



敖妍. 文冠果类型综合评价指标体系的构建[J]. 华南农业大学学报, 2016, 37(4): 46-50.

# 文冠果类型综合评价指标体系的构建

敖妍

(北京林业大学 省部共建森林培育与保护教育部重点实验室/国家能源非粮生物质原料研发中心, 北京 100083)

**摘要:**【目的】构建文冠果 *Xanthoceras sorbifolia* 不同类型的评价指标体系, 为类型评价、实现分类经营提供依据。【方法】在掌握文冠果生物学特性及类型划分的基础上, 应用层次分析法构建优良类型综合评价指标体系。【结果】综合评价指标体系由目标层、控制层和指标层组成。目标层由生长性状、种子及果实性状、产量性状、产油性性状、物候期性状组成。指标层由 19 个具体指标组成。应用层次分析法、特尔斐法、指数综合评价法确定了各评价指标的权重和评价方法。利用该指标体系对内蒙古赤峰地区文冠果各类型进行评价的结果显示: 花朵类型中, 单瓣白花型和单瓣红花型的得分较高, 分别为 3.96 和 2.75; 果实类型中, 大球果型得分最高(3.98), 其次是圆柱果型(3.67)、三棱果型(3.50), 这 3 类为入选的丰产高油优良类型。【结论】所建立的评价指标体系能满足以油用为目的的文冠果优良类型选择要求。

**关键词:** 文冠果; 优良类型; 评价体系; 层次分析法; 生物柴油

中图分类号: S718.553

文献标志码: A

文章编号: 1001-411X(2016)04-0046-05

## Establishment of comprehensive evaluation index system of *Xanthoceras sorbifolia* types

AO Yan

(Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education/

National Energy R&D Center for Non-food Biomass, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

**Abstract:** 【Objective】 To construct a comprehensive evaluation index system of *Xanthoceras sorbifolia* germplasm, and provide the basis for type evaluation and classified management. 【Method】 Based on biological characteristics and type classification of *X. sorbifolia*, a comprehensive evaluation index system was established by analytic hierarchy process. 【Result】 The comprehensive evaluation index system was composed of three layers including a target layer, a control layer and an index layer. The target layer included growth, seed and fruit, seed production, oil production and phenophase characteristics. The index layer was composed of 19 indices. The weighted values of each index and evaluation method were determined by analytic hierarchy process, Delphi and index comprehensive evaluation methods. *X. sorbifolia* types in Chifeng, Nei monggol were evaluated using the comprehensive evaluation index system. Among different flower types, the scores of simple white flower (3.96) and simple red flower (2.75) were the highest. Among different fruit types, the score of big spherical fruit was the highest (3.98), followed with cylindrical fruit (3.67), and triquetrous fruit (3.50), and these three fruit types were considered as superior types with high production and high oil contents. 【Conclusion】 The established evaluation index system can enable the selection of *X. sorbifolia* types for the purpose of oil production.

收稿日期: 2015-11-19 优先出版时间: 2016-06-01

优先出版网址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/44.1110.s.20160601.1352.014.html>

作者简介: 敖妍 (1981—), 女, 副教授, 博士, E-mail: aoyan316@163.com

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项 (2015ZCQ-LX-02); 国家国际科技合作专项 (2014DFA31140)

<http://xuebao.scau.edu.cn>

**Key words:** *Xanthoceras sorbifolia*; superior type; evaluation system; analytic hierarchy process; biodiesel

文冠果 *Xanthoceras sorbifolia* 为无患子科文冠果属植物,其适应性强,种子含油率 30% ~ 40%,是生产生物柴油的优质原料。文冠果已被列入《全国林业生物质能源发展规划(2011—2020年)》,成为我国最具开发前景的生物质液体燃料树种之一<sup>[1-4]</sup>。目前,文冠果生物柴油产业化发展急需选育丰产、高油的优良类型,以提高文冠果种子产量和质量。

文冠果分布区广,各地生态、气候条件差异明显,在长期自然选择中形成形态特征、经济性状差异显著的类型,例如花朵颜色、育性、果实形状、产量特性等都存在明显差异。由于研究目标不同,目前的类型划分方法以及优良类型的评选方法各不相同,有些根据数量性状进行聚类分析<sup>[5]</sup>,有些仅根据花朵性状特征进行分类<sup>[6]</sup>。本研究从生物柴油树种开发利用的角度出发,明确优良类型的评价指标,统一评价标准,进而构建文冠果优良类型综合评价指标体系,该体系是在对文冠果种质资源情况进行调查、收集,以及类型划分的基础上,结合生产实践,提出的简便、易行的优良类型评价方法,有利于类型划分与评选,实现分类经营与高效管理。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

以集中分布区的内蒙古赤峰市 40 年生文冠果林分为对象进行评价<sup>[7]</sup>,林分包括文冠果主要类型:单瓣白花型、单瓣红花型、重瓣紫红型、重瓣黄花型;小球果、大球果、扁球果、倒卵果、桃形果、三棱果、圆柱果<sup>[8]</sup>。共设置 14 块标准地,调查单株 630 株。

### 1.2 方法

1.2.1 评价体系的构建 通过层次分析方法,先把树形树势、叶片、果实、种子等方面的性状分类,然后根据层次包含关系构成一个有机整体,构建指标评价分级标准,按照标准对各类型进行分级,按层次分析法确定权重。具体评价方法:为消除指标之间的差异,采用极差归一化公式(1)对各指标进行标准化处理。

$$H'_{ij} = \frac{H_{ij} - H_{ij\min}}{H_{ij\max} - H_{ij\min}}, \quad (1)$$

式中:  $H'_{ij}$  为第  $j$  指标第  $i$  样本原始数据正规化后的值;  $H_{ij}$  为第  $j$  指标第  $i$  样本原始数据实测值;  $H_{ij\min}$  为第  $j$  指标各样本实测值中最小值;  $H_{ij\max}$  为第  $j$  指标各样本实测值中最大值;  $i$  为样本号;  $j$  为指标号。

标准化处理后,性状评价按综合指数公式(2)进行计算<sup>[9]</sup>。

$$H = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n W_{ij} H_{ij}, \quad (2)$$

式中:  $H$  为文冠果性状优良指数;  $m$  为指标组指标数;  $n$  为每指标组下总指标数;  $W_{ij}$  为指标权重。根据公式(2)计算出文冠果各性状的综合评价指数  $H$ , 据此评价性状优良度<sup>[10]</sup>。

1.2.2 指标测定及评价 2009—2012 年,在文冠果优良林分内选择有代表性群体进行标准地调查。标准地面积为 30 m × 30 m。对标准地内林木进行每木检尺。主要观测:树高、冠幅、地径、一级侧枝粗、分枝角度、叶长、叶宽、种子纵径、种子横径、果实纵径、果实横径、每果种子数、单株种子产量、出种率、单位投影面积产量、种子含油率、种仁含油率、始果年龄、果实成熟期。其中,树高用勃鲁莱氏测高仪(上海耶茂仪表有限公司)测定。地径、一级侧枝粗用围尺测定。分枝角度是一级侧枝与树干的夹角。叶长、叶宽:树冠不同方向分别随机采摘正常发育的小枝,每个小枝上取 3 片成熟叶片,测量叶片长和宽。种子纵径、横径:每株树按四分法取 15 粒种子,用游标卡尺测定,取平均数。果实纵径、果实横径取样和测量方法同种子。出种率 = (种子质量/果实质量) × 100%。单位投影面积产量 = 每株树总产量/树冠投影面积。含油率测定采用武汉航空仪表有限公司生产的 HCY-10 核磁共振(NMR)含油量测量仪测定。根据所构建指标体系的评价结果,结合优良类型选择原则,选出优良类型。

利用 SPSS 统计软件对数据进行整理分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 指标体系的结构

建立文冠果优良林分综合评价指标体系实际上就是把优良性状综合起来,用具体的指标集合加以描述。在文冠果种质资源调查、收集、保存、分析的基础上,结合近年来的一些树种品种选育实践,提出优良性状评价方法,初步构建文冠果优良性状综合评价指标体系。以生物柴油树种为文冠果开发利用目的,其综合评价指标主要包括生长性状、种子及果实性状、产量性状、产油性性状、物候期性状。指标体系分层构架如表 1 所示,共有 19 个具体指标。目标层:最终目标,即构建文冠果优良类型综合评价指标体系。控制层:支持目标层的 5 大主要因子,即生长性状、种子及果实性状、产量性状、产油性性状、物候期性状。指标层:组成控制层的具体因子。指标层有 19 个具体指标,反映了生物柴油树种文冠果的主要

形态和经济指标特征。

以及经济性状特征,建立文冠果类型评价分级标准。

根据文冠果不同类型的生长状况、生物学特性 将指标层的各指标分成5级,具体见表2。

表1 文冠果类型综合评价体系指标框架

Tab. 1 Index system for comprehensive evaluation of *Xanthoceras sorbifolia* types

目标层(A)	控制层(B)		指标层(C)		权重
	编号	指标	编号	指标	
优良类型综合评价指标体系	B <sub>1</sub>	生长性状	C <sub>1</sub>	树高	0.006
			C <sub>2</sub>	冠幅	0.012
			C <sub>3</sub>	地径	0.008
			C <sub>4</sub>	一级侧枝粗	0.009
			C <sub>5</sub>	分枝角度	0.012
			C <sub>6</sub>	叶长	0.002
			C <sub>7</sub>	叶宽	0.002
	B <sub>2</sub>	种子、果实性状	C <sub>8</sub>	种子纵径	0.004
			C <sub>9</sub>	种子横径	0.004
			C <sub>10</sub>	果实纵径	0.015
			C <sub>11</sub>	果实横径	0.015
			C <sub>12</sub>	每果种子数	0.039
	B <sub>3</sub>	产量性状	C <sub>13</sub>	种子产量	0.105
			C <sub>14</sub>	出种率	0.045
			C <sub>15</sub>	单位投影面积产量	0.408
	B <sub>4</sub>	产油性状	C <sub>16</sub>	种子含油率	0.220
			C <sub>17</sub>	种仁含油率	0.037
	B <sub>5</sub>	物候期	C <sub>18</sub>	始果年龄	0.048
			C <sub>19</sub>	果实成熟期	0.010

表2 文冠果类型评价指标分级标准

Tab. 2 Grading standard of evaluation indices of *Xanthoceras sorbifolia* types

编号	指标	各级别指标值				
		5	4	3	2	1
C <sub>1</sub>	树高/m	C <sub>1</sub> > 4	3 < C <sub>1</sub> ≤ 4	2 < C <sub>1</sub> ≤ 3	1 < C <sub>1</sub> ≤ 2	C <sub>1</sub> ≤ 1
C <sub>2</sub>	冠幅/m <sup>2</sup>	C <sub>2</sub> > 12	9 < C <sub>2</sub> ≤ 12	6 < C <sub>2</sub> ≤ 9	3 < C <sub>2</sub> ≤ 6	C <sub>2</sub> ≤ 3
C <sub>3</sub>	地径/cm	C <sub>3</sub> > 20	15 < C <sub>3</sub> ≤ 20	10 < C <sub>3</sub> ≤ 15	5 < C <sub>3</sub> ≤ 10	C <sub>3</sub> ≤ 5
C <sub>4</sub>	一级侧枝粗/cm	C <sub>4</sub> > 12	9 < C <sub>4</sub> ≤ 12	6 < C <sub>4</sub> ≤ 9	3 < C <sub>4</sub> ≤ 6	C <sub>4</sub> ≤ 3
C <sub>5</sub>	分枝角/(°)	C <sub>5</sub> > 35	30 < C <sub>5</sub> ≤ 35	25 < C <sub>5</sub> ≤ 30	20 < C <sub>5</sub> ≤ 25	C <sub>5</sub> ≤ 20
C <sub>6</sub>	叶长/cm	C <sub>6</sub> > 4.5	4.0 < C <sub>6</sub> ≤ 4.5	3.5 < C <sub>6</sub> ≤ 4.0	3.0 < C <sub>6</sub> ≤ 3.5	C <sub>6</sub> ≤ 3
C <sub>7</sub>	叶宽/cm	C <sub>7</sub> > 1.6	1.4 < C <sub>7</sub> ≤ 1.6	1.2 < C <sub>7</sub> ≤ 1.4	1.0 < C <sub>7</sub> ≤ 1.2	C <sub>7</sub> ≤ 1.0
C <sub>8</sub>	种子纵径/cm	C <sub>8</sub> > 1.4	1.2 < C <sub>8</sub> ≤ 1.4	1.0 < C <sub>8</sub> ≤ 1.2	0.8 < C <sub>8</sub> ≤ 1.0	C <sub>8</sub> ≤ 0.8
C <sub>9</sub>	种子横径/cm	C <sub>9</sub> > 1.4	1.2 < C <sub>9</sub> ≤ 1.4	1.0 < C <sub>9</sub> ≤ 1.2	0.8 < C <sub>9</sub> ≤ 1.0	C <sub>9</sub> ≤ 0.8
C <sub>10</sub>	果实纵径/cm	C <sub>10</sub> > 4.6	4.4 < C <sub>10</sub> ≤ 4.6	4.2 < C <sub>10</sub> ≤ 4.4	4.0 < C <sub>10</sub> ≤ 4.2	C <sub>10</sub> ≤ 4.0
C <sub>11</sub>	果实横径/cm	C <sub>11</sub> > 4.6	4.4 < C <sub>11</sub> ≤ 4.6	4.2 < C <sub>11</sub> ≤ 4.4	4.0 < C <sub>11</sub> ≤ 4.2	C <sub>11</sub> ≤ 4.0
C <sub>12</sub>	每果种子数	C <sub>12</sub> > 16	14 < C <sub>12</sub> ≤ 16	12 < C <sub>12</sub> ≤ 14	10 < C <sub>12</sub> ≤ 12	C <sub>12</sub> ≤ 10
C <sub>13</sub>	种子产量/g	C <sub>13</sub> > 400	300 < C <sub>13</sub> ≤ 400	200 < C <sub>13</sub> ≤ 300	100 < C <sub>13</sub> ≤ 200	C <sub>13</sub> ≤ 100
C <sub>14</sub>	出种率/%	C <sub>14</sub> > 35	30 < C <sub>14</sub> ≤ 35	25 < C <sub>14</sub> ≤ 30	20 < C <sub>14</sub> ≤ 25	C <sub>14</sub> ≤ 20
C <sub>15</sub>	单位投影面积产量/(g·m <sup>-2</sup> )	C <sub>15</sub> > 85	70 < C <sub>15</sub> ≤ 85	55 < C <sub>15</sub> ≤ 70	40 < C <sub>15</sub> ≤ 55	C <sub>15</sub> ≤ 40
C <sub>16</sub>	种子含油率/%	C <sub>16</sub> > 33	32 < C <sub>16</sub> ≤ 33	31 < C <sub>16</sub> ≤ 32	30 < C <sub>16</sub> ≤ 31	C <sub>16</sub> ≤ 30
C <sub>17</sub>	种仁含油率/%	C <sub>17</sub> > 60	55 < C <sub>17</sub> ≤ 60	50 < C <sub>17</sub> ≤ 55	45 < C <sub>17</sub> ≤ 50	C <sub>17</sub> ≤ 45
C <sub>18</sub>	始果年龄	2	3	4	5	> 6
C <sub>19</sub>	果实成熟期	极早熟	早熟	中熟	晚熟	极晚熟

### 2.2 指标权重的确定

根据层次分析法<sup>[11-14]</sup>得出权重,采用1~9标度方法建立判别矩阵<sup>[15-16]</sup>,计算各评价指标相对权重( $W_i$ ),层次单排序及一致性检验结果见表3。总体

一致性(CI)为0.030,平均随机一致性(RI)为0.476,一致性比率(CR)为 $0.063 < 0.1$ ,一致性满足要求,说明结果可靠。对各层次排序结果加权组合,得到各评价指标对总目标的权重值(表1)。

表3 文冠果类型评价层次单排序及一致性检验

Tab.3 Single-level sequencing and consistency test result of type evaluation

权重	A - B	B <sub>1</sub> - C	B <sub>2</sub> - C	B <sub>3</sub> - C	B <sub>4</sub> - C	B <sub>5</sub> - C
$W_1$	0.050	0.111	0.053	0.188	0.857	0.833
$W_2$	0.077	0.244	0.053	0.081	0.143	0.167
$W_3$	0.559	0.152	0.193	0.731		
$W_4$	0.257	0.178	0.193			
$W_5$	0.058	0.244	0.507			
$W_6$		0.036				
$W_7$		0.036				
最大特征根( $\lambda_{max}$ )	5.401	7.430	5.427	3.065	2.000	2.000
总体一致性(CI)	0.100	0.072	0.107	0.032	0.000	0.000
平均随机一致性(RI)	1.120	1.320	1.120	0.580	0.000	0.000
一致性比率(CR)	0.089	0.055	0.096	0.055	0.000	0.000

### 2.3 类型评价结果

以集中分布区的内蒙古赤峰市40年生文冠果林分为对象进行调查和综合评分。以指标体系的权重为基础,按照1.2的评价方法,结合不同类型分级标准,对标准地调查的各类型进行综合打分,评价得分见表4。从表4可以看出,不同花朵类型中,单瓣白花型文冠果得分(3.96)明显高于其他花朵类型,单瓣红花型得分也较高(2.75)。不同果实类型文冠果得分高低顺序也有所差别,大球果型得分最高(3.98),其次是圆柱果型(3.67)、三棱果型(3.50)。

表4 文冠果各花朵、果实类型评价得分

Tab.4 Scores of different flower and fruit types of *Xanthoxerces sorbifolia*

花朵类型	得分	果实类型	得分
单瓣白花	3.96	小球果型	2.68
单瓣红花	2.75	大球果型	3.98
重瓣紫红花	0.26	扁球果型	2.31
重瓣黄花	0.23	倒卵果型	2.26
		桃形果型	2.98
		三棱果型	3.50
		圆柱果型	3.67

本研究从生物柴油原料树种的角度出发,对文冠果进行类型划分和优良类型选择,因此种子产量、含油率等商品性状是主要的选优指标<sup>[17]</sup>。在以上打分评定的基础上,优良类型选择还结合以下原则:1)类型评价得分高于3.5分;2)林龄在10年以上;3)被选类型2~3年的平均单位面积产油量比当地相

同或相似林分对照类型的平均单位面积产油量高30%;4)生长快,进入盛果期早;5)抗逆性强,适应性广。

根据各类型得分,结合以上优良类型选择原则,优良类型选择结果如下:调查地区平均单位投影面积产油量为 $17.39 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,各果实类型中,大球果型、三棱果型、圆柱果型这3类的单位投影面积产油量分别为 $23.85$ 、 $22.80$ 、 $22.55 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ,分别是平均单位投影面积产油量的1.37、1.31、1.30倍,3种类型的种子产量、含油率、出籽率也都较高,因此,大球果型、三棱果型、圆柱果型3类为该地区的丰产高油优良类型。

### 3 讨论与结论

受外界环境条件以及内部基因突变的影响,文冠果产生了大量变异,表现为形态特征差异明显的各类型,这些变异是进行遗传改良的主要资源。发展文冠果生态能源林既要具有维持生态平衡的作用,还要具有提供稳定高产生物质液体燃料原料的功能。因此,文冠果优良类型评价指标体系不仅考虑到种子产量、种子含油率等性状,同时考虑到树形树势、叶片、果实、种子等方面的综合性状。本研究在目标层下提出3个准则层,共19个指标的文冠果类型的综合评价体系。研究表明,单位投影面积产量、种子含油率、种子产量3项指标的权重值最高,其评价结果与文冠果选优的基本原则一致,说明层次分析法适合于综合评价体系的构建。

根据以上指标体系对内蒙古赤峰地区文冠果各类型进行了评价,花朵类型中单瓣白花型和单瓣红花型的得分较高。果实类型中,大球果型得分最高,其次是圆柱果型、三棱果型,这3类为入选的丰产高油优良类型。评价结果与实际观测、选择目的相符,说明所建立的评价指标体系能满足以油用为目的的文冠果优良类型选择要求。

目前,有关能源树种类型评价的研究不多,吴志庄等<sup>[9]</sup>同样采用层次分析法建立了黄连木 *Pistacia chinensis* 优良类型综合评价指标体系,评价结果与黄连木优树选择的基本原则高度一致。范繁荣等<sup>[18]</sup>利用含油率、结实指标结合生物量建立无患子 *Sapindus mukorossi* 单株选优的综合评价体系,并利用投影寻踪技术对各量化性状的权重进行科学确定。本研究所建立的评价指标体系基本能满足以油用为目的的文冠果优良类型选择的要求。本体系指标选择易于操作和推广,适合文冠果主要分布区资源的评价。选出的优良类型,生长性状和经济性状均较优秀,可作为文冠果无性繁殖的材料来源。

#### 参考文献:

- [1] YAN A, LEI C, TAO W, et al. Identification and comparative profiling of microRNAs in wild-type *Xanthoceras sorbifolia* and its double flower mutant [J]. *Genes Genom*, 2012, 34(5):561-568.
- [2] LIU Y L, HUANG Z D, AO Y, et al. Correction: Transcriptome analysis of yellow horn (*Xanthoceras sorbifolia* Bunge): A potential oil-rich seed tree for biodiesel in China [J]. *PloS One*, 2014, 9(1):1-13.
- [3] ZHANG J F, CHEN G C, SUN Q X, et al. Forest biomass resources and utilization in China [J]. *African J Biotechnol*, 2012, 11(39):9302-9307.
- [4] GUO H H, WANG T T, LI Q Q, et al. Two novel diacylglycerol acyltransferase genes from *Xanthoceras sorbifolia* are responsible for its seed oil content [J]. *Gene*, 2013, 527(1): 266-274.
- [5] 郭军战,张敏,费昭雪,等.文冠果数量性状的主成分分析及聚类分析研究[J].*西北林学院学报*, 2012, 27(2):66-69.
- [6] 敖妍,赵磊磊,姜常玉,等.文冠果不同花朵类型植株 miRNA 表达差异分析[J].*华北农学报*, 2014, 29(5): 16-22.
- [7] 牟洪香.木本能源植物文冠果的调查与研究[D].北京:中国林业科学研究院, 2006.
- [8] 敖妍,韩墨,赵磊磊,等.主要分布区文冠果类型的划分[J].*西北林学院学报*, 2015, 30(3):100-106.
- [9] 吴志庄,尚忠海,鲜宏利,等.黄连木优良类型综合评价指标体系的构建[J].*经济林研究*, 2008, 26(4): 22-25.
- [10] 梁一池.树木育种原理与方法[M].厦门:厦门大学出版社, 1998: 348-363.
- [11] 陈玉成,吕宗清,李章平.环境数学分析[M].重庆:西南师范大学出版社, 1998: 233-238.
- [12] 张艳波,晁增福,严志丹,等.基于层次分析法的塔里木河流域棉花生产适宜性研究[J].*数学的实践与认识*, 2015(3): 172-177.
- [13] 任德智,刘悦翠.区域森林资源健康评价指标体系研究[J].*西北林学院学报*, 2007, 22(2): 194-199.
- [14] 王睿,张俊容.基于层次分析法的九华山风景区旅游资源评价[J].*安徽农业科学*, 2015, 43(22):140-142.
- [15] 王晓明,许玉,王秀珍.运用层次分析法的水质指标和环境保护措施研究[J].*黑龙江水专学报*, 2005, 32(4): 130-133.
- [16] 李梅,聂呈荣,龙兴.基塘系统生态环境质量评价指标体系的构建[J].*农业环境科学学报*, 2007, 26(1): 386-390.
- [17] 敖妍,段劼,于海燕,等.文冠果研究进展[J].*中国农业大学学报*, 2012, 17(6):197-203.
- [18] 范繁荣,黄云鹏,沈琼桃,等.无患子选优综合评价指标体系的研究[J].*宁夏农林科技*, 2014, 55(1):17-19.

【责任编辑 李晓卉,庄 延】