

# 黄土高原主要树(草)种热值试验

李立 周泽生 王晗生 董鸿运 董建国 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

能源林主要是生产热能,树(草)种燃烧值的高低,是评选能源林树(草)种的重要指标。通过对黄土高原29种树(草)种燃烧值的测定表明,木本植物的燃烧值大于草本植物,这种能量差异主要是草本植物含有较多的灰分,结构物质纤维素含量较高,木本植物灰分含量较低,脂类物质相对较多。同时发现10种树种的热值随着年龄的变化多以5年生时的热值为最高,这对确定树种的平茬期,在生产上具有重要意义。

关键词 热值 树种 平茬期

生物能源是一种再生性能源,其最突出的优点就在于“再生”的功能。在能量的输入输出关系上,绿色植物发挥着能量的“源”和“库”的双重职能。绿色植物在光合作用中,分别从大气和土壤中吸收 $\text{CO}_2$ 和水,在体内合成碳水化合物。每合成1分子 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ,就同时固定吸收2821.9J太阳辐射能,并经过转化贮存在植物体内。植物的生长过程,即是能量“库”的贮能过程。当植物体各器官彻底燃烧时,其所贮存的能量将全部释放出来。在此过程中,植物体本身又发挥了能量“源”的作用,从而最终完成了能量的输入输出的全过程。而能源林就是把太阳能转变为化学能并把它贮存起来的一种最优质的生物能源。

黄土高原地区地域辽阔,森林植被稀少,人口众多,而农村能源严重短缺,随着生产的发展和人民生活水平需求的提高,农村能源供需矛盾将更加尖锐。能源林是我国农村重要的生物能源,在我国能源建设中占有十分重要的地位,大力发展速生丰产能源林,是解决黄土高原地区农村能源紧缺的有效措施和重要途径。而树种燃烧值的高低,是选择能源林树种的重要指标。对黄土高原主要树(草)种的燃烧值进行系统的试验,可为发展能源林选择优良树种提供依据。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 供试树(草)种

1. 刺槐(*Robinia pseudoacacia* L.)

2. 杜梨(*Pyrus betulifolia* Bge.)

3. 沙柳(*Salix mongolica* Siuzov.)

4. 紫穗槐(*Amorpha fruticosa* Linn.)
5. 火炬树(*Rhus typhilla* Linn.)
6. 沙棘(*Hippophae rhamnoides* Linn.)
7. 怪柳(*Tamarix Chinensis* Lour.)
8. 山桃(*Prunus dividiana* (Carr.) Franch.)
9. 文冠果(*Xanthoceras sorbifolia* Bunge.)
10. 紫丁香(*Syringa oblata* Lindl.)
11. 蒙古扁桃(*Prunus mongolica* Maxim.)
12. 柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii* Kom.)
13. 小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla* Lam.)
14. 桑树(*Morus alba* L.)
15. 山杏(*Prunus armeniaca* Var. *ansu* Maxim.)
16. 沙枣(*Elaeagnus angustifolia* Linn.)
17. 臭椿(*Ailanthus altissima* Swingle.)
18. 河北杨(*Populus hopeiensis* Hu. et CHou.)
19. 小叶杨(*Populus simonii* Carr.)
20. 榆树(*Ulmus pumila* Linn.)
21. 侧柏(*Platycladus orientalis* (L.) Franco.)
22. 油松(*Pinus tabulaeformis* Carr.)
23. 沙打旺(*Astragalus adsurgens* Pall.)
24. 辽宁早熟沙打旺
25. 辽宁早熟4号沙打旺
26. 红豆草(*onobryhis Visiaefolis* Scop.)
27. 白花草木樨(*Melilotus albus* Desr.)
28. 黄花草木樨(*Melilotus officialis* (L. Desr.)
29. 紫花苜蓿(*Medicago sativa* Linn.)

## 1.2 试验方法

供燃烧值测定的树(草)种是黄土高原地区常见种。试样分别采自甘肃、宁夏、山西和内蒙古等省(区)。草本植物整株取样,灌木按各主枝中段取样,乔木从茎干中段和2年生枝取样。将样品风干后用粉碎机粉碎,经0.2mm孔径筛孔过筛,装瓶置于105℃烘箱中烘至绝干重,封口保存,备用。各种树(草)种燃烧值的测定用氧弹式热量计测定。

## 2 结果与分析

### 2.1 黄土高原主要树(草)种热值

树(草)种的热值是其重要的生物学特性,它是长期与自然界相适应的过程中形成的,因此,建造能源林,就必须选择具有燃烧值较高特性的树(草)种。通过对29种树(草)种样区燃烧值的测定,其结果可见表1和表2。

由表1和表2可见,各种草本植物的燃烧值比较接近,差异小,木本植物也有相似的

表1 22种木本植物燃烧值

植物名称	燃烧值(kJ/kg)			植物名称	燃烧值(kJ/kg)		
	1	2	平均		1	2	平均
侧柏	19 502	19 456	19 481	山桃	19 284	19 272	19 280
侧柏2年生枝	19 360	19 456	19 410	河北杨	18 979	19 029	19 004
小叶杨	19 088	19 050	19 071	河北杨2年生枝	19 460	19 498	19 481
小叶杨2年生枝	19 423	19 351	19 389	臭椿	18 757	18 836	18 799
榆树	19 397	19 347	19 372	桑树	19 223	19 247	19 238
榆树2年生枝	18 895	18 908	18 903	柠条锦鸡儿	19 670	19 741	19 707
油松	19 464	19 582	19 523	小叶锦鸡儿	19 418	19 414	19 418
油松2年生枝	20 264	20 356	20 159	山杏	19 058	19 075	19 067
沙棘	19 582	19 611	19 598	山杏2年生枝	19 243	19 230	19 238
怪柳	18 744	18 748	18 748	刺槐	18 820	19 611	19 213
怪柳2年生枝	19 234	19 251	19 243	火炬树	17 145	19 096	18 120
西康扁桃	18 824	18 906	18 866	紫穗槐	17 011	19 042	18 024
紫丁香	19 247	19 226	19 238	杜梨	18 686	18 975	18 828
文冠果	18 933	19 000	18 966	沙柳	16 948	17 949	17 446
沙枣	19 305	19 268	19 289				

规律,说明同类植物的燃烧值是比较近似的。按重量基础来计算的干燥木材几乎具有相同的燃烧值,因为本质上所有树种都具有相似的细胞物质,只在化学组成上稍有不同。因此,相似的细胞壁物质决定了树种之间燃烧值的相似性,化学组成上的差异又导致各树种燃烧值之间不可能完全一致,从而使各树种的燃烧值有所不同。

表1和表2测定结果表明,木本植物的燃烧值大于草本植物。这种能量差异主要来自草本植物和木本植物内部物质化学组成的不同一般而言,草本植物含有较多的灰分,结构物质中纤维素含量较高;木本植物灰分含量较低(尤其是木质部),脂类物质含量相对较多,脂类的能量水平显然高于纤维素物质,而灰分含量高的物质,一般燃烧值较低。

应该特别指出的是,从测定的7种木本植物茎干和枝条燃烧值的对比中可以看出,有5种树种(小叶杨、油松、怪柳、河北杨和山杏)2年生枝条的燃烧值大于茎干部分的燃烧值,这种情况对经营以获取枝条为主的薪炭林是有利的。

另外从草本植物和灌木两者相比,虽然许多灌木的燃烧值高于草本植物,但所测定的7种草本植物的燃烧值则高于目前广大农村所习用的作物秸秆、杂草、树叶和畜粪等生物质能的燃烧值和沙柳、紫穗槐灌木的燃烧值。而且草本植物在种植后的1~4年的生物产量不亚于许多灌木的产量,这是由于灌木种植后4~5年才开始平茬利用,草本植物种植当年即可受益,其产量从第2~4年逐年增加,因此,在同等立地条件下,草本植物的能量积累能力在种植后的1~3年并不亚于灌木树种的能量生产能力(见表3)。

表2 7种草本植物燃烧值

植物名称	燃烧值(kJ/kg)		
	1	2	平均
沙打旺(辽宁早熟2号)	18 267	18 380	18 326
晚熟沙打旺	18 221	18 288	18 254
沙打旺(辽宁早熟4号)	17 995	18 062	18 028
红豆草	18 070	18 091	18 083
白花草木樨	18 162	18 141	18 154
黄花草木樨	18 254	18 330	18 292
新疆苜蓿	17 995	18 028	18 012

表3 部分树草种能量生产能力

植物名称	地上部分干重(kg/亩·a)	燃烧值(kJ/kg)	能量产量(kJ/亩·a)
红豆草	250	18 083	4 520 697
沙打旺	283	18 254	5 166 008
草木樨	225	18 225	4 100 657
苜蓿	220	18 012	3 962 555
柠条	260	19 418	5 048 778
沙棘	400	19 598	7 839 364
刺槐	450	19 498	8 774 067
沙枣	500	19 289	9 644 294
桤柳	325	18 996	6 173 541

## 2.2 树龄对热值的影响

正确确定树种适宜的平茬期是能源林经营技术研究的主要内容，而热值与树木年龄的关系则是确定能源林树种最适平茬期的重要依据。为此，对9种树种的热值与2—5年生的变化进行了测定，其结果见表4。

表4 九种树种热值与年龄的关系 (J/g)

树龄(年)	沙棘	刺槐	紫穗槐	沙柳	山杏	柠条	杜梨	火炬树	沙枣
2	17 141	18 820	17 024	—	—	17 132	—	16 793	—
3	17 070	18 753	—	16 948	17 141	—	18 686	—	17 145
4	19 347	18 665	17 011	16 810	17 003	19 766	18 878	17 145	19 749
5	19 749	19 611	19 042	17 949	18 975	20 185	18 975	19 096	20 005

表4表明，9种树种随着年龄的变化对其热值有一定的影响，其变化规律都以5年生时的热值为最高，树种热值随着年龄变化的这一现象，对于确定各树种的平茬期和平茬间隔期在生产上具有重要意义。黄土高原生态环境脆弱，立地质量差，选择能源林树种多以灌木为主，作业方式采用矮林作业，即是乔木树种（如刺槐）也多按灌木矮林作业方式经营，因此，能源灌木林开始平茬期大多在第4到第5年之内是完全符合生产实际的。

## 2.3 热值与木材比重的关系

木材密度：即单位体积木材的重量。它的单位为 $\text{g}/\text{cm}^3$ ，叫容重（容重）。而木材密度的习惯表达式与容重相同，有些国家和地区用木材比重这一术语。

据测定，14种树种的比重或密度（容重）是不同的（见表5）。木材比重和容重的大小

表5 14种树种木材密度测定表

树种名称	密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	树种名称	密度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
桤柳	0.62	山定子	0.58
山桃	0.68	榆树	0.57
翅果油树	0.60	沙柳	0.43
山杏	0.60	紫穗槐	0.42
刺槐	0.63	杜梨	0.49
柠条	0.53	河北杨	0.38
沙棘	0.52	新疆杨	0.43

取决于木材孔隙度的大小,比重大的木材,空隙度小,也就是细胞壁物质多或壁厚;比重小的木材其孔隙度大,胞壁相对的较薄,胞壁物质也就较少。

衡量木材强度的大小,一般是容积重大的木材,它的强度大;容积重小的强度也小。这是由于重的木材孔隙小,细胞壁厚,承受的强度大,反之,轻的木材空隙大,细胞壁薄,因此,强度低。

由于树种不同其木材的重量也不同。木材密度大的比较重,其木材收获量高,反之,其木材产量低。比重和热值有密切的关系,木材比重是衡量热值的重要标志。木材密度大就意味着物质多,作燃料比较耐烧,火力强度大,因此,木材比重大的树种其热值就高,也就是优质的薪柴。根据测定结果,沙棘、柠条、山杏、刺槐、翅果油树、山桃、山定子、榆树等树种的木材密度均已超过  $0.50\text{g}/\text{cm}^3$ ,木材密度大,热值较高;而沙柳、紫穗槐、河北杨、新疆杨等树种的木材密度均在  $0.50\text{g}/\text{cm}^3$  以下,木材比重较小,热值也较低。

### 3 结论和讨论

3.1 对于不同树种的燃烧值差异是否显著问题,目前的研究结果颇不一致。我们的研究结果符合 R A Young(1982年)的观点,即本质上所有树种都有相同的细胞壁物质,而在化学组成上稍有不同(这是引起燃烧值差异的主要原因)。木材的燃烧值与密度大小的线性正相关关系十分密切,因此,按重量基础来看,干燥木材几乎具有相同的燃烧值。草本植物与木本植物具有相似的规律,即各植物种之间燃烧值的差异为化学组成差异所决定,并非结构物质不同的结果。

3.2 各树种的热值随着树龄的变化而变化,在造林后的前5年,树种的热值多以5年生时为最高,表明树龄与热值有密切关系。但是影响树种热值的因素除树龄外,还有那些影响因素?需今后进一步深入研究。北京林业大学孙立达等同志的研究表明,树木热值除受种、科、器官等内在因素影响外,还受树龄、含水率、立地条件、气候(降水、积温)、 $\text{CO}_2$  浓度、纬度等外因的影响。因此,必须对影响热值的因素进行综合全面的分析研究,才能正确的得出规律。

3.3 黄土高原地区生态环境十分脆弱,建造能源林的最初几年,木本植物的收益较小,而实行草、灌、乔相结合的营造技术,则可提高能源林生态、经济的综合效益。沙打旺、红豆草是优良的豆科牧草,在该区生长健壮、生物产量和燃烧值均较高。在同等立地条件下,其能量生产能力可达木本植物的50%~70%或更高,是解决该区“三料”具缺的有效措施和重要途径。

3.4 能源林树(草)种的选择,应在同等立地条件下,应以各树(草)种每年地上部分干物质产量和其重量燃烧值为主要指标。今后应加强这方面的研究,尤其应对该区主要造林种草树(草)种的生物量、生态适应性和燃烧值等进行深入系统的研究和分析,以便为该区速生丰产能源林的树草种选择、提供理论依据。

## 参 考 文 献

- [1] 杨福国等. 青藏高原矮蒿草草甸常见植物的热值及灰分含量. 中国草原, 1983年2期  
 [2] 杨福国. 植物热量及其测定方法. 中国草原, 1983年2期  
 [3] R A Young. *Introduction to Forest Science*, 1982年, John Wiley & Sons, p411~425  
 [4] 周芳纯. 140种竹(木)材燃烧值测定. 南林科技, 1978年4期  
 [5] 何沛等. 江西省主要树种木材的燃烧热值及其与薪炭林的关系. 江西林业科技, 1982年4期  
 [6] 景雷等. 我国薪炭林树种的热值与生态差异的研究. 林产化学与工业, 1988年1期  
 [7] 中国林业科学研究院木材工业研究所. 中国主要树种的木材物理力学性质. 中国林业出版社, 1982年

THE EXPERIMENT OF CALORIC VALUE ON THE MAIN  
 TREE SPECIES (GRASS INCLUDED) IN THE  
 LOESS PLATEAU

Li Li      Zhou Zesheng      Wang Hansheng      Dong Hongyun  
 Dong Jianguo      Yang Guang

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

## Abstract

A energy forest is principally used as producing heat energy, and a tree species's caloric value (grass included) is a significant index to choose energy-forest species (grass included) through appraisal. By the determination of caloric value for twenty-nine tree species (grass included) in the loess plateau, it showed that a woody plant's caloric value was higher than a grassland plant's, the energy difference between woody and grassland plants was chiefly due to more ash content and higher cellulose content of a grassland plant, while lower ash content and more fatty substance of a woody plants. Meanwhile it was found that the caloric values of ten tree species varied with its age, with the highest caloric value of a tree species at the age of five, this finding is significant for determining mowing stage of a tree species in the production.

**Key words** caloric value tree species mowing stage