

主要分布区文冠果类型的划分

敖妍^{1,2}, 韩墨³, 赵磊磊³, 彭兴龙⁴

(1. 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, 北京 100083; 2. 国家能源非粮生物质原料研发中心, 北京 100083;
3. 内蒙古赤峰市翁牛特旗林业局, 内蒙古 赤峰 024500; 4. 河南省三门峡市林业工作总站, 河南 三门峡 472000)

摘要:通过对松辽平原西部、豫西山、冀北山地的文冠果树体形态特征调查进行类型划分,为种质资源收集保存和良种选育提供依据。根据性状稳定性和易识别性,确定花瓣单重、花色、果实形状为文冠果天然类型划分指标。从生物质能源树种角度,将文冠果划分为结实型和观花型。结实型包括单瓣白花型,根据果实形状将其进一步划分为小球果、大球果、扁球果、倒卵果、桃形果、三棱果、圆柱果 7 种类型。观花型包括单瓣红花型、重瓣紫红型、重瓣黄花型。单瓣白花型在各地都是最主要的类型,分布比率均>95%。根据各果实类型经济性状选择出适合不同地区的优良类型:松辽平原西部 WQ 地区为大球果型、三棱果型、圆柱果型;松辽平原西部 AQ 地区为小球果型、大球果型、圆柱果型;豫西山地为大球果型、圆柱果型;冀北山地为小球果型、大球果型、扁球果型、圆柱果型。倒卵果、桃形果的子代苗期各性状均值偏小。大球果、三棱果、圆柱果的子代生长好于小球果和扁球果。各苗期性状在类型间差异显著,类型内单株间除地径外,其余性状差异极显著。

关键词:文冠果;类型划分;变异

中图分类号:S722.31 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2015)03-0100-07

Type Classification of *Xanthoceras sorbifolia* in Main Distribution Areas

AO Yan^{1,2}, HAN Mo³, ZHAO Lei-lei³, PENG Xing-long⁴

(1. Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. National Energy R&D Center for Non-food Biomass, Beijing 100083, China; 3. Forestry Bureau of Wengniute Banner, Chifeng, Inner Mongolia 024500, China; 4. Forestry Station, Forestry Bureau of Sanmenxia, Sanmenxia, Henan 472000, China)

Abstract: In order to provide scientific basis for germplasm resource collection, an investigation was carried out on the *Xanthoceras sorbifolia* resource classification based on the morphological characteristics of the tree in the areas of western Songliao Plain, mountainous area of western Henan and mountainous area of northern Hebei. Based on the stability and legibility of the characters, indices such as double petals, single petals, flower color, and fruit shape were chosen for the classification. From the point of biomass energy tree, *X. sorbifolia* was divided into fruiting type and flowering type. Fruiting type included single white flower type. This type was classified into small spherical fruit type, big spherical fruit type, cylindrical fruit type, triquetrous fruit type, flat-sphere fruit type, peach fruit type and obovate fruit type. Flowering type included single red flower type, double purplish red flower type, and double yellow flower type. Distribution characteristics of each type were investigated in each distribution area. Single white flower type was widespread in all distribution areas, and the distribution rates were higher than 95%. Super types were selected according to economic traits of fruit types: big spherical fruit type, triquetrous fruit type and cylindrical fruit type were super types in WQ area of western Songliao Plain; small spherical fruit type, big

spherical fruit type and cylindrical fruit type were super types in AQ area of western Songliao Plain; big spherical fruit type and cylindrical fruit type were super types in western Henan mountainous land; small spherical fruit type, big spherical fruit type, flat-sphere fruit type and cylindrical fruit type were super types in northern Hebei mountainous land. Seedling growth traits of obovate fruit type and peach fruit type were lower than other types, and the seedlings of big spherical fruit type, cylindrical fruit type and triquetrous fruit type grown better than small spherical fruit type and flat-sphere fruit type. Seedling growth traits were significantly different among different types. The differences of other traits were extremely significant among individuals except ground diameter.

Key words: *Xanthoceras sorbifolia*; type classification; variation

林业生物质能源作为可再生能源,具有非粮、固碳减排、可再生、生长量大、资源潜力大、改善生态环境等特点。因此,发展林业生物质能源已经成为国家战略需求和现实选择^[1-4]。文冠果(*Xanthoceras sorbifolia*)为无患子科文冠果属植物,落叶灌木或小乔木,为我国特有树种,是适合我国北方生长的少数重要生物质能源树种之一^[5]。因其具有抗逆性强、适应性强、种子含油率高及可制备生物柴油等特性,开发利用价值极高^[6-10]。据初步调查,文冠果花形、花色、果形等都存在很大变异,而且产量等经济性状的株间变异也较大^[11]。目前,良种缺乏、种子产量难以保证,是限制文冠果生物柴油产业发展的主要因素。因此,选出适宜不同地区生长的优良类型、单株,进行繁殖与推广种植,是迫切需要解决的问题^[12]。本研究从生物质能源开发利用的角度出发,以我国主要分布区的文冠果为材料,对自然变异状况进行研究,并进行类型划分和评价,为文冠果种质资源收集、保存和良种选育奠定基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

选取我国文冠果集中分布区^[13]的松辽平原西部(WQ 和 AQ),豫西山地(SX),冀北山地(CD)共 4 个地区的文冠果。各地区具体土壤因子以及气候因子见表 1、表 2。

1.2 调查内容及方法

1.2.1 林分调查 所设的标准地能代表当地的立

地条件和林学特点,面积 30 m×30 m。成行树采用样带法调查,同一样带调查株数≥30 株。标准地内林木每木检测,编号挂牌。林分基本情况见表 2。

1.2.2 测定方法

1.2.2.1 生长量调查 树高、地径、冠幅、分枝角度、一级侧枝粗、叶长、叶宽、叶密度、叶面积、单株果实鲜重和结果个数、单果重、果长、果宽、果皮平均厚、每果种子数、果形指数(果长/果宽)、单株种子产量、种子含油率、出籽率、种子长、宽、单位投影面积产量等因素按常规方法调查。其中,叶片、果实、种子相关性状均是每株树调查 30 个样,取平均值。种子含油率测定参照 GB/T15690-1995^[14],采用武汉航空仪表有限公司生产的 HCY-10 核磁共振含油量测量仪测定。

1.2.2.2 形态指标调查 调查植株的冠形、叶缘齿、嫩梢、果轴颜色、花色、花瓣底部颜色、花瓣单重、花瓣数目、花瓣形状、果实形状。

表 1 研究区自然概况

Table 1 Physiographic conditions of research regions				
地点	WQ	AQ	SX	CD
土壤类型	栗钙土	栗钙土	褐土	褐土
年均温/℃	5.8	5.5	13.5	9.2
1 月均温/℃	−12.5	−11.5	−1.9	−9.5
7 月均温/℃	22.5	22.9	38.7	24
绝对最高温/℃	39.8	40.6	43.2	41.2
绝对最低温/℃	−33.8	−42	−19.1	−27.9
≥10℃年积温/℃	2 640	2 800	4 276	3 590
年降水量/mm	320	340	573	527
无霜期/d	130	120	216	130

注:WQ 和 AQ:松辽平原西部,SX:豫西山地,CD:冀北山地。

表 2 调查林分基本情况

Table 2 Conditions of sampling stands								
地点	经度/E	纬度/N	海拔/m	坡向	坡度/(°)	土层厚/cm	土壤 pH	母岩
WQ	119°00′	42°57′	623	南	5	160	7.7	石灰岩
AQ	119°18′	44°13′	550	南	5	100	7.8	花岗岩
SX	111°37′	34°38′	760	南	40	30	7.7	砾岩
CD	117°50′	40°58′	510	南	10	150	8.0	花岗岩

1.2.3 子代测定 在各类型群体中标定 30 株采种母树,按照单株采种育苗。完全随机区组设计,每小

区播 1 个单株,重复 3 次。种子播前采用快速催芽法处理^[15]。秋季停止生长时测 1 年生苗苗高、地径、主

根长以及生物量、生物量包括地上、地下鲜重和干重。分析不同类型子代苗期的各生长性状特点与差异性。利用 Excel 和 SPSS 软件整理分析试验数据。

2 结果与分析

2.1 形态特征变异与类型划分

1 125 株母树调查结果表明,其形态特征变异十分丰富,几乎涉及所有的形态指标(表 3)。经济性状在不同地区内部和地区之间都有较大变异(表 4)。

类型划分的主要目的:为生产生物柴油提供原料。

类型划分原则:形态差异明显;变异性状稳定;类型内个体形态特征和生理特性相似,类型间差异明显;具有一定经济价值。对选取植株花、果实等主

要性状进行连年观察、比较,选取花色、花瓣单重、果实形状等较稳定、易识别的质量性状作为分类依据,把具有相似特征的个体归为一类,确定为类型(图 1)。其他质量指标因变异不明显而未采用。

表 3 文冠果形态特征变异调查结果

Table 3 Survey results of morphological variation of *X. sorbifolia*

调查部位	调查项目	变异种类
树冠 花	冠形	圆头、疏散、开心、灌木
	花色	白色、红色、紫红、黄色
	花瓣单重	单瓣花、重瓣花
	花瓣数目	5~25
枝叶	叶片嫩梢缘毛	有、无
	嫩梢果轴颜色	紫色、绿色
果实	果实形状	小球果、大球果、扁球果、倒卵果、桃形果、三棱果、圆柱果

表 4 文冠果经济性状变异调查结果

Table 4 Survey results of economic traits variation of *X. sorbifolia*

地区	项目	单位面积产油量 /(g·m ⁻²)	含油率 /%	出籽率 /%	果长 /cm	果宽 /cm	每果 种子数	种长 /cm	种宽 /cm
WQ	均值	19.83	33.24	38.90	4.16	4.28	15.50	1.17	1.13
	变异系数	1.88	0.12	0.23	0.15	0.12	0.22	0.11	0.09
AQ	均值	43.18	32.23	26.50	5.00	4.79	15.90	1.32	1.30
	变异系数	0.75	0.13	0.20	0.12	0.11	0.19	0.10	0.21
SX	均值	21.71	34.22	28.57	4.95	4.98	14.12	1.39	1.39
	变异系数	0.91	0.09	0.30	0.14	0.13	0.22	0.09	0.09
CD	均值	20.88	30.38	40.00	4.30	4.63	13.84	1.34	1.27
	变异系数	0.88	0.10	0.25	0.20	0.17	0.23	0.09	0.08

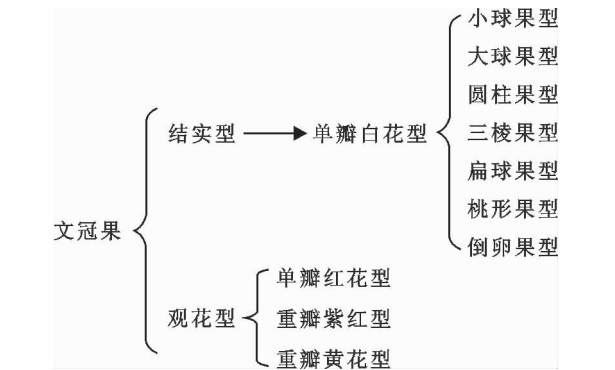


图 1 文冠果类型划分

Fig. 1 Type classification of *X. sorbifolia*

根据花瓣单重性首先划分为单瓣花和重瓣花 2 大类型。根据花瓣颜色划分,单瓣花可分为单瓣白花型和单瓣红花型。单瓣白花型根据果实特点可分为小球果型、大球果型、圆柱果型、三棱果型、扁球果型、桃形果型、倒卵果型。单瓣红花型的果实形状比较单一,基本为桃形果。重瓣花可分为重瓣紫红型和重瓣黄花型。文冠果大部分种子来源于单瓣白花型,此类是结实、产种的主要类型,因此归类为结实型。单瓣红花型也结实,但产量很低,而观赏价值很高,重瓣型由于雌雄蕊发生瓣化,只开花不结实,因

此将单瓣红花型、重瓣紫红型和重瓣黄花型划分到观花型中。

2.2 各类型形态特征

单瓣白花型:花瓣平展,花径约 2 cm,多为 5 瓣。花瓣有长椭圆形和倒卵形。顶生花序长约 19 cm,花朵密度约 1.92 朵·cm⁻¹。花瓣上部白色,初开时花瓣基部黄色,开花 1 d 后花瓣基部逐渐变为紫色。花瓣基部紫色斑晕有大有小。大的斑晕紫色由基部一直向花瓣顶部延伸,小的只在基部(图 2a)。

单瓣红花型:花瓣较小,初开时花瓣柠檬黄色,边缘少量白色,开放 1~2 d 后渐变为枣红色,花瓣上布满纵向深紫色细条纹,花期较长,有一定观赏价值。花朵密度 1.72 朵·cm⁻¹(图 2b)。

重瓣紫红型:枝叶浓密,叶芽不饱满,叶片细长。花瓣密集,约 25 枚,扭曲反卷,宽窄变化较大。花冠大,花瓣基部刚开放时为黄色,开后逐渐变为紫红色。雌、雄蕊发生瓣化,外缘花瓣较大,较宽,向内逐渐变窄,中心处最小。全株同一花型,以花期观赏性为主要特征,不结实(图 2c)。

重瓣黄花型:花器全部重瓣化,由花萼花瓣组

成,雌、雄蕊退化,内轮的花瓣状物上可见黄色花药残迹。花瓣 16~20 枚,小而短,呈卷合状,平均长 0.5 cm,宽 0.25 cm,花径 1.5 cm 以下,明显小于其它类型。花瓣由外向内逐渐变小,基部黄色,上部白

色,密集扭曲。全株同一花型,以花期观赏性为主要特征,不结实(图 2d)。

单瓣白花型中根据果实形状划分为 7 类(表 5、图 3)。



图 2 文冠果不同花朵类型

Fig. 2 Different flower types of *X. sorbifolia*

表 5 不同果实类型形态特征

Table 5 Characteristics of different fruit types

果实类型	果实、种子特征表现
小球果型	果实小圆球形,果蒂微陷入,果梗紫红色。平均果实纵径 3.99 cm,横径 4.23 cm,果形指数 1 左右。果实多为 3 室,少数 4 室,果皮平均厚 0.45 cm,成熟时绿褐色。平均每果 14 粒种子。种子褐色或黑色,平均长 1.23 cm,宽 1.21 cm
大球果型	果实大圆球形,顶端稍平坦,果蒂处陷入颇深,果梗紫红色。果实平均纵径 4.91 cm,横径 4.93 cm。果实多 3 室,少数 4 室,果皮平均厚 0.50 cm。平均每果 16 粒种子。种子大而饱满,平均长 1.35 cm,宽 1.29 cm
圆柱果型	果实长圆柱型,尖部稍平坦,果大。果实纵径明显大于横径,平均纵径 5.19 cm,横径 4.75 cm,果形指数 1.0~1.30。多 3 室,果皮平均厚 0.49 cm,平均每果种子数较多,达 16 粒。种子均长 1.34 cm,宽 1.28 cm。种子稍大于球果类的种子
三棱果型	果实三棱形,横剖面三角形,果皮自接缝处形成 3 个凸棱,果皮光滑,先端有 2 mm 长尖喙。果实较大,3 室,平均纵径 5.10 cm,横径 5.08 cm,平均果形指数为 1.04,果皮平均厚 0.52 cm,平均每果 16 粒种子。种子均长 1.36 cm,宽 1.28 cm
扁球果型	果实扁圆球形,果皮合缝处微凹入,果蒂处微陷入。果实纵径小于横径,平均纵径 4.05 cm,横径 4.95 cm,果形指数 0.72~0.93,果皮平均厚 0.48 cm。果实多为 3~4 室,少数 5 室,平均每果 14 粒种子。种子多褐色,少数暗褐色。种子平均长 1.32 cm,宽 1.27 cm
桃形果型	果实似桃形,基部较粗圆,向先端逐渐变尖。果实 3 室,纵径大于横径,平均纵径 5.13 cm,横径 4.92 cm,果形指数 1~1.25。平均每果 14 粒种子,果皮平均厚 0.47 cm,果皮顶端厚,中部和基部较薄。种子球形,均长 1.35 cm,宽 1.29 cm,多为褐色或黑色
倒卵果型	果实倒卵形,顶部直径宽,基部直径窄,形似倒挂的梨形。果实纵径大于横径,平均纵径 5.47 cm,横径 4.23 cm,平均果形指数为 1.20。多为 3 室,果皮平均厚 0.48 cm。果实顶端及基部果皮较厚,中部较薄。平均每果 14 粒种子。种子平均长 1.25 cm,宽 1.23 cm



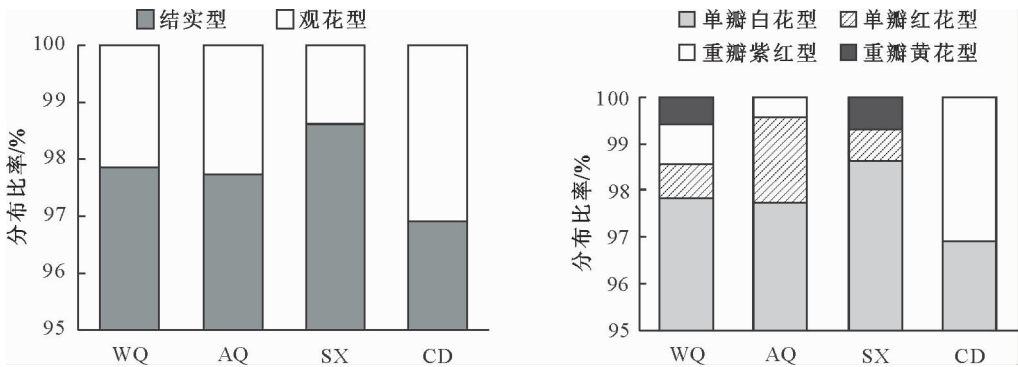
图 3 单瓣白花型文冠果不同果实类型

Fig. 3 Different fruit types of *X. sorbifolia* of SWF

2.3 不同类型的分布

各类型在各地区以结实型文冠果占绝大部分，观花型相对较少。单瓣白花型在各地区的调查林分中都是最主要的类型，在 WQ、AQ、SX、CD 分布比率分别为 97.84%、97.74%、98.62%、96.9%。单

瓣红花型在 CD 无分布，在 WQ、AQ、SX 分别为 0.72%、1.81%、0.69%。重瓣紫红型在 SX 无分布，在 WQ、AQ、CD 分别为 0.86%、0.45%、3.1%。重瓣黄花型仅在 WQ 和 SX 有分布，但数量很少（图 4）。



注:WQ:松辽平原西部 1,AQ:松辽平原西部 2,SX:豫西山地,CD:冀北山地。图 5 同。

图 4 不同类型文冠果在各地区分布比率

Fig. 4 Distribution rate of different types of *X. sorbi folia*

小球果型和大球果型在不同分布区和林分类型的群体中都是主要的、最常见的果实类型，圆柱果型也比较多，倒卵果型和桃形果型比较少（图 5）。

2.5 类型评价

由于气候因子、立地条件、林分特点等的地区差异，各地林分中不同类型的生长结实表现也有所差异。调查发现，每个地区都有适合本地区的优良类型。从生物质能源树种开发利用的角度出发，结合文冠果种子产量和含油率等指标综合分析，参考相关标准^[16]，本研究将单位投影面积产油量确定为类型评价的主要指标，获得各地区优良类型选择结果。

在 WQ 地区，平均单位投影面积产油量为 17.39 g·m⁻²，大球果型、三棱果型、圆柱果型 3 类的单位投影面积产油量分别为 23.85、22.80 g·m⁻²与 22.55 g·m⁻²，是群体平均单位投影面积产油量的 1.37、1.31、1.30 倍，3 种类型的平均种子产量分别为 472.57、401.77 g 和 467.78 g，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。

在 AQ 地区，群体平均单位投影面积产油量为 32.75 g·m⁻²。该地区小球果型、大球果型、圆柱果型单位投影面积产油量分别为 49.89、43.16 g·m⁻²与 44.77 g·m⁻²，是群体平均值的 1.44、1.31、1.36 倍，这 3 类的平均种子产量分别为 468.67、495.59 g 和 549.10 g，单位投影面积产油量明显高于其他几类，是适合该地区的优质类型。

SX 地区的群体平均单位投影面积产油量 15.66 g·m⁻²。大球果型、圆柱果型 2 类的单位投影面积产油量分别为 25.48 g·m⁻²与 24.04 g·m⁻²，是群体均值的 1.63 倍与 1.53 倍。这 2 类的平均产种量分别为 368.31 g 与 337.41 g，是群体平均产量的

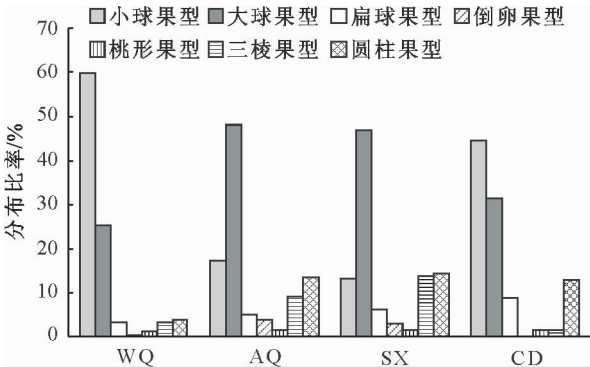


图 5 不同果实类型文冠果分布情况

Fig. 5 Distribution rate of different fruit types of *X. sorbi folia*

2.4 不同形态类型经济性状分析

由于观花型的主要性状比较适合观赏，从生产生物柴油的角度出发，结实型是本研究重点关注类型。因此，将结实型的各类型植株经济性状进行比较分析（图 6）。WQ 地区，大球果型、三棱果型、圆柱果型的单位投影面积产油量（23.85、22.80 g·m⁻²与 22.55 g·m⁻²）、种子含油率（34.07%、33.43%、33.66%）、出籽率（39.48%、34.65%、35.90%）都较高。在 AQ 地区，小球果型、大球果型与圆柱果型的单位投影面积产油量（49.89、43.16 g·m⁻²与 44.77 g·m⁻²）高于其他类型。在 SX 地区，大球果型、圆柱果型比较高产高油。在 CD 地区，小球果型、大球果型、扁球果型、圆柱果型的经济性状较好。

1.60 与 1.47 倍。果实出籽率也高于其他类型,果实和种子都比较大。因此,大球果型、圆柱果型 2 类可作为该地区的优良类型利用和推广。

CD 地区群体平均单位投影面积产油量为 16.17 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$,平均种子产量为 665.32 g。小球果型、大球果型、扁球果型、圆柱果型单位投影面积产油量分别为 20.49、21.16、25.98 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ 与 24.69 g

$\cdot \text{m}^{-2}$,分别是群体均值的 1.27、1.31、1.61 与 1.53 倍,这几类的单位投影面积产油量明显高于其他几类。平均种子产量分别为 895.53、869.06、805.22 g 与 1 229.34 g,是群体均值的 1.35、1.31 与 1.85 倍。这几类的出籽率也都较高。因此,小球果型、大球果型、扁球果型、圆柱果型文冠果是适合冀北山地的优质类型。

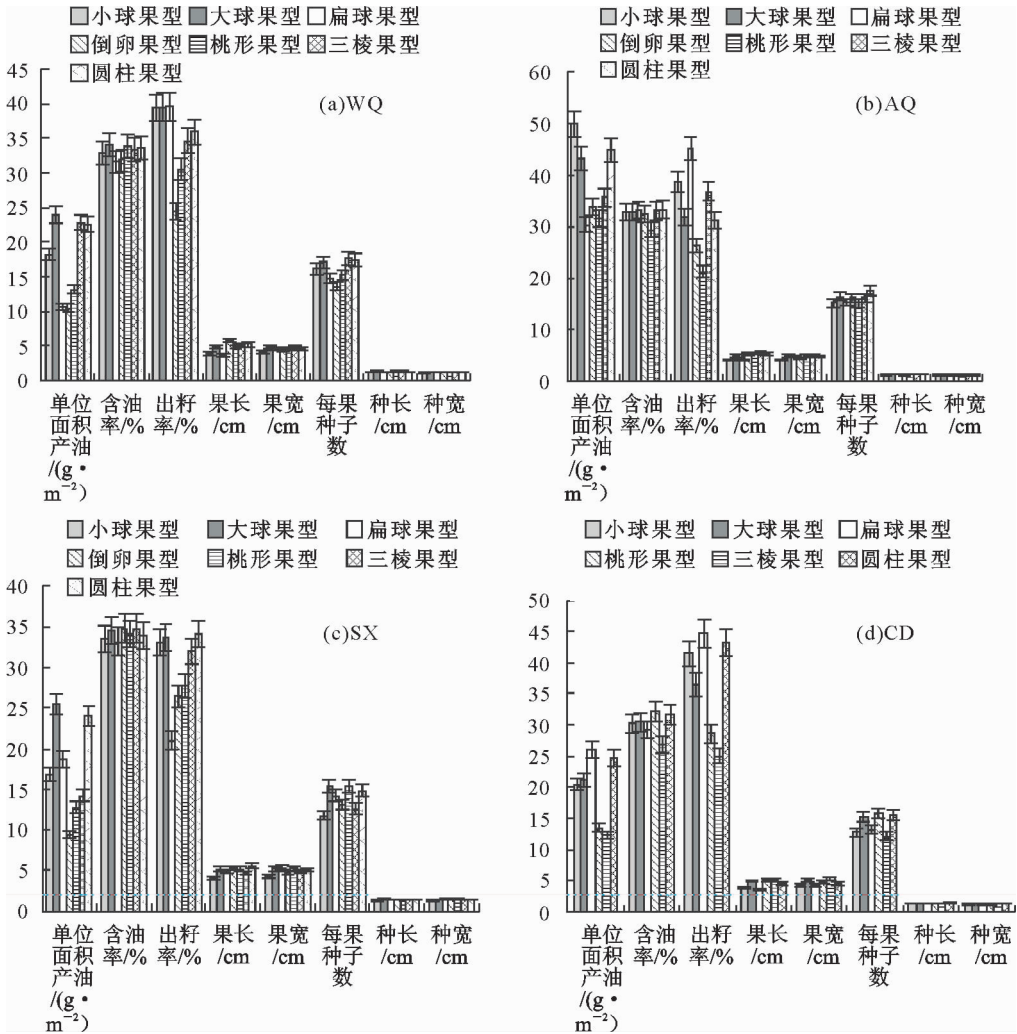


图 6 不同果实类型文冠果在不同分布区中经济性状

Fig. 6 Economic traits of different fruit types of *X. sorbifolia* in different distribution areas

2.6 不同类型自由授粉子代测定

生长性状的差异是林木子代测定的重要内容,不同类型的文冠果由于长期受外界环境及内部遗传因素影响,子代苗期表现出不同的生长差异。各类型子代苗期性状差别较大。单瓣白花倒卵果型除地径以外,其余各性状均值在所有类型中都是最小的,但变异系数比较大。单瓣白花桃形果的子代各性状均值基本也较小。其他优良类型的苗期生长性状大球果型、三棱型、圆柱型的生长好于小球果型和扁球果型(图 7)。

方差分析分析表明,子代苗期的所有调查性状在类型间均有显著差异。类型内单株间只有地径差

异不显著,其余性状差异极显著(表 4)。

3 结论与讨论

遗传基础和环境条件是决定个体表现型的 2 个要素^[17]。遗传多样性高的物种在相似的环境条件下可表现出丰富的表型变化^[18]。在立地条件相对一致的小范围内,文冠果表现出丰富的表型变异,说明遗传多样性较高,种质资源丰富,为进一步开展良种选育提供了物质基础。另外,文冠果为雌雄同株异花植物,经过天然杂交和长期自然选择,在花朵和果实的形状、大小、颜色、种子产量、含油率等性状上表现出很大差异,其中,一些性状有可能在今后的遗

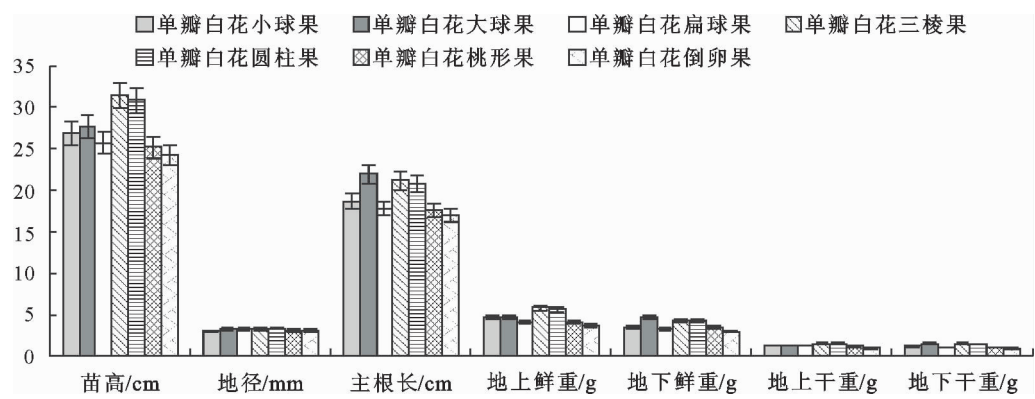


图 7 各类型子代苗期生长性状差异

Fig. 7 Differences in growth traits of different super types' progeny

表 4 不同类型苗期性状方差分析

Table 4 Variance analysis of different types' seedling traits

F 值	苗高/cm	地径/mm	主根长/cm	地上鲜重/g	地下鲜重/g	地上干重/g	地下干重/g
类型间	2.04 *	3.74 *	2.34 *	2.30 *	2.34 *	2.34 *	2.30 *
类型内	1.72 **	1.29	1.94 **	1.91 **	1.94 **	1.94 **	1.91 **

注：*，**表示在 0.05、0.01 水平下差异显著。

传研究和育种实践中作为遗传标记利用。

类型划分时应注意所选性状的稳定性。在调查中发现果实心皮数在不同植株间也有较大变异,从 3 心皮到 6 心皮均有;也发现同一株树的果实的心皮数亦不一定一致,有 3 心皮或 4 心皮,因此,本研究在类型划分时将该类性状舍弃,未用作分类标准。另外,大球果型、三棱型、圆柱型子代苗期的生长好于小球果型和扁球果型,可能是由于小球果型和扁球果型的种子形状小于其他类型,种子内贮藏的养分较少,所以幼苗初期生长稍弱。

优良类型和品种选育是提高生产力的主要途径^[19-21]。本研究在前人基础上,从商品性状和观赏性状角度出发,首次将文冠果划分为观花型和结实型。观花型具有较高的观赏价值。重瓣型植株比较特殊,这种类型来自于单瓣型自然杂交种子实生繁殖。由于雌雄蕊发生不同程度的瓣化现象,不能正常授粉受精,因此,只开花不结实。因无果实消耗养分,植株营养生长旺盛,一般树体高大,树势强健,而且花繁叶茂,观赏效果好。单瓣红花型同样花色美观,而且初花期为黄色,之后渐变为红色,适合用于园林绿化。结实型即单瓣白花型除花期适合观赏之外,是适宜用于生产生物柴油的类型。由于各地区地理因子、气候因子、立地条件、林分特点等因素的差异,各类型的生长结实表现也有所差异,每个地区都有适合本地区的优良类型。因目前尚没有无性系品种可资利用,本研究选出的适合不同地区的优良类型,可以作为丰产高含油率类型试行推广种植。在生产中对各类型群体应该区别对待和利用,根据目的有针对性的选择相应类型。

参考文献:

[1] GUO H H, LI Q Q, WANG T T, *et al.* XsFAD2 gene encodes the enzyme responsible for the high linoleic acid content in oil accumulated in *Xanthoceras sorbifolia* seeds [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2013, 94 (3):482-488.

[2] PINZI S, GARCIA I L, LOPEZ-GIMENEZ F J, *et al.* The ideal vegetable oil-based biodiesel composition: a review of social, economical and technical implications [J]. Energy & Fuels, 2009, 23(5):2325-2341.

[3] ZHANG J F, CHEN G C, SUN Q X, *et al.* Forest biomass resources and utilization in China [J]. African Journal of Biotechnology, 2012, 39(11):9302-9307.

[4] 陈婧, 马履一, 段劼, 等. 中国林业生物质能源发展现状[J]. 林业实用技术, 2012(11):16-19.

[5] LI X F, HOU S L, SU M, *et al.* Major energy plants and their potential for bioenergy development in China[J]. Environmental Management, 2010, 46 (4):579-589.

[6] FU H W, GUO Y, LI W, *et al.* A new angeloylated triterpenoid saponin from the husks of *Xanthoceras sorbifolia* Bunge [J]. Journal of Natural Medicines, 2010, 64(1):80-84.

[7] ZHANG S, ZU Y G, FU Y J, *et al.* Supercritical carbon dioxide extraction of seed oil from yellow horn (*Xanthoceras sorbifolia* Bunge.) and its anti-oxidant activity [J]. Bioresource Technology, 2010, 101 (7):2537-2544.

[8] YAO Z Y, QI J H, YIN L M. Biodiesel production from *Xanthoceras sorbifolia* in China: opportunities and challenges [J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013, 24:57-65.

[9] 散妍, 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.

AO Y, DUAN J, YU H Y, *et al.* Research progress on *Xanthoceras sorbifolia* Bunge [J]. Journal of China Agricultural University, 2012, 17 (6):197-203. (in Chinese)

应[J]. 中国农业科学, 2012, 45(20):4205-4215.

[8] 崔晓临, 白红英, 王涛. 秦岭地区植被 NDVI 海拔梯度差异及其气温响应[J]. 资源科学, 2013, 35(3):618-626.

[9] 王进, 张勇, 颜霞, 等. 光照、温度、土壤水分和播种深度对披针叶黄华种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 草业科学, 2011, 28(9):1640-1644.

[10] 李有志, 黄继山, 朱杰辉. 光照和温度对小叶章种子萌发及其幼苗生长的影响[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2007, 33(2):187-190.

LI Y Z, HUANG J S, ZHU J H. Effects of light and temperature on seed germination and seedling growth of *Deyeuxia angustifolia* [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2007, 33(2): 187-190. (in Chinese)

[11] 张建华. 商洛市飞播造林的影响因素及改善措施[J]. 现代农业科技, 2012(22):163-164.

[12] 王锁民. 飞播生产若干基本技术问题的研究与思考[J]. 陕西林业科技, 2012(4):103-110.

[13] 刘向东, 吴钦孝, 侯庆春, 等. 飞播油松幼苗的生态分布[J]. 水土保持通报, 1983, 3(6)77-82.

[14] 章国华, 张怀玉, 程继先. 飞播造林成效播期的影响因素分析[J]. 黑龙江农业科学, 2010(11):92-93.

[15] 王树国, 王庆丰. 降水过程对飞播造林油松成苗的影响[J]. 河北林果研究, 2000, 19(3):232-235.

[16] 齐长江, 郊松平, 王可盛. 降水对油松雨季直播造林出苗的影响[J]. 辽宁林业科技, 1986, (1):34-36.

[17] 陈射斗. 秦巴山区降水规律与飞播造林成效关系的研究[J]. 西北林学院学报, 1996, 11(3): 50-53.

CHEN S D. Relationship between characteristics of rainfall and aerial seeding afforestation results in the Qinba Mountains [J]. Journal of Northwest Forestry University, 1996, 11(3): 50-53. (in Chinese)

[18] 冯玉龙, 刘恩举, 孙国斌. 根系温度对植物的影响(Ⅰ)—根温对植物生长及光合作用的影响[J]. 东北林业大学学报, 1995, 23(3):63-69.

FENG Y L, LIU E J ,SUN G B. Influence of temperature of root system on plant (Ⅰ)—influence of root temperature on plant growth and photosynthesis [J]. Journal of Northeast Forestry University, 1995, 23(3): 63-69. (in Chinese)

[19] 李有志, 黄继山, 朱杰辉. 光照和温度对小叶章种子萌发及其幼苗生长的影响[J]. 湖南农业大学学报:自然科学版, 2007, 33(2):187-190.

LI Y Z, HUANG J S, ZHU J H. Effects of light and temperature on seed germination and seedling growth of *Deyeuxia angustifolia* [J]. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Sciences, 2007, 33(2): 187-190.

[20] 钱瑞芳, 钟全林, 程栋梁. 温度对森林生长速率和生物量异速生长关系的影响[J]. 沈阳大学学报:自然科学版, 2010, 22(4):20-23.

QIAN R F, ZHONG Q L, CHENG D L. Effects of temperature on allometry of forest biomass production rates and body size [J]. Journal of Shenyang University: Natural Science, 2010, 22(4): 20-23. (in Chinese)

[21] 陕西省林业勘察设计院. 汉中市 1996 年飞播造林作业设计(1997 年施工)[R]. 1996.

(上接第 106 页)

[10] 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.

[11] 敖妍. 不同地区文冠果群体种子含油率·产量变异规律[J]. 安徽农业科学, 2009,37 (25):11967-11969.

[12] 敖妍. 因子分析法在文冠果优良单株选择中的应用[J]. 华南农业大学学报, 2009, 30(4):70-73.

AO Y. Application of factor analysis in superior individual plant selection of *Xanthoceras sorbifolia* [J]. Journal of South China Agricultural University, 2009, 30(4): 70-73. (in Chinese)

[13] 王涛, 敖妍, 牟洪香, 等. 中国能源植物文冠果的研究[M]. 北京:中国科学技术出版社, 2012.

[14] GB/T15690-1995. 油籽含油量核磁共振测定法[S]. 北京:中国标准出版社, 1995.

[15] 徐青萍, 马明呈, 马存德. 文冠果种子发芽特性的研究[J]. 陕西农业科学, 2006 (3):62-64.

[16] GB/T 14071-93. 林木良种审定规范[S]. 北京:中国标准出版社, 1993.

[17] 岁立云, 刘晓敏, 李周岐, 等. 山桐子果实性状的自然变异及类型划分[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版, 2009, 37(8):115-120.

SUI L Y, LIU X M, LI Z Q, *et al.* Natural variation and variation types of fruit characters of *Idesia polycarpa* Maxim. [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat. Sci. Ed., 2009, 37(8):115-120. (in Chinese)

[18] 沈熙环. 林木育种学[M]. 北京:中国林业出版社, 1990.

[19] 蒋晋豫, 郭军战, 蔡英, 等. 油松类型划分与优良类型选育[J]. 西北林学院学报, 2010 , 25 (3):66-70.

JIANG J Y, GUO J Z, CAI Y, *et al.* Classification and selection of superior *Pinus tabulaeformis* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2010,25(3):66-70. (in Chinese)

[20] 周建云, 曹旭平, 张宏勃, 等. 陕西栓皮栎天然类型划分研究[J]. 西北林学院学报, 2009,24(1):16-19.

ZHOU J Y, CAO X P, ZHANG H B, *et al.* Classification of natural types of *Quercus variabilis* in Shaanxi Province [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2009,24(1):16-19. (in Chinese)

[21] 吴裕, 段安安. 元宝枫性状相关分析与变异类型划分[J]. 西北林学院学报, 2007, 22(1):34-37.

WU Y, DUAN A A. Variable type compartmentalization and plus-tree selection of *Acer truncatum* [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2007, 22(1):34-37. (in Chinese)