1.5\text{m}$ 。产量测定用收割法,1次测定10株,3次重复,以风干重计算。本文选取3龄林的产量,其中木本植物为生长3年的累计产量,草本除草木樨为2龄时的产量,其余为3龄时的产量。热值用氧弹式热量计测定。水分生理指标的测定时间是1987年8月13~18日。水势用压力室法;水分饱和和亏用室内自由干燥和烘干法;自由水、束缚水量用阿贝折射仪法。

数学分析采用系统聚类^[1]、主分量分析^[2]和模糊综合评判^[3]三种方法。

3 结果与分析

3.1 多特征指标分析^[4]

根据薪炭林经营的目标及黄土高原干旱少雨的特点,我们选择的植物种应具有高产、高热值及抗旱性强的特征。在此,我们选用产量、热值、水势、组织含水量、自由水/束缚水比值和自然饱和亏六个特征指标(见表1)。对表1所列特征指标进行对比分析,可看出以下几点:

3.1.1 产量

红豆草、苜蓿、沙打旺、草木樨4个草本植物种为极高产(9000kg以上);狼牙刺、沙棘、山桃三个木本植物种为高产(3000kg以上);紫穗槐、沙柳、柠条、刺槐4个木本植物种产量一般(1500kg以上);杜梨、山杏等8个植物种是低产(1500kg以下)。

3.1.2 热值

4种草本植物的热值比较接近,木本之间的热值差异较大。最低值(蒙古莜花)与最高值(怪柳)相差1947J/g。一般木本植物的热值多高于草本植物的热值。

3.1.3 水势

表1 燃料林不同植物种的特征指标

序号	植物种	产 量 (kg/ha)	热 值 (J/g)	水 势 (-10^5 Pa)	组织水量 (占鲜重%)	自由水 /束缚水	自然饱和亏 (%)
1	沙 棘	3690	19050	21.53	66.9	0.61	15.00
2	狼 牙 刺	3195	18631	23.4	68.38	0.36	17.09
3	蒙古莜花	450	18058	15.13	72.74	1.36	20.63
4	荆 条	405	18158	12.0	66.96	0.22	22.18
5	马 茹 刺	555	18506	21.07	66.84	0.94	13.20
6	杞 柳	585	18383	11.80	68.46	0.14	18.77
7	柠 条	2850	19092	19.0	62.78	0.46	17.37
8	山 桃	4965	19176	16.47	59.9	0.83	18.00
9	山 杏	810	18397	38.20	70.0	0.60	9.60
10	刺 槐	1575	18330	19.6	68.51	0.76	11.03
11	胡 枝 子	915	18403	11.0	65.89	0.58	12.97
12	桤 柳	1200	20004	22.7	67.7	0.81	11.10
13	杜 梨	765	19942	20.1	60.7	1.14	18.00
14	沙 柳	1725	18204	19.0	65.0	0.94	10.10
15	紫 穗 槐	1575	19159	13.0	67.1	0.85	21.00
16	沙 打 旺	14760	18171	16.6	72.7	0.64	17.00
17	草 木 樨	21750	18154	18.6	71.3	0.66	18.30
18	苜 蓿	10065	18012	4.0	85.2	1.12	27.10
19	红 豆 草	9885	18083	4.0	82.3	1.25	26.70

山杏、狼牙刺、桤柳、沙棘、马茹刺、刺槐、杜梨的水势较低（低于 -19×10^5 Pa），说明它们有较强的根系吸水能力。草本植物中，沙打旺、草木樨水势较低。

3.1.4 自由水/束缚水

一般自由水与束缚水的比值愈小，表明抗旱力愈强，反之则反。从表1可知，蒙古莜花、杜梨、沙柳、马茹刺、紫穗槐、山桃、桤柳有较高的自/束比，草本植物中苜蓿和红豆草的自/束比也较高。

3.1.5 组织含水量

大部分木本植物叶片含水量都在62%~68%之间，山桃、杜梨组织含水状况较差（59.9%~60.7%），而山杏、蒙古莜花在干旱生境中能维持较高的组织含水量（70.0%~72.7%）。草本植物组织含水量均较高。

3.1.6 水分饱和亏

19种植物都存在不同程度的水分亏缺，其中荆条、紫穗槐，蒙古莜花、苜蓿、红豆草叶片水分亏缺较严重，而沙柳、桤柳、刺槐体内水状况较好。

3.2 系统聚类分析

以上进行了多特征指标的逐项分析，各指标分别从不同侧面反映了植物种的特性。但很难同时用多个特征指标进行比较，选出多特征指标兼优的植物种。为此，我们采用系统聚类分析方法。系统聚类分析具有将m个样本按n个属性的相似程度进行分类的功能。分类后的每个类组中的样本具有多指标相似程度高的特点。每个类组可看作是一个综合样本，然后进行综合样本(类组)比较，选出多特征指标优良的综合样本，以达到选择优良薪炭林植物种的目的。

由表 1 中的数据经系统聚类运算可作树系图 1。当取阈值 110 时, 19 个植物种可分为 6 个类组(综合样本)。将各类组所包括植物的特征指标平均值作为综合样本的特征指标, 则有表 2 所列结果。从表 2 可看出, 4 个草种被分为 3 类, 产量为极高, 热值较低, 其中沙打旺和草木樨抗旱性较强, 是优良的薪炭林植物种。苜蓿和红豆草抗旱性较弱, 可在水分条件较好的地方作为薪炭林植物。木本植物被分为 3 类。I 类组产量高, 热值高, 抗旱性强, 是优良的燃料灌木种; II 类组产量低, 热值不高, 在当地不宜作为燃料林植物种发展; III 类组产量低、热值高、抗旱性强, 一般在荒山造林也不宜考虑。

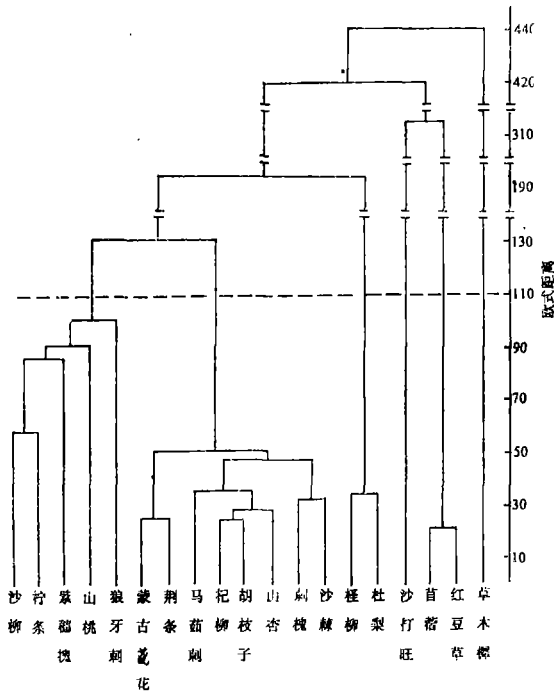


图 1 聚类分析树系图

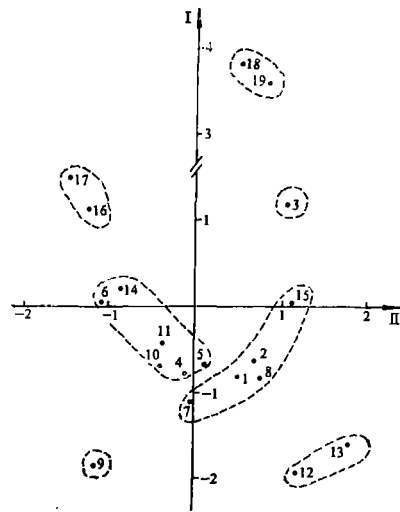


图 2 主分量分析 I—II 主分量排序图
(图中数字点为植物序号, 见表 1)

3.3 主分量分析

主分量分析可将由多种特征指标反映的植物种归结为几个综合指标(主分量)来反映植物特性, 并可以按综合指标具有的特性将植物进行分类和排序。

由表 1 数据进行主分量分析运算可知, 第 1 到第 4 主分量累积贡献率依次为 48%、66%、81% 和 92%。前 4 个主分量能反映原有信息的 92%, 其前两个主分量可反映 66% 的信息, 也具有较强的代表性。如将 I、II 主分量作排序图 2 可看出, 19 个植物在两维空间的排序基本与聚类树系图分类结果一致。所不同的是沙打旺和草木樨排序相距很近, 被划为一类; 蒙古花由于自/束比值大(1.36)单独为一类; 山杏因水势最低($-38.2 \times 10^5 \text{Pa}$)单独为一类。结合生产经验, 我们认为, 沙打旺和草木樨划为一类更便于应用(沙打旺和草木樨混合播种效果很好), 较为合理, 蒙古花和山杏虽然特征值具有独特性, 但由于产量和热值均不高, 仍不能做为薪炭林的优良植物种。

表 3 列出了主分量的负荷量。由 I、II 主分量的负荷量可知, 产量、热值、水势和组织

含水量 4 个特征指标与 I、II 主分量关系密切,负荷量值均大于 0.5。也就是说,图 2 能反映 66.16% 的信息。主要是这 4 个特征指标起作用。同时还可看出,这 4 个特征指标在其它主分量中也有较明显地影响。由此,我们初步认为这 4 个特征指标能反映植物的能源意义。

表2 综合样本(类组)特征表

类 组 号	定 量 特 征 指 标						定 性 特 征 评 价
	产 量 (kg/ha)	热 值 (J/g)	水 势 (Pa)	组织水 (%)	自/束	水饱亏 (%)	
I	3255	19025	-18.68×10 ⁵	65.01	0.622	17.692	高产,高热值,抗旱性强
II	878	18305	-18.48×10 ⁵	68.05	0.693	14.823	低产,低热值,抗旱性强
III	983	19975	-21.4×10 ⁵	64.20	0.975	14.55	低产,高热值,抗旱性强
IV	14760	18171	-16.6×10 ⁵	72.70	0.64	17.0	极高产,低热值,抗旱性强
V	9975	18045	-4.0×10 ⁵	83.75	1.185	26.9	极高产,低热值,抗旱性弱
VI	21750	18154	-18.6×10 ⁵	71.30	0.66	18.3	极高产,低热值,抗旱性强

表3 主方量的负荷量表

特征因子	I	II	III	IV	V	VI
产 量	0.6040	-0.3840	-0.4285	0.4165	0.1092	0.2032
热 值	-0.5060	0.5997	-0.2156	-0.0698	0.3756	0.0993
水 势	-0.6069	0.1182	-0.4826	-0.2300	-0.3253	0.1689
组织含水量	1.3104	0.5648	0.0342	-0.1837	-0.0976	0.0718
自由水/束缚水	0.3823	-0.3766	-0.4525	-0.5154	0.1499	-0.1453
自然饱和亏	-0.0314	-0.3653	0.4598	-0.3796	0.0914	0.2649
特 征 根	2.8545	1.1152	0.8804	0.6747	0.2991	0.1781
累计贡献率 (%)	47.57	66.16	80.83	92.48	97.06	100

3.4 模糊综合评判

为了进一步确定优良燃料林植物种,同时验证主分量分析提出的 4 个特征指标(产量、热值、水势、组织含水量)的重要性,我们再进行植物种选择的模糊综合评判。

从 I 主分量的负荷量可看出,产量和热值对 I 主分量的作用是一正一负,这是由于产量高的植物往往热值不高(如草本植物)。为了能更有效地反映产量和能量,我们采用产能量(产量×热值)这个新指标,即用 3 个指标(产能量、水势、组织含水量)。并舍去蒙古莠花和山杏两个生理指标独特的种。

所谓综合评判是“着眼点”的隶属函数值(权数)或模糊集 \tilde{A} 和模糊关系矩阵 \tilde{R} 的复合作用,即 $\tilde{A} \circ \tilde{R} = \tilde{B}$ 。模糊集 \tilde{B} 就是评判结果,据此可排序择优。

采用的 3 个指标,构成期望指标集 $U = \{u_1, u_2, u_3\} = \{\text{产能量, 水势, 组织含水量}\}$ 。17 个植物种构成评判对象集 $V = \{v_1, v_2, \dots, v_{17}\} = \{\text{沙棘, 狼牙刺, 荆条, 马茹刺, 杞柳, 柠条, 山桃, 刺槐, 胡枝子, 怪柳, 杜梨, 沙柳, 紫穗槐, 沙打旺, 草木樨, 苜蓿, 红豆草}\}$ 。

采用线性隶属函数,三个指标的隶属函数为;

$$\mu_{(u_1)} = \begin{cases} 0 & u_1 \leq 120\,000 \\ -\frac{3}{152} + \frac{u_1}{6\,080\,000} & 120\,000 < u_1 < 6\,200\,000 \\ 1 & u_1 \geq 6\,200\,000 \end{cases}$$

$$\mu_{(u_2)} = \begin{cases} 0 & u_2 \leq 4.0 \\ -\frac{4}{19} + \frac{u_2}{19} & 4.0 < u_2 < 23.0 \\ 1 & u_2 \geq 23.0 \end{cases}$$

$$\mu_{(u_3)} = \begin{cases} 0 & u_3 \leq 60.0 \\ -2\frac{2}{5} + \frac{u_3}{25} & 60.0 < u_3 < 85.0 \\ 1 & u_3 \geq 85.0 \end{cases}$$

由隶属函数，可构成模糊关系矩阵 \tilde{R} ，

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} 0.164 & 0.136 & 0 & 0.007 & 0.008 & 0.123 & 0.230 & 0.056 & 0.024 & 0.043 \\ 0.923 & 1 & 0.421 & 0.898 & 0.411 & 0.790 & 0.656 & 0.821 & 0.368 & 0.984 \\ 0.276 & 0.335 & 0.278 & 0.274 & 0.338 & 0.111 & 0 & 0.340 & 0.236 & 0.308 \\ 0.020 & 0.063 & 0.059 & 0.683 & 1 & 0.455 & 0.448 & & & \\ 0.847 & 0.790 & 0.474 & 0.663 & 0.768 & 0 & 0 & & & \\ 0.028 & 0.200 & 0.284 & 0.508 & 0.452 & 1 & 0.892 & & & \end{bmatrix}$$

若各指标在评判中的权重分配为 $A = (0.6, 0.2, 0.2)$ ，即产能量权重大。这样就可进行模糊变换，得到评判结果 \tilde{B} 。 \tilde{B} 是 \tilde{V} 上的一个模糊子集。

$$\tilde{B} = A \cdot \tilde{R} = (0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.23, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.2, 0.6, 0.6, 0.455, 0.448)$$

因为其绝大多数数字相同，显然 \tilde{B} 没有意义。故可采用一般矩阵相乘的算法，得综合评判结果为

$$\tilde{B} = A \cdot \tilde{R} = (0.338, 0.349, 0.140, 0.239, 0.155, 0.254, 0.269, 0.266, 0.135, 0.284, 0.187, 0.236, 0.187, 0.644, 0.844, 0.473, 0.447)$$

据此可得 17 种植物的优良顺序(按先后为序表示优劣)为：草木樨、沙打旺、苜蓿、红豆草、狼牙刺、沙棘、桤柳、山桃、刺槐、柠条、马茹刺、沙柳、紫穗槐、杜梨、杞柳、荆条、胡枝子。

由模糊综合评判结果看出，排在前面的植物基本上是和聚类分析及主分量分析选优结果一致，只是桤柳和刺槐又进入了优树中间。如果将只有一种数值分析方法选中的植物(桤柳、刺槐、紫穗槐)单独列为一类，可发现其产量和热值与 I 类组最为接近。所以，我们认为通过以上三种数值分析方法均选上的植物种是当地可靠的优良薪炭林植物种。它们是草木樨、沙打旺、苜蓿、红豆草、沙棘、狼牙刺、山桃、柠条。而仅有一种方法选中的植物可作为一般薪炭林植物种。其余植物种为薪炭林的不适宜种。

参 考 文 献

- [1] 杨维权,刘兰亭,林鸿洲.多元统计分析.高等教育出版社,1989;209~226
 [2] 阳含熙,卢泽恩.植物生态学的数量分类方法.科学出版社,1983;232~251
 [3] 袁志发等.模糊数学在农林上的应用.天则出版社,1989,127~138
 [4] 傅左,周泽生等.黄土高原能源林植物选择的研究之二——主要能源林植物水分状况及其抗旱性比较.水土保持学报,1989年;8(3): 91~96

THE QUANTITATIVE ANALYSIS FOR THE CHOICE INDEXES FOR SPECIES OF FUEL WOOD

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation under
 the Chinese Academy of Science and Ministry of Water
 Conservancy Yangling·Shaanxi·712100)

Abstract

This paper chose six charactic indexes, yield, fuel value, water potential, tissue water content, ratio of free water to bound water and natural saturation deficit, according to the charactersitic that fuel wood plants should have higher and drought resistance. After comparing each charactic indexes, eight fine species were selected by using of quantitative analysis technique, They are Hippophae rhamnoides Linn., Sophora vicifolia Hance., Amygdalus davidiana(carr) Franch., Caragana inlelmadia Kuang el H. C. Fu., Astragalus adsurgens Pall., Melilotus suaveolens Ledeb., Medicago sativa L. and Onobrychis viciaefolia Scop.

Key words fuel wood choice of species quantitative analysis

(上接第123页)

THE STRUCTURE OPTIMIZATION AND BENEFIT THE SIMULATION FOR THE FUEL FORESTS

Wang Yuke Zhou Zesheng Li Li Fu Zuo Yang Guang

(Northwestern Institute of Soil and Water Conservation,
 Academia Sinica and the Ministry of Water Conservancy
 Yangling·Shaanxi·712100)

Abstract

Based on the characteristics of water and soil loss on the loess plateau, We considered two objective functions on economics and ecology, using systematic optimization theory and systematic dynamic principles, and optimized the tree species combination of fuel forest on the loess hill region of XiJi county. The dynamic simulation of fuel yield, water and soil conservation effects and economic benefits were also analysed.

Key words fuel forest benefit systematic optimization