

文章编号:1001-1498(2014)06-0769-07

## 黑杨树冠雌花分布与少絮无性系的选择

吴立栓<sup>1</sup>, 胡建军<sup>1\*</sup>, 苏雪辉<sup>2</sup>, 李喜林<sup>2</sup>, 赵自成<sup>2</sup>

(1. 林木遗传育种国家重点实验室, 国家林业局林木培育重点实验室, 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091;

2. 焦作市农林科学研究院, 河南 焦作 454000)

**摘要:**以美洲黑杨种内杂交得到的 29 个后代雌株为材料, 对杨絮的空间分布、杨絮量、结实量、生长量等相关的 10 个数量性状进行调查分析, 研究了杨絮的影响因素, 并筛选杨树少絮优良无性系。结果表明: 杨絮主要集中于树冠的集花区, 花枝数、果序数、杨絮量及种子量在冠层中的分布均表现为中部 > 上部 > 下部。单株杨絮量与单株花枝数及平均冠幅呈极显著相关, 与平均胸径、集花区长、单果序种子数、单株果序数、单株种子数呈显著相关; 与树高及枝下高不相关。遗传变异分析表明: 各性状在杂交子代中均达到极显著差异且大都属于高水平重复力, 且差异主要受遗传因素控制。从调查的 8 个相关性状中选出可代表杨絮量、集花区、单果序结实量等相关指标的 3 个主成分, 代表了 8 个调查性状信息总量的 75.487%。最后, 依据主成分得分及相关性状综合评选出了 92、121 和 260 三个少絮无性系。

**关键词:**美洲黑杨; 空间分布; 遗传变异; 相关分析; 主成分分析

中图分类号: S718.4

文献标识码: A

## Distribution Pattern of Female Flowers in Crown and Less Catkins Clones Selection of Aigeiros

WU Li-shuan<sup>1</sup>, HU Jian-jun<sup>1</sup>, SU Xue-hui<sup>2</sup>, LI Xi-lin<sup>2</sup>, ZHAO Zi-cheng<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Tree Genetics and Breeding, Key Laboratory of Forest Cultivation of State Forestry Administration,

Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 2. Jiaozuo Academy of Agriculture and Forestry Sciences, Jiaozuo 454000, He'nan, China)

**Abstract:** To determine the factors influencing the spatial distribution of poplar catkins, and to screen poplar clones for fewer catkins, 10 quantitative traits related to the quantity of poplar catkins, seed yields and growth increments were measured on 29 female plant clones in the F<sub>2</sub> generation of an intraspecific cross of *Populus deltoides*. The results indicated that the poplar catkins were mainly distributed in tree crowns, with the amount of flowering branches, infructescences, poplar catkins and seed yields being the highest in the middle layer of the crown, the lowest in the lowest layer and intermediate in the highest layer of the crown. The quantity of poplar catkins produced by an individual plant was significantly positively correlated with the mean crown range, and the amount of flowering branches of individual plant, additionally, was significantly positive correlation with the diameter at breast height (DBH), the length of catkin concentration, the seed amount of each infructescence, the infructescence amount of each plant, and the seed amount of each plant, but was not correlated with tree height and height under branches. These traits varied significantly among hybrid progeny showing high repeatability, indicating that the trait variation was controlled

收稿日期: 2013-10-25

基金项目: “十二·五”林业行业公益类重大专项“杨树、悬铃木等人体易过敏树种低致敏新品种选育研究”(201304103); 林木遗传育种国家重点实验室专项课题“黑杨工业用材林新品种培育”(CAFYBB2012041)

作者简介: 吴立栓(1986-), 男, 在读硕士. 主要研究方向: 林木遗传育种. E-mail: wulishuan@live.com

\* 通讯作者: 博士, 副研究员. 主要研究方向: 林木遗传育种. E-mail: hujj@caf.ac.cn

by genetic factors. Three principal components, representing the quantity of catkins, the catkin concentration, the seed yields of each infructescence and other related indicators, were extracted from the 8 correlation characters investigated, and in combination represented 75.487% of total information for the 8 characters. Based on ranking of principal component scores and related traits, all the traits were comprehensively evaluated and 92 121 and 260 three clones with fewer catkins were obtained.

**Key words:** *Populus deltoides*; spatial distribution; genetic variation; correlation analysis; principal component analysis

杨树(*Populus*)是我国乃至世界栽培最广的一类树种,除可作为纸浆和人造板等工业原料外,也是城市园林绿化、村庄四旁绿化、退耕农田生态林建设的重要树种,具有极高的生态和经济价值<sup>[1]</sup>;然而,杨树的广泛栽植在绿化环境、满足木材及工业原料供应的同时,每年春季产生的杨絮也会影响环境质量,甚至危害交通安全,并可携带花粉及病原微生物导致过敏及病菌传播<sup>[2-3]</sup>。如今杨絮问题已成为一些城市园林绿化部门必须面对的突出问题,也是影响宜居城市建设的因素之一,其危害也受到越来越多的关注<sup>[2]</sup>。因此,培育杨树少絮品种,对于改善市民的居住环境质量,减少杨絮过敏发病率等具有重大现实意义。

高等植物的花、花序、果实和种子以及着生这些器官的生殖枝均可称为生殖构件<sup>[4]</sup>。对植物的生殖构件进行研究有利于了解其生殖对策及其与环境的关系<sup>[5]</sup>。目前,对植物生殖构件的研究主要集中在其时空分布格局及数量动态等方面<sup>[6-10]</sup>;而对杨树生殖构件的研究报道,仅见李志军等<sup>[11]</sup>对胡杨(*P. euphratica* Oliv)和灰叶胡杨(*P. pruinosa* Schrenk)花序分布及数量特征的研究;但对杨树种子传播载体杨絮的特性描述较少,不利于分析其生殖构件数量及质量的形成规律。美洲黑杨(*P. deltoides* Marsh)属黑杨派(Section *Aigeiros* Duby)树种,是北美洲的重要森林树种,引种后成为我国杨树速生丰产林及园林绿化的重要树种之一。目前,对于美洲黑杨杂交选育、栽培、生理及光合等方面的研究较多<sup>[12-14]</sup>,而对其开花习性、花序、果实、杨絮空间分布及少絮无性系选育的研究尚未见报道;对于杨絮的治理,目前主要采用更新雌株法及施用抑花药剂法<sup>[2]</sup>,但均不利于城市生态环境的建设<sup>[1]</sup>,因此,通过常规杂交育种培育少絮或短花期的优良雌株是解决杨絮问题的重要途径。本文采用遗传、相关及主成分分析方法对美洲黑杨杂交群体的花序、果实和杨絮的空间分布开展研究,揭示美洲黑杨生殖机制和影响因素,以期对杨树少絮优良无性系的选择提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验林

20世纪80年代,我国从欧洲引种了50号杨(*P. deltoides* CL. '55 /65')和36号杨(*P. deltoides* CL. '2KEN8')2个美洲黑杨优良无性系,经苗期筛选、品种比较试验和区域试验,中国林业科学研究院林业研究所从这2个无性系杂交 $F_1$ 代中选育出了具有耐桑天牛(*Apriona germari* Hope)、速生等优良特性的丹红杨(*P. deltoides* CL. 'Danhong')和南杨(*P. deltoides* CL. 'Nanyang')2个良种<sup>[15-16]</sup>。2003年本课题组以丹红杨和南杨为亲本获得杂交后代,2007年3月经苗期筛选后有61个杂交无性系(29个雌株,32个雄株)定植于河南焦作武涉县新李庄,造林按照完全随机区组设计,共4个区组,每小区6株,株行距3 m×5 m,郁闭度0.5。

### 1.2 试验方法

于2013年4月下旬至5月上旬,在果序刚开裂时应用Vertex IV超声波测高仪测定第I区组中的29个雌株无性系的树高、最低花位(植株上最低花的高度)、集花区下限(花量集中区域的最小高度)、集花区上限(花量集中区域的最大高度)及最高花位(植株上最高花的高度),集花区长以集花区上限与集花区下限之差表示,同时测定胸径、枝下高和冠幅。每个无性系取长势相近的3株作为3个重复。

单株杨絮量、果序数、小果数及种子数采用标准枝法分上、中、下3层进行测定:(1)将冠层按等高分3层,在花枝数相对不多,不影响树体正常生长且能够代表所在区域花序数的情况下,每株每层各取1个标准枝,记录每个标准枝的果序数;(2)每个无性系3个重复中各随机采集30个果序,置于干燥袋中,带回温室,待其自然裂开,脱絮称质量,并折算成各层标准枝上的杨絮量;(3)在每个无性系3个重复中各随机选取3个果序,统计果序小果数和种子数,折算成各层标准枝上的小果数和种子数;(4)计算出各层的杨絮量、果序数、小果数及种子数,累加得

到单株杨絮量、果序数、小果数及种子数。

### 1.3 遗传参数估算

对性状变异情况及遗传控制程度的估测采用如下遗传参数进行<sup>[17-18]</sup>。

重复力( $R$ ):  $R = 1 - 1/F$  ( $F$ 为性状方差  $F$ 值)

遗传变异系数( $GCV$ ):

$GCV = \sqrt{MSW}/X \times 100\%$  ( $MSW$ 为遗传型方差,  $X$ 为无性系平均值)

表型变异系数( $PCV$ ):

$PCV = \sqrt{MSW + MSB}/X \times 100\%$  ( $MSW$ 为遗传型方差,  $MSB$ 为环境方差,  $X$ 为无性系平均值)

总体变异系数( $CV$ ):  $CV = S/X \times 100\%$  ( $S$ 为标准差,  $X$ 为无性系平均值)

### 1.4 数据统计分析

29个无性系共87个单株的树高、胸径、平均冠幅、枝下高、单果序种子数、单株花枝数、最低花位、集花区下限和上限、最高花位、各层标准枝果序数及各层花枝数的原始数据使用 Microsoft Excel 表格进行整理。并采用 SPSS17.0 软件对整理后的无性系树高、胸径、平均冠幅、枝下高、集花区长、单果序种子数、单株花枝数、单株果序数、单株小果数及单株杨絮量 10 个性状(表 1、2)进行方差及相关性分析。选取与单株杨絮量达显著相关或极显著相关的性状进行主成分分析,计算主成分的特征根和各特征根的贡献率及各特征根所对应的特征向量。

表 1 29 个无性系观测性状的数据平均值及标准差

系号	胸径/cm	平均冠幅/m	单果序种子数/个	单株花枝数/个	单株果序数/个	单株种子数/个	单株杨絮量/g
3	18.80 ± 2.59	4.73 ± 0.15	800 ± 96	30 ± 5	901 ± 234	733 344 ± 253 397	166 ± 44
17	16.17 ± 0.85	5.13 ± 0.15	732 ± 42	24 ± 5	331 ± 77	241 728 ± 5 725	89 ± 21
22	19.13 ± 1.78	5.62 ± 0.85	573 ± 83	31 ± 10	1 061 ± 571	629 184 ± 372 640	91 ± 50
29	15.10 ± 1.06	3.97 ± 0.28	350 ± 53	7 ± 3	57 ± 27	20 809 ± 11 420	14 ± 6
35	17.77 ± 0.90	5.87 ± 0.53	528 ± 42	16 ± 5	853 ± 286	457 488 ± 178 993	56 ± 19
39	14.20 ± 1.08	4.55 ± 0.73	632 ± 37	20 ± 10	195 ± 100	120 925 ± 54 628	35 ± 18
63	19.43 ± 0.75	5.68 ± 0.40	826 ± 107	18 ± 2	181 ± 18	150 553 ± 31 482	82 ± 8
68	18.27 ± 2.29	5.75 ± 0.31	1 360 ± 125	10 ± 1	784 ± 280	1 061 760 ± 358 501	120 ± 43
92	18.20 ± 0.00	5.40 ± 0.30	506 ± 44	15 ± 2	116 ± 12	59 048 ± 11 180	54 ± 6
121	16.27 ± 1.50	4.52 ± 0.33	425 ± 40	4 ± 0	142 ± 16	60 747 ± 12 327	23 ± 3
134	14.40 ± 0.53	4.60 ± 0.18	629 ± 103	10 ± 2	143 ± 34	91 552 ± 31 923	75 ± 19
142	17.30 ± 0.66	5.27 ± 0.23	896 ± 28	25 ± 6	323 ± 55	290 048 ± 57 281	202 ± 35
150	13.10 ± 0.10	4.43 ± 0.55	200 ± 10	13 ± 1	235 ± 15	47 028 ± 3 488	49 ± 3
154	16.20 ± 1.30	5.42 ± 0.38	644 ± 49	12 ± 3	138 ± 39	89 880 ± 30 509	69 ± 20
164	16.35 ± 0.45	5.55 ± 0.20	615 ± 0	27 ± 4	247 ± 23	152 213 ± 13 838	168 ± 15
169	16.10 ± 0.66	5.17 ± 0.03	865 ± 67	9 ± 3	134 ± 8	116 307 ± 11 907	33 ± 2
203	16.23 ± 0.68	5.05 ± 0.28	347 ± 15	10 ± 2	132 ± 31	45 912 ± 11 226	59 ± 14
233	15.90 ± 1.41	4.90 ± 0.48	572 ± 45	16 ± 3	176 ± 30	99 843 ± 12 523	23 ± 4
236	14.53 ± 1.01	5.08 ± 0.23	458 ± 14	7 ± 2	64 ± 19	29 453 ± 8 605	30 ± 9
260	17.17 ± 0.81	4.95 ± 0.39	805 ± 35	10 ± 2	184 ± 40	146 965 ± 25 261	72 ± 16
264	16.67 ± 1.42	5.23 ± 0.38	561 ± 131	7 ± 2	230 ± 68	124 489 ± 30 101	113 ± 34
265	14.65 ± 1.65	5.20 ± 0.70	663 ± 17	14 ± 4	182 ± 52	120 077 ± 31 386	101 ± 29
268	13.80 ± 2.08	4.33 ± 0.56	600 ± 90	22 ± 8	371 ± 127	229 429 ± 106 450	53 ± 18
269	16.40 ± 1.82	5.50 ± 0.58	530 ± 62	12 ± 3	322 ± 78	173 600 ± 60 511	134 ± 32
277	15.10 ± 0.85	3.92 ± 0.14	667 ± 105	11 ± 5	145 ± 53	93 681 ± 23 761	67 ± 24
281	21.63 ± 0.70	5.33 ± 0.35	491 ± 50	10 ± 2	278 ± 130	133 198 ± 51 076	108 ± 50
286	11.27 ± 1.36	3.87 ± 1.03	484 ± 38	5 ± 2	50 ± 24	23 571 ± 10 406	13 ± 6
301	15.93 ± 0.40	4.18 ± 0.06	700 ± 97	8 ± 2	342 ± 86	235 986 ± 40 719	14 ± 3
313	15.33 ± 1.07	4.43 ± 0.61	950 ± 113	6 ± 2	275 ± 78	267 266 ± 105 795	69 ± 20
平均值	16.26 ± 2.10	4.95 ± 0.58	635 ± 222	14 ± 7	297 ± 263	208 486 ± 235 587	75 ± 49

## 2 结果与分析

### 2.1 美洲黑杨雌花序(果序)、种子及杨絮分布特征

对 29 个无性系的树高、枝下高、最低花位、集花区下限和上限、最高花位、集花区长、树冠上、中、下

层的花枝数、花序数、种子量和杨絮量的统计分析表明(表 2、3):美洲黑杨雌花集花区主要集中在距地面 6.93 ~ 9.98 m 的范围内,完全处于树冠中部 6.91 ~ 10.34 m 的范围,占整个花区的 39.87% 及整个树冠的 29.64%。集花区的变异系数最大,为

27.96%,枝下高、最低花位、集花区下限和上限的相对较小,但也达到10%以上,而树高与最高花位的变异系数均小于10%。花枝数、果序数、杨絮量、种

子量在树冠上不同层次的分布也有类似的规律,即均为中层>上层>下层,中上层之和均达总数的80%以上。

表2 美洲黑杨丹红杨×南杨 F<sub>1</sub> 无性系雌花空间分布格局

系号	树高/m	枝下高/m	最低花位/m	集花区下限/m	集花区上限/m	最高花位/m	集花区长/m
3	13.90±0.53	3.57±1.07	4.43±0.60	6.07±0.90	8.60±1.68	13.10±0.78	2.53±0.84
17	12.83±0.29	3.17±0.74	3.93±0.12	4.67±0.64	8.10±0.95	12.33±0.23	3.43±0.32
22	13.90±0.10	3.97±0.47	4.90±0.36	7.37±0.32	9.70±1.06	11.90±0.46	2.33±0.76
29	15.17±0.15	3.83±0.29	7.03±0.55	9.27±0.25	11.43±0.49	13.77±0.50	2.17±0.31
35	13.43±0.21	3.40±0.00	4.13±0.23	5.67±1.15	10.57±0.40	12.83±0.38	4.90±1.28
39	12.17±0.29	3.33±0.15	3.97±0.35	4.87±1.25	7.30±1.64	10.50±0.5	2.43±0.78
63	13.93±0.12	3.40±0.53	5.27±0.40	6.67±0.58	9.57±0.68	12.57±0.49	2.90±0.17
68	12.77±0.72	3.53±0.46	4.27±0.25	6.83±0.29	10.30±0.17	11.67±0.38	3.47±0.25
92	13.85±0.05	3.90±0.10	4.75±0.25	5.85±0.85	8.70±0.40	13.25±0.85	2.85±0.45
121	14.10±0.10	3.30±0.10	7.67±0.29	9.17±0.29	11.60±0.75	13.07±0.38	2.43±0.50
134	14.03±0.06	2.70±0.26	4.83±0.29	7.17±0.96	9.47±0.50	12.50±0.10	2.30±0.46
142	14.40±0.10	3.30±0.17	3.57±0.40	5.10±0.17	9.10±0.17	13.20±0.35	4.00±0.00
150	12.83±0.76	3.00±0.20	6.20±0.72	11.00±1.04	13.83±1.62	11.00±1.04	2.83±0.58
154	14.57±0.15	3.13±0.15	5.00±0.20	8.00±0.50	10.67±0.42	13.47±0.23	2.67±0.57
164	12.10±0.10	4.10±0.40	4.25±0.25	5.10±0.10	9.10±0.60	11.10±0.10	4.00±0.50
169	14.07±0.71	3.97±0.91	5.50±0.00	6.23±1.08	9.63±1.18	12.63±0.85	3.40±1.04
203	14.50±0.20	3.97±0.29	6.80±0.30	9.33±0.29	12.43±0.32	13.90±0.36	3.10±0.26
233	12.93±0.81	3.57±0.93	5.67±0.35	7.33±1.20	9.10±0.46	11.87±0.81	1.77±0.95
236	14.37±0.12	3.73±0.25	5.77±0.25	7.77±0.40	10.50±0.35	13.00±0.00	2.73±0.38
260	14.27±0.40	3.13±0.40	3.80±0.52	6.60±0.53	9.70±0.36	13.43±0.12	3.10±0.30
264	14.77±0.15	3.37±0.12	4.77±0.40	6.67±0.58	10.30±1.21	13.47±0.57	3.63±0.71
265	12.90±0.30	3.35±0.15	3.35±0.15	4.75±0.75	9.75±0.25	12.25±0.50	5.00±1.00
268	13.87±0.98	3.27±0.64	3.93±0.12	5.70±0.52	8.93±0.61	13.07±1.29	3.23±1.12
269	13.90±0.36	3.97±0.32	4.33±0.42	6.33±1.85	8.77±1.55	12.23±0.21	2.10±0.75
277	13.57±0.12	3.27±0.64	6.50±0.35	8.10±1.01	10.20±0.95	12.57±0.49	2.43±0.81
281	16.17±0.57	3.63±0.21	4.87±0.12	7.90±0.79	11.47±0.83	14.93±0.78	3.57±0.49
286	10.43±0.75	3.00±0.20	4.53±0.25	6.83±1.04	8.60±0.72	9.57±0.51	1.77±0.55
301	14.43±0.12	3.77±0.25	5.50±0.20	8.00±0.50	10.70±0.75	13.10±0.17	2.70±0.72
313	15.17±0.29	3.23±0.12	5.17±0.21	6.73±0.25	11.20±1.04	14.30±0.70	4.47±0.84
无性系平均值	13.77±1.11	3.48±0.35	4.99±1.08	6.93±1.53	9.98±1.38	12.64±1.14	3.04±0.85
总体变异系数/%	8.06	10.06	21.64	22.08	13.83	9.02	27.96

表3 美洲黑杨丹红杨×南杨 F<sub>1</sub> 群体生殖构件空间分布

器官	树冠上层	树冠中层	树冠下层
花枝/%	30.11	53.79	16.15
花序/%	32.17	52.17	15.66
杨絮/%	30.72	51.77	17.51
种子/%	31.42	52.41	16.17

## 2.2 10个观测性状的表现及相关性分析

对29个无性系10个性状的测定值(表1、2)进行方差分析及遗传参数估算,结果(表4)表明:10个观测性状的无性系重复力比较高,最大的为单果序种子数,达到0.97,其它性状除了枝下高为0.45(属于中等遗传控制性状)外,均大于0.78,处于高水平重复力。方差分析结果表明:无性系各性状间均存在极显著差异。遗传变异系数占表型变异系数的绝

大部分,说明变异(差异)主要是由遗传因素引起,受环境因素影响较小。集花区长、单果序种子数、单株花枝数、单株杨絮量、单株果序数、单株种子数的总体变异系数较大,分别为27.96%、34.98%、54.29%、65.15%、88.74%、113.00%,表明无性系间性状差异较大。因此,从中进行多性状的综合选择是可行的,能够获得理想的效果。

相关性分析表明(表5):单株杨絮量与单株花枝数、平均冠幅呈极显著相关,相关系数分别为0.578、0.496,并与结实量、杨絮量相关的单株种子数、单株果序数、单果序种子数及集花区长4个性状呈显著或极显著正相关,单株杨絮量与平均冠幅、单株种子数、集花区长、单果序种子数、单株果序数的相关系数分别为0.496、0.437、0.408、0.395、0.387,

单株杨絮量与胸径也呈显著正相关(0.456),表明它们有相同的变化趋势。单株杨絮量与树高及枝下

高的相关不显著。

表 4 美洲黑杨无性系观测性状的遗传参数

项目	树高	胸径	平均冠幅	枝下高	集花区长	单果序种子数	单株花枝数	单株果序数	单株种子数	单株杨絮量	
方差分量	环境方差	0.18	1.58	0.21	0.21	0.46	4 926.59	17.72	21 797.69	14 170 157 946	585.94
	遗传方差	3.69	13.27	0.99	0.38	2.15	147 951.82	173.65	207 432.65	166 503 084 660	7 165.69
	表型方差	3.87	14.85	1.20	0.58	2.61	152 878.41	190.37	229 230.34	180 673 242 606	7 751.62
重复力	0.95	0.88	0.79	0.45	0.78	0.97	0.90	0.89	0.91	0.92	
遗传参数	遗传变异系数/%	13.95	22.40	20.10	17.71	48.23	60.59	93.99	153.72	195.72	112.84
	表型变异系数/%	14.29	23.70	22.13	21.88	53.14	61.59	98.41	161.59	203.88	117.36
	总体变异系数/%	8.06	12.98	11.62	10.06	27.96	34.98	54.29	88.74	113.00	65.15
F 值	20.29**	8.42**	4.74**	1.83**	4.65**	30.03**	9.8**	9.52**	11.57**	12.23**	

注: \* 表示显著水平(P<0.05), \*\* 表示极显著水平(P<0.01), 下同。

表 5 美洲黑杨无性系各调查性状之间的相关系数矩阵

	树高	胸径	平均冠幅	枝下高	集花区长	单果序种子数	单株花枝数	单株果序数	单株种子数	单株杨絮量
树高	1									
胸径	0.584**	1								
平均冠幅	0.156	0.630**	1							
枝下高	0.209	0.399*	0.349	1						
集花区长	0.139	0.259	0.478*	0.000	1					
单果序种子数	-0.015	0.290	0.264	-0.087	0.322	1				
单株花枝数	-0.158	0.185	0.215	0.166	0.179	0.115	1			
单株果序数	0.044	0.403*	0.303	0.155	0.258	0.337	0.424*	1		
单株种子数	-0.012	0.376*	0.284	0.094	0.254	0.682**	0.239	0.862**	1	
单株杨絮量	0.098	0.456*	0.496**	0.097	0.408*	0.395*	0.578**	0.387*	0.437*	1

2.3 主成分分析

2.3.1 主成分及特征向量的确定 对美洲黑杨 8 个表现为相关或极相关的性状(表 5)进行主成分分析,在主成分特征值 λ > 1 条件下选取 3 个主成分(表 6),累积贡献率达 75.487%,代表 8 个性状的绝大部分信息。其中,特征向量中的每一列代表相应主成分作为原来变量线性组合的系数(比例),相关系数的绝对值越大,表明其对应的性状对这一主成分的影响越大。由表 6 可知:在主成分 I 中与杨絮量相关的单株种子数、单株果序数及单株杨絮量等性状的系数均较大,即主成分 I 受它们的影响较大。因此,主成分 I 可作为代表单株杨絮量、结实量及胸径和冠幅的综合特征因子。在主成分 II 中,集花区长、单果序种子数的系数绝对值较大,即主成分 II 受它们的影响较大。其中,单果序种子数的系数为负值,表明其与集花区长的变化趋势相反。因此,主成分 II 可作为代表集花区的特征因子;同理,主成分 III 可作为代表单果序种子数的特征因子。

2.3.2 主成分得分及无性系综合评价 根据表 6 中 8 个性状相关矩阵的特征向量,列出主成分函数的表达式:

表 6 入选的 3 个主成分特征根、累计贡献率、特征向量

项目	主成分 I	主成分 II	主成分 III	
特征根	3.888	1.146	1.005	
累计贡献率/%	48.599	14.330	12.557	
特征向量	胸径	0.718	0.185	-2.01
	平均冠幅	0.715	0.444	-0.200
	集花区长	0.465	0.644	0.273
	单果序种子数	0.610	-0.530	0.671
	单株花枝数	0.623	-2.480	-0.531
	单株果序数	0.800	-0.452	-0.390
	单株种子数	0.825	-0.433	0.294
	单株杨絮量	0.751	0.207	-0.172

$$Y_1 = 0.364x_1 + 0.363x_2 + 0.236x_3 + 0.309x_4 + 0.316x_5 + 0.406x_6 + 0.418x_7 + 0.381x_8$$

$$Y_2 = 0.173x_1 + 0.415x_2 + 0.602x_3 - 0.050x_4 - 0.232x_5 - 0.422x_6 - 0.405x_7 + 0.194x_8$$

$$Y_3 = -0.201x_1 - 0.200x_2 + 0.272x_3 + 0.670x_4 - 0.530x_5 - 0.040x_6 + 0.294x_7 - 0.172x_8$$

根据主成分表达式代入标准化的数据得到各主成分下无性系的得分(表 7),结合相关性状对 29 个无性系进行综合评价。各主成分的正负是由于原始数据标准化时以性状的平均值为 0 作为标准造成的。无性系得分正负反映了该无性系综合性状表现相对于全部无性系综合性状平均水平的表现状况,

正值表明高于平均水平, 负值表明低于平均水平。因此, 以负影响因子少絮性状为选择指标时, 应在代表杨絮量的第 I 主成分中得分为负值的无性系中进行选择, 但由于单株杨絮量与胸径呈显著正相关, 因此, 即使主成分 I 得分越低的无性系其杨絮量可能越少, 但胸径可能也减小; 所以在选择时需特别关注生长势适中的无性系。因此, 将主成分 I 中 16 个得分为负值的无性系全部作为候选无性系, 分别为 286、29、150、121、236、277、134、233、39、203、301、268、154、169、92 和 260 无性系。继续以 29 个无性系性状平均值作为对照对经主成分分析后的 16 个少絮无性系进行选择, 无性系 92、121 和 260 的树高 (分别为: 13.85、14.10、14.27 m) (表 2) 和胸径 (分别为: 18.20、16.27、17.17 cm) 均大于平均值 (表 1), 在今后的选育过程中可重点关注。

表 7 主成分得分及排序

系号	主成分 I 得分	排序	主成分 II 得分	排序	主成分 III 得分	排序
3	3.618 4	2	-2.348 9	29	-0.694 1	22
17	0.972 5	9	0.015 0	16	-0.339 0	19
22	3.384 6	3	-2.176 9	28	-1.742 6	29
29	-2.920 9	28	-0.692 0	20	-0.199 6	17
35	2.434 6	5	0.678 4	10	-0.018 4	12
39	-1.186 0	21	-0.908 2	23	-0.199 4	16
63	1.174 9	7	0.828 8	6	-0.385 0	20
68	4.390 4	1	-1.037 9	26	3.035 0	1
92	-0.302 3	15	0.822 5	7	-0.910 0	26
121	-2.062 4	26	-0.098 0	17	0.045 9	11
134	-1.390 4	23	-0.352 4	18	0.233 9	9
142	2.677 2	4	0.893 5	5	-0.290 9	18
150	-2.164 2	27	-0.389 5	19	-0.931 3	27
154	-0.414 9	17	0.573 9	12	-0.176 2	15
164	1.715 2	6	1.273 6	4	-1.255 8	28
169	-0.407 9	16	0.737 6	9	1.133 1	3
203	-1.159 3	20	0.766 5	8	-0.735 0	23
233	-1.247 9	22	-0.846 7	22	-0.612 1	21
236	-1.862 1	25	0.477 4	14	-0.065 5	14
260	-0.073 2	14	0.483 6	13	0.695 7	5
264	0.048 1	13	1.293 2	3	0.109 0	10
265	0.333 2	10	1.871 7	1	0.597 4	7
268	-0.509 3	18	-0.989 4	24	-0.042 5	13
269	0.292 4	11	0.087 5	15	-0.902 6	25
277	-1.595 1	24	-0.790 5	21	0.474 5	8
281	1.044 7	8	1.533 5	2	-0.839 9	24
286	-3.694 5	29	-1.307 8	27	0.670 5	6
301	-1.148 3	19	-1.031 7	25	1.034 3	4
313	0.052 3	12	0.632 9	11	2.310 4	2

### 3 结论与讨论

杨树雌花序在授粉后, 柱头逐渐脱落, 之后称为果序。因此, 雌花序数决定了果序数, 进而影响种子数及杨絮量, 在此将果序量等同于花序量。美洲黑杨属雌雄异株植物, 其雌花和雄花的空间分布, 特别

是集花区的分布、大小及重叠形式, 对授粉及结实有重要影响。在垂直方向上, 美洲黑杨雌花集花区长 3.04 m, 处于距地面高 6.93 ~ 9.98 m 的范围内, 占整个花区的 39.87% 及整个树冠的 29.64%, 完全位于树冠的中部。这一结果表明, 美洲黑杨雌株可能主要通过树冠中部的集中区域来接受大量花粉而保证授粉和结实量, 因此, 树冠中部的花枝、果序、杨絮及种子量也最多。这与魏刚等<sup>[19]</sup>对银杏树冠的枝、花和种子的分布格局研究, 以及李志军等<sup>[11]</sup>对胡杨、灰叶胡杨雌花序的空间分布研究结果相同; 而略有不同的是, 胡杨和灰叶胡杨雌花序空间分布表现为树冠上层大于中层, 这可能与林龄、植株密度、生活型等不同有关。另外, 杨絮作为杨树种子传播的载体, 实质上为杨树种子基部的附属绒毛, 植物学术语叫“种缨”, 起源于胚珠的珠柄, 在种子繁衍过程中起重要作用。因此, 在种子集中分布的区域, 杨属植物产生大量的杨絮有利于种子的传播, 使其在极低的自然繁衍几率下, 保证生存机会。从变异系数大小可以看出, 集花区长、最低花位和集花区下限相对较大, 说明这些性状数量差异较大。一般认为最低花位和集花区下限与林分郁闭度有很大关系<sup>[20]</sup>。郁闭度大, 林分下部接受阳光强度弱, 最低花位和集花区下限会相对上移; 而集花区上限和最高花位并不决定于郁闭度, 而是受到光照时数、通风条件、温度及养分等因素的综合影响。上述结果说明, 生殖构件的分布格局是在适应环境条件的过程中不断变化的。本研究仅涉及雌株一年中的生殖构件空间分布, 今后尚需结合雄株并连年观测进行综合研究。

大量研究表明, 林木在种、种源、家系及无性系等多层次上存在着广泛的遗传变异<sup>[21-23]</sup>, 这是林木在不同的生境中经长期适应和驯化过程逐渐形成的, 这为开展不同层次的遗传改良研究, 进行优良新品种的选育工作提供了极其丰富的物质基础。性状的遗传控制程度是性状改良的物质基础, 常用的指标有遗传力和重复力, 但在以无性系为材料研究性状遗传控制程度时应该选用重复力指标<sup>[24]</sup>。在经遗传参数估算及方差分析后可知, 代表美洲黑杨杨絮量、结实量、生长量等相关指标的性状, 均属高遗传控制性状。无性系各性状间的差异均达极显著水平, 且这些差异主要受遗传因素控制。这表明从该群体中选出这些性状的个体的几率较大, 所选个体也具有较稳定的重复力; 因此, 对这些性状进行选择是可行的。

相关分析表明,单株杨絮量与单株种子数、单株果序数、单果序种子数及集花区长呈显著或极显著正相关(相关系数为0.387~0.437),说明这些指标对单株杨絮量有显著影响。因此,针对杨絮量、种子量、花序量及集花区主要分布于树冠中层的情况,可以考虑使用集花区重叠较少的雄株来进行树种配置,以降低授粉几率,达到减少杨絮量的目的,也可通过选择少花量、少种子或雌性不育的品系来达到减少杨絮的目的;但值得注意的是单株杨絮量同时还与胸径呈显著正相关(0.456),与平均冠幅呈极显著相关(0.496),表明在选择单株杨絮量少的无性系时,相应会降低胸径和平均冠幅的大小。因此,对于少絮无性系的选择以生长势适中的为好,并应根据育种目标综合进行选择。另外,单株杨絮量与树高及枝下高的相关不显著,说明对于不同无性系的树高和枝下高对单株杨絮量没有显著影响。

主成分分析通过对多个性状的线性正交变换,切断了性状间的相互联系,使其成为特征性状,保证其在独立的通径关系上进行综合评价<sup>[25-27]</sup>,且各主成分的权重是根据主成分的方差贡献率大小确定的,克服了评价方法中人为确定权数的缺陷<sup>[28]</sup>,使得结果唯一,客观合理,提高了评价效果。本研究中,以少絮作为主要选择指标,依据主成分得分并以无性系性状平均值为对照,综合评选出3个优良的少絮美洲黑杨无性系92、121和260;由于第一主成分中的少絮性状对无性系的选择来说是负影响因子,因此,这个主成分的得分越小对无性系的选择越有利。此外,由于单株杨絮量与胸径呈显著正相关关系,导致胸径与单株杨絮量在主成分I特征向量中均有较大的正系数,因此,在选择少絮品种的同时,可能意味着胸径的下降;所以,在选择时不能盲目选择主成分I中得分小的无性系,而应根据育种目标来确定适宜主成分分值的无性系,综合选出最优的无性系。

#### 参考文献:

- [1] 马 骏. 美洲黑杨引种及其栽培管理[J]. 云南林业, 2012, 33(3):62-63.
- [2] 王建红, 车少臣, 邵金丽, 等. 北京杨柳飞絮治理现状、问题与展望[J]. 北京园林, 2011, 27(1):48-50.
- [3] Hu Y Q, Ferguson D K, Bera S, et al. Seed hairs of poplar trees as natural airborne pollen trap for allergenic pollen grains[J]. Grana, 2008, 47(3):241-245.
- [4] 方炎明. 植物生殖生态学[M]. 济南: 山东大学出版社, 1996.
- [5] 苏智先, 张素兰. 植物生殖生态学研究进展[J]. 生态学杂志, 1998, 17(1):39-46.
- [6] Delph, L F. Factors affecting intraplant variation in flowering and fruiting in the gynodioecious species *Hebe subalpina*[J]. Ecology, 1993, 81(2):287-296.
- [7] Smith-Ramirez C, Armesto J J. Flowering and fruiting pattern in the rain forest of Chiloe, Chile-ecologies and climatic constraints[J]. Ecology, 1994, 82(2):353-365.
- [8] Sork V L, Bramble J, Sexton O. Ecology of mast-fruiting in three species of North American deciduous oaks[J]. Ecology, 1993, 74(2):528-541.
- [9] Sutherland S. Patterns of fruit-Set: what controls fruit-flower ratios in plants[J]. Evolution, 1986, 40(1):117-128.
- [10] Cox P A. Vertebrate pollination and the maintenance of dioecism in *Freyinetia*[J]. The American Naturalist, 1982, 120(1):65-80.
- [11] 李志军, 刘建平, 周正立, 等. 胡杨、灰叶胡杨花空间分布及数量特征研究[J]. 植物研究, 2004, 24(3):278-283.
- [12] 魏玉玲, 闫玉信, 王建华, 等. 美洲黑杨杂交新品种选育研究与推广[J]. 河南林业科技, 2005, 25(1):8-10.
- [13] 黄国伟, 苏晓华, 黄秦军. 美洲黑杨不同生长势无性系生长和生理特征的差异[J]. 林业科学, 2012, 48(4):27-34.
- [14] 李文文, 黄秦军, 丁昌俊. 南方型和北方型美洲黑杨幼苗光合作用的日季节变化[J]. 林业科学研究, 2010, 23(2):227-233.
- [15] 胡建军, 卢孟柱, 赵自成, 等. 杨树良种“南杨”[J]. 林业科学, 2013, 49(7):188.
- [16] 张春玲, 李淑梅, 赵自成, 等. 杨树新品种“丹红杨”[J]. 林业科学, 2008, 44(1):169.
- [17] 续九如. 重复力及其在树木育种中的应用[J]. 北京林业大学学报, 1988, 12(10):97-101.
- [18] 余养福. 杉木优良无性系选择研究[J]. 林业勘察设计(福建), 2005(2):77-80.
- [19] 王 建, 魏 刚, 刘昌迎, 等. 银杏枝、花、种子在树冠上的分布格局及其相互关系研究[J]. 应用生态学报, 2000, 11(2):185-189.
- [20] 祖元刚, 毛子军, 袁晓颖, 等. 白桦的开花时间及生殖构件的数量与树龄和树冠层次的关系[J]. 生态学报, 2000, 20(4):673-677.
- [21] 何 浩, 戴 欢. 杨树多层次遗传变异研究[J]. 北京农业, 2012(6):165-166.
- [22] 毛爱华. 河南郑县侧柏种源、家系及无性系遗传变异与选择[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [23] 肖新华, 张云跃, 刘佳强, 等. 银杏种源、家系、无性系选择研究[J]. 经济林研究, 2002, 20(2):1-8.
- [24] 张红磊, 丰 震, 郭先锋, 等. 牡丹花期的重复力与遗传相关分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(14):243-246.
- [25] 郭宝林, 杨俊霞, 李永慈, 等. 主成分分析法在仁用杏品种主要经济性状选种上的应用研究[J]. 林业科学, 2000, 36(6):53-56.
- [26] 张志达. 中国竹林培育[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998:1-44.
- [27] 周芳纯. 竹林培育学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998.
- [28] 孙 垟, 肖千文, 黄丽媛, 等. 核桃单株经济性状的主成分分析[J]. 四川农业大学学报, 2011, 29(2):185-190.