



中国传统大菊叶片形态的数量化定义与分类

宋雪彬^{1,2}, 高康¹, 黄河¹, 刘芷兰¹, 戴思兰^{1*}, 嵇琰¹

¹北京市林木分子设计育种高精尖创新中心; 北京林业大学园林学院, 国家花卉工程技术研究中心, 花卉种质创新与分子育种北京市重点实验室, 城乡生态环境北京实验室, 北京 100083; ²青岛农业大学园林与林学院, 青岛 266109

摘要 中国传统大菊品种叶片形态变异丰富, 然而至今仍未对其进行科学的定义和分类, 无法有效利用这些形态性状进行品种鉴定和叶形遗传解析。利用数量化分析方法对植物形态进行定义和分类, 是植物性状遗传解析的前提。对436个中国传统大菊品种的24个叶形性状进行重新定义及观测, 通过相关性分析确定了8个相对独立的性状, 用变异系数及主成分分析等数量化分析方法筛选出叶长/叶宽、叶片最宽处所在位置/叶长、右下裂片长/右下叶脉长、右下裂片长/右下裂片宽及叶柄长/全叶长5个相对独立且关键的叶部性状。利用这5个性状, 通过Q聚类分析, 最终将菊花(*Chrysanthemum* × *morifolium*)叶片分为16种叶型。研究结果为菊花品种鉴定提供了有效的叶部评价标准, 并建立了中国传统菊花品种叶片数量化定义和分类体系, 也为观赏植物复杂性状的解析提供了新方法。

关键词 中国传统大菊, 叶片形态, 形态特征, 数量化定义, 分类

宋雪彬, 高康, 黄河, 刘芷兰, 戴思兰, 嵇琰 (2021). 中国传统大菊叶片形态的数量化定义与分类. 植物学报 56, 10–24.

菊花(*Chrysanthemum* × *morifolium*)是起源于中国的世界名花, 具有悠久的栽培历史和庞大的品种群。菊花品种的丰富性在于其表型形态的多样, 对复杂表型形态进行科学的定义及分类不仅是菊花品种精确识别和鉴定的首要条件(雒新艳和戴思兰, 2010; 洪艳等, 2012; Song et al., 2018a), 也为其它栽培植物的复杂性状遗传解析提供参考。

叶片是植物必不可少的器官, 其形状常因叶缘、叶基、叶尖、叶裂片和叶脉的差异而表现出多样性, 根据叶片形态特征可以判断植物的种类归属及生长状况等(Klingenberg, 2010; 张宁和刘文萍, 2011; Khadivi-Khub et al., 2012; 唐俊等, 2014; 王丽君等, 2015)。研究表明, 叶片形态的科学定义对于阐明物种的分类关系至关重要, 尤其是在亲缘关系较近的类群中, 精确识别叶片形态对植物分类研究和指导农林业生产具有重要意义(Chatrou, 1997; 祁栋灵等, 2005; 张诚, 2006; 黄文娟等, 2010; 左力辉等, 2015; 刘文啟等, 2015; 何江, 2017; Min et al., 2018)。菊科植物的叶片在种间和种下的形态变异均

极为丰富(李晓兰等, 2005; 何文奇, 2012; 镇兰萍, 2013; 高永华, 2014; 樊光迅等, 2016), 对其叶片进行准确的定义和分类是识别和鉴定菊科植物的重要依据。虽然叶片受环境影响存在变异, 但每种植物都有其相对稳定的叶部特征, 掌握其变异的幅度及规律是识别和鉴定植物的基础(McLellan, 2000; 朱静等, 2005; 陈模舜等, 2018)。

近年来, 植物叶片的精确分类逐渐受到关注。研究者通过图像识别技术对叶片各种特征进行识别鉴定, 包括叶片的形状、纹理和颜色等(傅弘等, 2004; Chaki and Parekh, 2011; Mallah et al., 2013; da Silva et al., 2015), 并利用这些数据成功地对一些植物进行分类和鉴定。但是多数研究未涉及种下分类单位(如品种), 且处理样本数量较少, 已建立的分析方法不适用于形态变异更为丰富的品种类群。形态性状变化是种下变异最直观的表现, 形态学水平的研究是最基本也是最重要的方法(许莹修, 2005)。在传统形态观测的基础上, 利用数量化分析方法, 可对栽培植物重要性状进行有效识别(赵冰等, 2007; 楚爱香等,

收稿日期: 2020-02-02; 接受日期: 2020-11-11

基金项目: 北京市科技计划(No.Z191100008519002)、国家自然科学基金(No.31530064)和国家重点研发计划(No.2018YFD1000405)

* 通讯作者。E-mail: silandai@sina.com

2009; 陈旭波等, 2012; 高鹤等, 2015; 徐静静等, 2017; Song et al., 2018a)。在菊花的分类研究中, 利用数量分类学方法可较大幅度地克服传统形态分类主观性强的不足, 同时降低了某些关键性状的误差对分类带来的影响, 使得结果可以重复检验, 更加科学准确(许莹修, 2005; 刘倩倩, 2007; 雒新艳和戴思兰, 2010; 张轶, 2014; 张蒙蒙等, 2014)。

在不同的菊花类群中, 中国传统菊花品种是变异类型最为丰富的一种(张莉俊和戴思兰, 2009; 张树林和戴思兰, 2013), 其叶片具有丰富的形态, 在观赏和鉴定中起到重要的辅助作用(刘倩倩, 2007; 李娜娜, 2012; 王江民等, 2013; 沈凤等, 2018; Gao et al., 2020)。近年来, 研究者对菊花的花色及舌状花形态进行了分类研究(Dejong and Drennan, 1984; 洪艳等, 2012; Zhang et al., 2014; Song et al., 2018b), 但对叶部特征的研究仍然较少。王江民等(2013)利用6个叶片定性分级性状及叶长宽比、尖削度、裂片长宽比和裂片开张度等14个叶形结构参数对40个切花菊品种进行了有效鉴别, 但未对叶片的形态进行分类。薛守纪(2004)将这一品种群的叶片分为正叶、深裂正叶、长叶、深裂长叶、圆叶、蓬叶、葵叶、反转叶、柄附叶和锯齿叶10种类型, 但均为简单的定性描述, 没有进行标准化和规范化处理, 无法覆盖所有的叶片类型。近10年来, 菊花品种叶形分类一直依据菊花DUS测试指南进行, 但该标准仅包含叶长和叶宽等几个简单性状, 对叶裂片数量和叶裂深度等多个叶部性状并未做出明确定义。因此, 对菊花品种叶部性状进行数量化定义和分类, 可为菊花品种的有效鉴定和数据库的建立提供重要依据, 也为观赏植物复杂性状的解析提供新的方法。

本研究对436个中国传统大菊品种的24个叶部形态性状进行了观测和定义, 结合概率分级和多元统计分析对中国传统大菊品种叶片形态进行数量化分类研究, 旨在基于数量分类学方法建立一套中国传统大菊品种叶片形态的标准化分类体系, 并为菊花品种及其它植物叶片形态的标准化和规范化分类提供参考。

1 材料与方法

1.1 实验材料

前期对保存于北京林业大学菊花种质资源圃(北京市

大东流苗圃)中的800余个中国传统大菊品种进行连续10年的观测, 基于《植物新品种特异性、一致性和稳定性的测试指南——菊花》(中华人民共和国农业农村部, 2018)获得了其中735个品种连续5年的形态学观测数据。本研究以尽可能覆盖菊花(*Chrysanthemum* × *morifolium* Ramat.)品种不同叶片形态为原则, 从中筛选出叶形稳定的436个品种作为实验材料(附表1, 附表2)。每个品种选取3个生长状态良好的单株, 于盛花期统一采集顶叶下的第10片叶进行测量(李仁伟等, 2012)。使用HP LaserJet 1536dnf MFP对新鲜叶片的形态进行扫描, 分辨率为300 dpi, 图像保存格式为jpg。

1.2 叶片形态性状的选取和测量

本研究依据植物学研究中叶片形态性状的描述方法(陆时万等, 1991), 将中国传统大菊品种叶片分为叶片基本形态、叶裂片形态、叶基形态、叶缘形态和叶柄形态5部分进行定义和测量。利用图像测量分析软件电子尺 1.16 (<http://www.bseas.com/sm/ruler/index.htm>)测量叶片的各个性状。测量性状(图1)如下: (1) 叶片基本形态, 包括叶长、叶宽和叶片最宽处所在位置; (2) 叶裂片形态, 包括叶脉长(4个侧叶脉, 用从T点到B点之间的距离TB表示)、叶脉角度(4个侧叶脉和主叶脉之间的夹角, 用 α 和 β 表示)、裂片长(顶裂片长及4个侧裂片长, 用TM表示)和裂片宽(顶裂片宽及4个侧裂片宽); (3) 叶基形态, 包括楔形、平截、圆形、心形和不对称(《菊花DUS测试指南》); (4) 叶缘形态, 包括锐尖、尖和圆钝; (5) 叶柄形态, 主要为叶柄长。共计24个性状(表1)。相比叶长和叶宽, 叶长/叶宽(即叶形指数)是划分叶片基本形态类型的重要指标, 据此将表中18个可以直接观测到的数量性状(C1–C17, C22)进一步转化为13个叶形结构参数(C25–C37), 作为本研究中用于菊花整体叶片形态分类的关键性状。对于描述叶脉角度的4个性状(C18–C21)和2个定性分级性状(C23和C24)均不做任何处理(表1)。

1.3 数据分析

1.3.1 表型性状在品种内一致性和品种间差异性分析

叶部表型性状须在品种内保持严格一致, 同时在不同品种间表现出足够大的差异, 才可以作为叶片分类的依据。二态性状和多态性状的一致性和差异性用众数

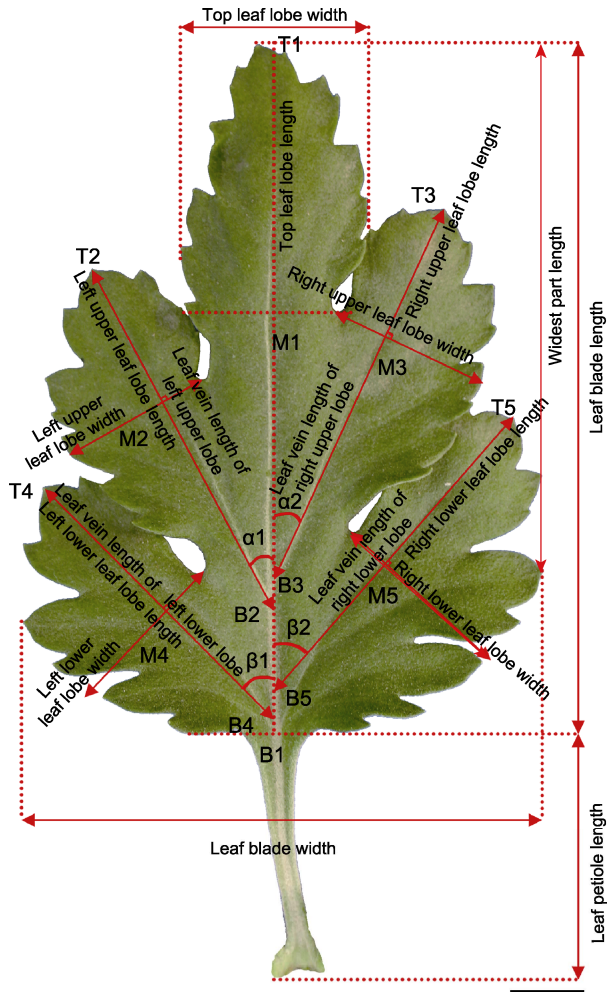


图1 中国传统大菊品种叶部数量性状测量方法示意图
T₁B₁表示叶长(从T₁到B₁之间的距离, 其它长度性状以同样的方法描述); T₁M₁表示顶裂片长; T₂B₂表示左上叶脉长; T₄B₄表示左下叶脉长; T₃B₃表示右上叶脉长; T₅B₅表示右下叶脉长; T₂M₂表示左上裂片长; T₄M₄表示左下裂片长; T₃M₃表示右上裂片长; T₅M₅表示右下裂片长。叶宽和叶片最宽处所在位置的测量方法如图所示, 其它的宽度性状以同样的方法描述, 包括顶裂片宽、左上裂片宽、左下裂片宽、右上裂片宽、右下裂片宽。 α_1 和 α_2 分别代表左上叶脉角度和右上叶脉角度, β_1 和 β_2 分别代表左下叶脉角度和右下叶脉角度。叶柄长的测量方法如图所示。
Bar=1 cm

Figure 1 Schematic diagram of quantitative trait measurement for the leaves of large-flowered Chinese chrysanthemum cultivars
T₁B₁ indicates leaf blade length (the distance from T₁ to B₁, other length traits are described in the same way); T₁M₁ indicates top leaf lobe length; T₂B₂ indicates leaf vein length of left upper lobe; T₄B₄ indicates leaf vein length of left lower lobe; T₃B₃ indicates leaf vein length of right upper lobe; T₅B₅ indicates leaf vein length of right lower lobe; T₂M₂ indicates left upper leaf lobe length; T₄M₄ indicates left lower leaf lobe

length; T₃M₃ indicates right upper leaf lobe length; T₅M₅ indicates right lower leaf lobe length. The measurement method of the leaf blade width and the widest part length is shown in the figure; other width traits are described in the same way, including top leaf lobe width, left upper leaf lobe width, left lower leaf lobe width, right upper leaf lobe width, right lower leaf lobe width. α_1 and α_2 indicate angle of leaf vein in the left upper lobe and the right upper lobe, respectively, β_1 and β_2 indicate angle of leaf vein in the left lower lobe, and the right lower lobe, respectively. The measurement method of leaf petiole length is shown in figure. Bar=1 cm

表1 菊花叶部性状及其测量方法
Table 1 Morphological traits of chrysanthemum leaf and their measuring methods

Trait No.	Traits and measuring methods
C1	Leaf blade length (T ₁ B ₁)
C2	Leaf blade width
C3	Widest part length (the length from the leaf apex to the widest part of the leaf blade)
C4	Leaf vein length of left upper lobe (T ₂ B ₂)
C5	Leaf vein length of right upper lobe (T ₃ B ₃)
C6	Leaf vein length of left lower lobe (T ₄ B ₄)
C7	Leaf vein length of right lower lobe (T ₅ B ₅)
C8	Top leaf lobe length (T ₁ M ₁)
C9	Left upper leaf lobe length (T ₂ M ₂)
C10	Right upper leaf lobe length (T ₃ M ₃)
C11	Left lower leaf lobe length (T ₄ M ₄)
C12	Right lower leaf lobe length (T ₅ M ₅)
C13	Top leaf lobe width
C14	Left upper leaf lobe width
C15	Right upper leaf lobe width
C16	Left lower leaf lobe width
C17	Right lower leaf lobe width
C18	Angle of leaf vein in the left upper lobe (α_1)
C19	Angle of leaf vein in the right upper lobe (α_2)
C20	Angle of leaf vein in the left lower lobe (β_1)
C21	Angle of leaf vein in the right lower lobe (β_2)
C22	Leaf petiole length
C23	Leaf base shape
C24	Leaf margin shape

频数表示, 数值型性状的一致性和差异性主要用变异系数(coefficient variation, CV)表示, 其计算分析方法详见雒新艳和戴思兰(2010)。

1.3.2 相关性和主成分分析

利用IBM SPSS Statistics 20.0 软件对性状进行Pearson相关性分析, 讨论不同性状之间的相关性。利用IBM SPSS Statistics 20.0对性状进行主成分分析(principal component analysis, PCA), 采用最大

方差法(vari-max)对因子进行旋转, 然后根据Kaiser准则(特征根>1)提取主成分。

1.3.3 聚类判别分析

从436个菊花品种中随机选取316个品种(附表1), 利用聚类分析(组内类平均, 欧式平方距离)建立叶片形态分类体系。基于该分类模型建立相应的判别分析模型, 利用其余120个品种(附表2)验证该分类体系的合理性和准确性。以上分析均使用IBM SPSS Statistics 20.0软件。

1.3.4 数量性状的分级分析

利用非参数检验中的科尔莫哥洛夫-斯米诺夫(K-S)法检验各数量性状是否符合正态分布。对于符合正态分布的性状, 参照刘孟军(1996)的概率分级方法进行分级, 分为4点5级, 包括 $(\bar{X} - 1.2818 \times S)$ 、 $(\bar{X} - 0.5246 \times S)$ 和 $(\bar{X} - 0.5246 \times S)$ 、 $(\bar{X} - 1.2818 \times S)$, S为标准差, \bar{X} 为样本均值。

2 结果与讨论

2.1 数量化定义及分类指标的确定

2.1.1 叶形结构参数

将C1–C17及C22这18个数量性状指标进一步转化为13个叶形结构参数: 叶长/叶宽(C25)、叶片最宽处所在位置/叶片长(C26)、顶裂片长/叶长(C27)、左上裂片长/左上叶脉长(C28)、右上裂片长/右上叶脉长(C29)、左下裂片长/左下叶脉长(C30)、右下裂片长/右下叶脉长(C31)、顶裂片长/顶裂片宽(C32)、左上裂片长/左上裂片宽(C33)、右上裂片长/右上裂片宽(C34)、左下裂片长/左下裂片宽(C35)、右下裂片长/右下裂片宽(C36)和叶柄长/全叶长(C37)。其它6个性状中, C18–C21主要用于描述叶片的开张程度, C23和C24是定性分级性状, 用于描述叶基和叶缘形态, 不做进一步的参数化处理。

2.1.2 叶片性状在品种内的一致性和在品种间的差异性

变异系数分析表明, 13个叶形结构参数性状(C25–C37)和4个叶脉角度性状(C18–C21)在品种内的变异系数均小于15%, 表明这些性状在品种内具有较高的一致性; 在品种间的变异系数为13.32%–34.29%,

说明这些性状在品种间差异显著(表2)。C23和C24两个多态性状在品种内一致性高(均为100%), 在品种间差异显著(分别为40.41%和37.70%), 可用于菊花

表2 菊花叶部性状的描述性统计
Table 2 Descriptive statistics of traits of chrysanthemum leaf

Trait No.	Mean square	Standard deviation	Intravarietal coefficient variation (%)	Intervarietal coefficient variation (%)	P-value (intervarietal)
C18	33.43	7.12	14.26	21.29	0.000
C19	33.60	7.07	13.76	21.03	0.000
C20	45.49	11.35	15.55	24.94	0.000
C21	46.46	11.12	14.89	23.94	0.000
C22	3.85	1.16	11.34	29.99	0.000
C25	1.32	0.18	4.23	13.32	0.000
C26	0.68	0.09	7.56	13.70	0.000
C27	0.35	0.10	12.61	27.56	0.000
C28	0.31	0.10	14.64	33.27	0.000
C29	0.32	0.10	13.95	32.97	0.000
C30	0.46	0.13	11.44	27.96	0.000
C31	0.45	0.13	11.83	28.47	0.000
C32	1.36	0.40	13.03	29.39	0.000
C33	0.76	0.26	11.33	33.94	0.000
C34	0.78	0.27	11.34	34.29	0.000
C35	1.01	0.33	9.73	32.84	0.000
C36	0.98	0.32	9.43	32.67	0.000
C37	0.25	0.05	8.89	21.34	0.000

C18–C22同表1。C25: 叶长/叶宽; C26: 叶片最宽处所在位置/叶片长; C27: 顶裂片长/叶长; C28: 左上裂片长/左上叶脉长; C29: 右上裂片长/右上叶脉长; C30: 左下裂片长/左下叶脉长; C31: 右下裂片长/右下叶脉长; C32: 顶裂片长/顶裂片宽; C33: 左上裂片长/左上裂片宽; C34: 右上裂片长/右上裂片宽; C35: 左下裂片长/左下裂片宽; C36: 右下裂片长/右下裂片宽; C37: 叶柄长/全叶长

C18–C22 are the same as Table 1. C25: Leaf blade length/leaf blade width; C26: Widest part length/leaf blade length; C27: Top leaf lobe length/leaf blade length; C28: Left upper leaf lobe length/leaf vein length of left upper lobe; C29: Right upper leaf lobe length/leaf vein length of right upper lobe; C30: Left lower leaf lobe length/leaf vein length of left lower lobe; C31: Right lower leaf lobe length/leaf vein length of right lower lobe; C32: Top leaf lobe length/top leaf lobe width; C33: Left upper leaf lobe length/left upper leaf lobe width; C34: Right upper leaf lobe length/right upper leaf lobe width; C35: Left lower leaf lobe length/left lower leaf lobe width; C36: Right lower leaf lobe length/right lower leaf lobe width; C37: Leaf petiole length/leaf blade length

品种分类。因此，以上性状均可用于后续分析。

通过比较13个叶形结构参数在品种间的变异系数，我们发现，裂片长/裂片宽>裂片长/叶脉长>叶柄长/全叶长>叶片最宽处所在位置/叶长>叶长/叶宽(表2)。由此可知，叶裂片的形态变异更为丰富，适合作为中国传统菊花品种分类的标准。

2.1.3 相关性分析

Pearson相关性分析结果表明，顶裂片和4个侧裂片之间的各性状均极显著相关，相关系数范围为0.323–0.792(表3)。左侧叶裂片和右侧叶裂片之间的各性状也均极显著相关，相关系数均大于0.540。由此可知，菊花叶片形状近似于左右对称。上侧叶裂片和下侧叶裂片之间的各性状也均极显著相关，相关系数范围为0.337–0.689(表3)。综上所述，菊花所有叶裂片各性状之间的相关性均极显著，后期计算分析可选

择其中一个叶裂片作为代表。上述变异系数(品种内)分析表明，下侧叶裂片各性状的变异系数更低，在品种内的稳定性更好。因此，本研究主要以右下叶裂片为代表，进行菊花品种叶片的分类。

根据叶片性状差异分析结果，我们筛选出8个叶部性状用于中国传统大菊品种叶片分类，分别为右下叶脉角度(C21)、叶基形状(C23)、叶缘形状(C24)、叶长/叶宽(C25)、叶片最宽处所在位置/叶长(C26)、右下裂片长/右下叶脉长(C31)、右下裂片长/右下裂片宽(C36)及叶柄长/全叶长(C37)。对8个性状进行Pearson相关性分析，结果表明，除了叶缘形状与右下裂片长/右下裂片宽的相关系数为–0.334，右下裂片长/右下叶脉长与右下裂片长/右下裂片宽的相关系数为0.782外，其它各性状间的相关系数均小于0.3(表4)。这8个性状之间虽具有相关性，但相关性较低，且多数呈负相关，说明这8个性状较为独立，适用于菊花

表3 菊花叶部顶裂片和4个侧裂片各性状之间的相关性分析

Table 3 Pearson analysis of traits between top lobe and four lateral lobes of chrysanthemum leaf

Traits	Left upper and right upper	Left lower and right lower	Left upper and left lower	Right upper and right lower	Left upper and top lobe	Right upper and top lobe	Left lower and top lobe	Right lower and top lobe
Leaf vein length (cm)	0.851**	0.889**	0.656**	0.689**	0.729**	0.746**	0.784**	0.792**
Leaf lobe length (cm)	0.794*	0.846**	0.537**	0.502**	0.722**	0.712**	0.543**	0.534**
Leaf lobe width (cm)	0.821**	0.833**	0.579**	0.560**	0.763**	0.718**	0.369**	0.363**
Leaf lobe length/leaf vein length	0.696**	0.789**	0.338**	0.358**	0.375**	0.400**	0.420**	0.408**
Leaf lobe length/leaf lobe width	0.676**	0.744**	0.372**	0.424**	0.521**	0.428**	0.323**	0.468**
Angle of leaf vein	0.540**	0.621**	0.436**	0.337**	–	–	–	–

–: 无。顶裂片对应的叶脉长即为叶长。* $P<0.05$; ** $P<0.01$

–: None. The top lobe corresponding leaf vein length is the leaf length. * $P<0.05$; ** $P<0.01$

表4 中国传统大菊品种叶部8个重要性状的相关性分析

Table 4 Pearson analysis of 8 important leaf traits of large-flowered Chinese chrysanthemum cultivars

	C21	C23	C24	C25	C26	C31	C36	C37
C21	1							
C23	0.122*	1						
C24	0.087	0.132**	1					
C25	–0.185**	–0.156**	–0.230**	1				
C26	–0.005	0.194**	0.051	–0.203**	1			
C31	–0.007	0.083	–0.264**	–0.008	0.226**	1		
C36	–0.053	–0.069	–0.334**	0.120*	0.051	0.782**	1	
C37	–0.190**	–0.144**	–0.148**	–0.170**	–0.178**	–0.084	0.020	1

C21、C23和C24同表1; C25、C26、C31、C36和C37同表2。* $P<0.05$; ** $P<0.01$

C21, C23 and C24 are the same as Table 1; C25, C26, C31, C36 and C37 are the same as Table 2. * $P<0.05$; ** $P<0.01$

品种叶片的分类分析。

2.1.4 主成分分析

对436个中国传统大菊品种的8个性状(C21、C23、C24、C25、C26、C31、C36和C37)进行主成分分析, 结果表明前3个主成分的累积贡献率为59.29% (>50%), 其中第1主成分的贡献率为25.19%, 特征向量绝对值较大的为右下裂片长/右下叶脉长和右下裂片长/右下裂片宽, 其特征值均大于0.85; 第2主成分的贡献率为20.05%, 特征向量绝对值较大的为叶片最宽处所在位置/叶长, 其特征值均大于0.65; 第3主成分的贡献率为13.99%, 特征向量绝对值较大的为叶长/叶宽和叶柄长/全叶长, 其特征值均大于0.70 (表5)。因此, 我们选择右下裂片长/右下叶脉长、右下裂片长/右下裂片宽、叶长/叶宽、叶片最宽处所在位置/叶长及叶柄长/全叶长5个性状作为中国传统大菊品种叶片形态分类的关键性状。

为了进一步探讨上述5个性状(C25、C26、C31、C36和C37)的实际意义, 我们对这5个性状进行主成分分析。结果表明, 前3个主成分的累积贡献率为83.65%。其中, 第1主成分的贡献率为37.04%, 特征向量绝对值较大的为右下裂片长/右下叶脉长和右下裂片长/右下裂片宽, 由此可知, 第1主成分主要代表叶裂片形态; 第2主成分的贡献率为24.64%, 特征向量绝对值较大的为叶长/叶宽和叶片最宽处所在位置/

叶长, 由此可知, 第2主成分主要代表叶片基本形态; 第3主成分的贡献率为21.97%, 特征向量绝对值较大的为叶柄长/全叶长, 由此可知, 第3主成分主要代表叶柄性状。前2个主成分的累积贡献率(61.68%)大于50% (表5)。由此可知, 叶裂片形态和叶片基本形态对中国传统大菊品种叶片形态的分类尤为重要。本研究将叶柄长度作为叶片分类的辅助因子, 即在根据叶片基本形态和叶裂片形态无法区分的情况下, 可根据叶柄长度进行分类。

2.2 中国传统大菊叶片形态的数量化分类

基于上述5个叶部性状(C25、C26、C31、C36和C37), 我们从436个菊花品种中随机选取316个品种对中国传统大菊品种的不同叶片形态进行聚类分析。

2.2.1 叶片基本形态的分类

叶片基本形态是由叶片的长宽比和最宽处的位置决定(陆时万等, 1991)。因此, 我们基于叶长/叶宽和最宽处所在位置/叶长2个性状对316个中国传统大菊品种进行Q聚类分析。结果表明, 在等级分界线为10处绘制跳变线(虚线), 可将316个品种的叶片基本形态分为4类(图2A-D), 对每一类的叶长/叶宽和最宽处所在位置/叶长的分布范围进行分析, 最终得出A类的叶长/叶宽范围为1.40–1.70, 最宽处所在位置/叶长范围为0.55–0.80; B类的叶长/叶宽为1.40–1.80, 最宽

表5 中国传统大菊品种叶部性状的主成分分析

Table 5 Principle component analysis of leaf traits of large-flowered Chinese chrysanthemum cultivars

Traits No.	Principal component			Principal component		
	1	2	3	1	2	3
C21	-0.193	0.426	0.025	-	-	-
C23	-0.071	0.489	-0.206	-	-	-
C24	-0.573	0.404	-0.013	-	-	-
C25	0.256	-0.495	-0.717	0.054	0.734	-0.514
C26	0.197	0.656	0.087	0.407	-0.736	-0.156
C31	0.863	0.336	0.085	0.938	0.032	0.100
C36	0.892	0.066	0.079	0.879	0.308	0.172
C37	0.008	-0.476	0.736	-0.175	0.234	0.878
Total	2.015	1.604	1.119	1.852	1.232	1.099
Contribution rate (%)	25.19	20.05	13.99	37.04	24.64	21.97
Cumulative (%)	25.19	45.24	59.23	37.04	61.68	83.65

-: 无。C21、C23和C24同表1; C25、C26、C31、C36和C37同表2。

-: None. C21, C23 and C24 are the same as Table 1; C25, C26, C31, C36, and C37 are the same as Table 2.

处所在位置/叶长为0.40–0.55; C类的叶长/叶宽为1.25–1.40, 最宽处所在位置/叶长为0.50–0.90; D类的叶长/叶宽为0.80–1.25, 最宽处所在位置/叶长为0.40–0.90。结合叶片的植物学描述, 可知菊花叶片属于卵形, 依据叶长/叶宽的分类结果可将其分为广卵形(0.80–1.25)、卵形(1.25–1.40)和长卵形(>1.40) (图3A)。根据最宽处所在位置/叶长的分类结果可将其分为卵形(>0.55)和倒卵形(≤ 0.55) (图3B)。综上, 316个菊花品种叶片基本形态可分成4类, A类为长卵形, B类为倒长卵形, C类为卵形, D类为广卵形。

2.2.2 叶裂片形态的分类

由主成分分析可知, 叶裂片形态主要由裂片长/叶脉长和裂片长/裂片宽2个性状决定, 因此, 基于这2个性状我们对316个中国传统大菊品种进行Q聚类。结果表明, 在等级分界线为10处绘制跳变线(虚线), 将316个品种的叶裂片形态分为4类(图4)。对每类叶裂片长/叶脉长和叶裂片长/裂片宽的分布范围进行分析, 最终得出A类的叶裂片长/叶脉长范围为0.30–0.50, 叶裂片长/裂片宽范围为0.60–1.00; B类的叶裂片长/叶脉长范围为0.15–0.30, 叶裂片长/裂片宽为0.40–0.80; C类的叶裂片长/叶脉长范围为0.50–0.80, 叶裂片长/裂片宽>1.50; D类的叶裂片长/叶脉长范围为0.50–0.70, 叶裂片长/裂片宽为1.00–1.50。根据叶裂片长/叶脉长的分布, 可将叶裂片的裂刻深分为浅裂(0.15–0.30)、中裂(0.30–0.50)和深裂(>0.50) (图5A); 根据叶裂片长/裂片宽的分布, 将叶裂片大小分为宽裂片(0.40–1.00)、中裂片(1.00–1.50)和浅裂片(>1.50) (图5B)。综上, 316个菊花品种的叶裂片形态可分成4类, A类叶片裂刻深度为中裂, 叶裂片大小为宽裂片; B类叶片裂刻深度为浅裂, 叶裂片大小为宽裂片; C类叶片裂刻深度为深裂, 叶裂片大小为窄裂片; D类叶片裂刻深度为深裂, 叶裂片大小为中裂片。

2.2.3 叶柄长度的分类

主成分分析表明, 叶柄长度可作为叶片分类的辅助因子。本研究中的叶柄性状仅有1个, 即叶柄长/全叶长(符合正态分布), 利用概率分级的方法对其进行分级分类。将叶柄长/全叶长分为4点5级, 4个分级点分别为0.19、0.23、0.28和0.31, 为便于记录, 可将这4个分级点进行四舍五入处理, 分别变为0.20、0.20、

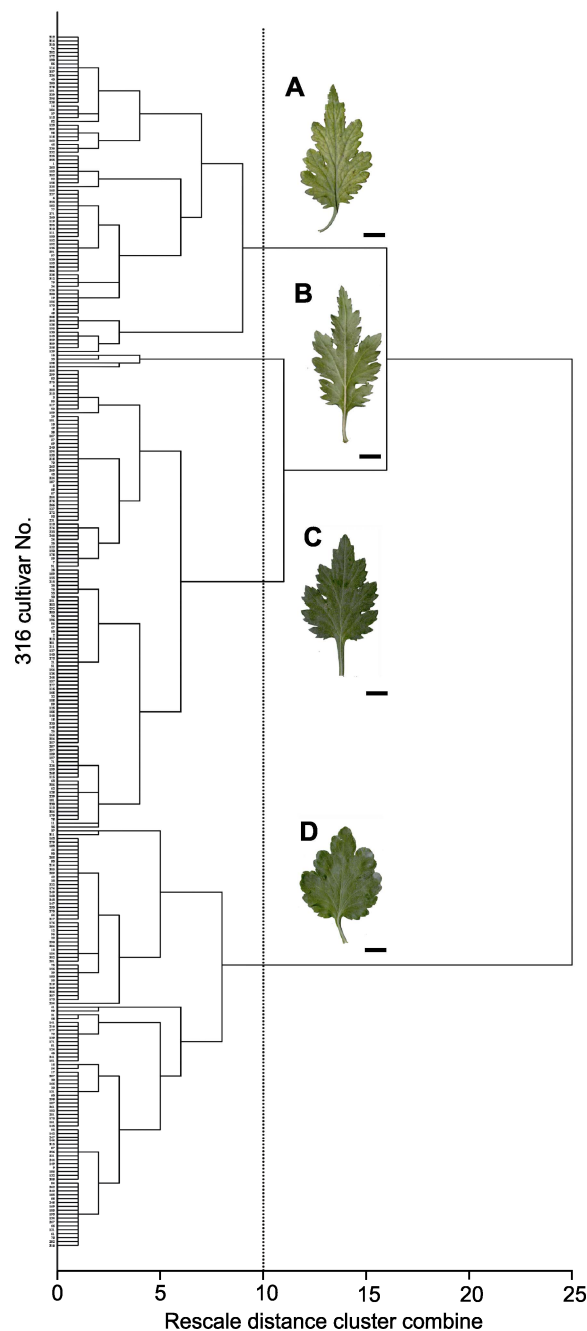


图2 中国传统大菊品种叶片基本形态的Q聚类
(A) 长卵形; (B) 倒长卵形; (C) 卵形; (D) 广卵形。Bars=1 cm

Figure 2 Q cluster of the leaf basic shape of large-flowered Chinese chrysanthemum cultivars
(A) Long ovate; (B) Oblong ovate; (C) Ovate; (D) Broad ovate. Bars=1 cm

0.30和0.30, 即这4点5级可分为2点3级。由此可知, 菊花叶柄性状可分为3类: 第1类为短叶柄型, 其叶柄长/全叶长为0–0.2; 第2类为中叶柄型, 其叶柄长/

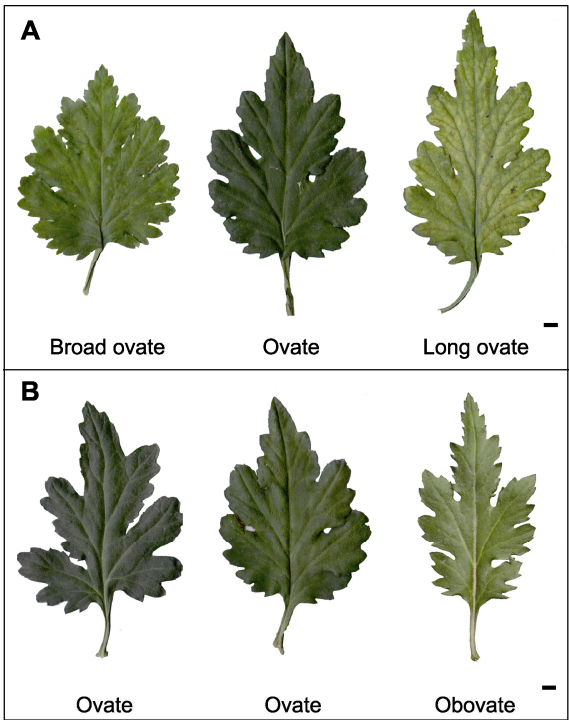


图3 中国传统大菊品种叶片基本形态类型
(A) 叶长/叶宽的不同类型; (B) 最宽处所在位置/叶长的不同类型。Bars=0.5 mm

Figure 3 The different types of leaf basic shape of large-flowered Chinese chrysanthemum cultivars
(A) Different types of leaf blade length/leaf blade width; (B) Different types of widest part length/leaf blade length. Bars=0.5 mm

全叶长为0.2–0.3; 第3类为长叶柄型, 其叶柄长/全叶长为>0.3。

2.2.4 中国传统大菊品种叶片分类体系的建立

综上所述, 316个中国传统大菊品种的叶片基本形态分为4类, 叶裂片形态也分为4类, 叶柄分为3类。采用二级分类方法, 第1级为叶片基本形态, 第2级为叶裂片形态(叶柄性状仅作为辅助性状), 可将中国传统大菊品种的叶片形态分为16种叶型。基于以上叶片分类体系, 我们对316个中国传统大菊品种的叶片形态进行分类, 发现所有品种叶片形态均可归类于这16类中的15种叶型中(表6; 图6)。

2.3 分类模型的判别分析

根据上述分类结果建立叶片基本形态、叶裂片、叶柄和叶片类型(叶型)的判别分析模型, 将剩余的120个

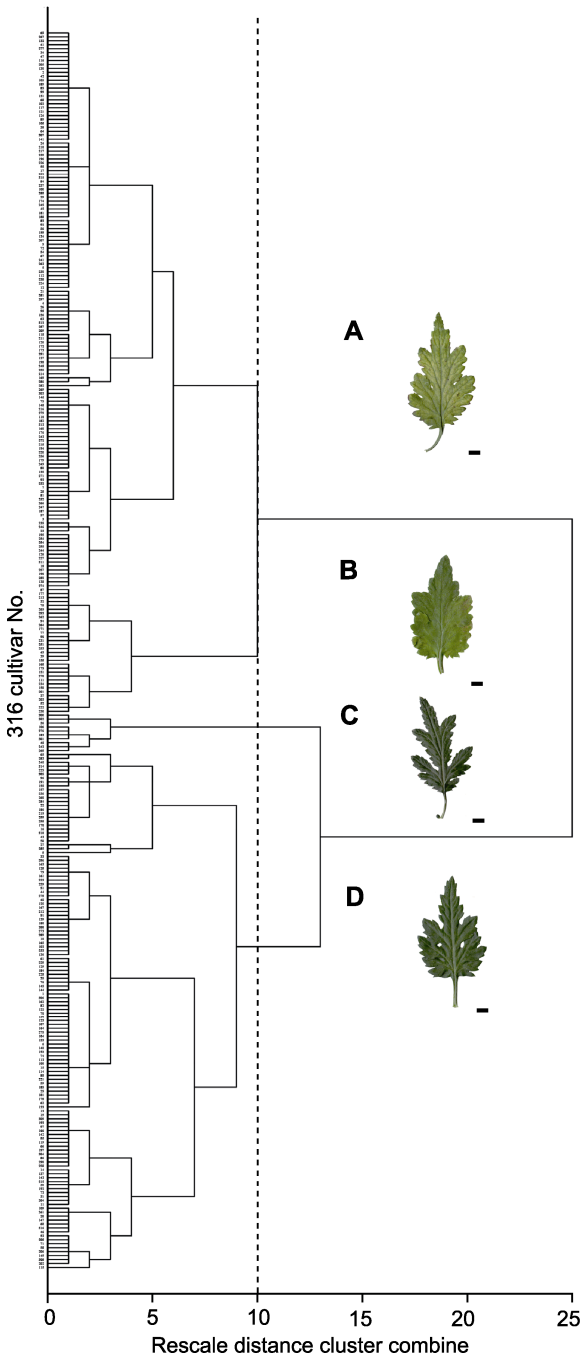


图4 中国传统大菊品种叶裂片形态的Q聚类
(A) 叶片裂刻深度为中裂, 叶裂片大小为宽裂片; (B) 叶片裂刻深度为浅裂, 叶裂片大小为宽裂片; (C) 叶片裂刻深度为深裂, 叶裂片大小为窄裂片; (D) 叶片裂刻深度为深裂, 叶裂片大小为中裂片。Bars=0.5 mm

Figure 4 Q cluster of leaf lobe shape of large-flowered Chinese chrysanthemum cultivars
(A) Medium lobed with wide lobe; (B) Shallow lobed with wide lobe; (C) Deep lobed with narrow lobe; (D) Deep lobed with medium lobe. Bars=0.5 mm

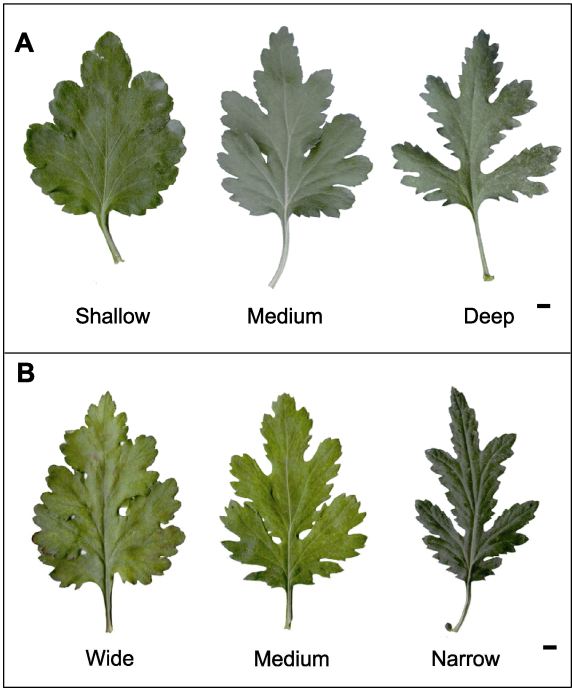


图5 中国传统大菊品种叶裂片形态类型
(A) 叶裂片长/叶脉长(叶裂刻深)的不同类型; **(B)** 叶裂片长/裂片宽(叶裂片大小)的不同类型。Bars=0.5 mm

Figure 5 The different types of leaf lobe shape of large-flowered Chinese chrysanthemum cultivars
(A) Different types of leaf lobe length/leaf vein length; **(B)** Different types of leaf lobe length/leaf lobe width. Bars=0.5 mm

表6 316个中国传统大菊品种叶片分类结果

Table 6 The result of 316 large-flowered Chinese chrysanthemum cultivars based on leaf classification

No.	Leaf blade shape	Leaf lobe shape/crack depth	Leaf length/leaf width	Widest part length/leaf length	Leaf lobe length/leaf vein length	Leaf lobe length/leaf lobe width
I-1	Broad ovate	Shallow/wide	(0.80, 1.25]	—	(0.15, 0.30]	(0.40, 1.00]
I-2		Medium/wide	(0.80, 1.25]	—	(0.30, 0.50]	(0.40, 1.00]
I-3		Deep/medium	(0.80, 1.25]	—	>0.50	(1.00, 1.50]
I-4		Deep/narrow	(0.80, 1.25]	—	>0.50	>1.50
II-1	Ovate	Shallow/wide	(1.25, 1.40]	—	(0.15, 0.30]	(0.40, 1.00]
II-2		Medium/wide	(1.25, 1.40]	—	(0.30, 0.50]	(0.40, 1.00]
II-3		Deep/medium	(1.25, 1.40]	—	>0.50	(1.00, 1.50]
II-4		Deep/narrow	(1.25, 1.40]	—	>0.50	>1.50
III-1	Obovate	Shallow/wide	>1.40	≤0.55	(0.15, 0.30]	(0.40, 1.00]
III-2		Medium/wide	>1.40	≤0.55	(0.30, 0.50]	(0.40, 1.00]
III-3		Deep/medium	>1.40	≤0.55	>0.50	(1.00, 1.50]
III-4		Deep/narrow	>1.40	≤0.55	>0.50	>1.50 not found
IV-1	Long ovate	Shallow/wide	>1.40	>0.55	(0.15, 0.30]	(0.40, 1.00]
IV-2		Medium/wide	>1.40	>0.55	(0.30, 0.50]	(0.40, 1.00]
IV-3		Deep/medium	>1.40	>0.55	>0.50	(1.00, 1.50]
IV-4		Deep/narrow	>1.40	>0.55	>0.50	>1.50

—: 无 —: None

中国传统大菊品种的叶片进行判别,以验证分类结果的可靠性。结果表明,利用叶片基本形态、叶裂片形态和叶柄性状建立的判别分析模型,可将120个品种的叶片进行准确归类,其判别拟合率分别为89.2%、95.0%和91.7% (表7)。由此可知,本研究对叶片基本形态、叶裂片形态和叶柄性状的分类合理。同时,利用16种叶型建立的判别分析模型,也可将120个品种的叶片准确归类,其判别拟合率为89.2% (表8),判别效果较好,分类结果可靠。以上结果说明本研究建立的叶片形态分类体系合理。

2.4 讨论

2.4.1 菊花叶部形态分类的重要性

叶片形态的改变通常会导致植物光合和蒸腾作用等重要生理功能发生变化,从而影响植株的生长发育(马炜梁, 2009)。叶片形态是植物识别鉴定的重要特征,尤其在营养生长阶段,叶片丰富的形态变异对于植物鉴定和形态分类具有重要作用(Moreno-Sánchez, 2004; 高志朋等, 2017)。虽然花部是菊花的重要观赏性状和识别要素,但是在菊花营养生长期或者菊花花型和花色极其相似的情况下,叶片是菊花品种识别及鉴定的关键要素(李娜娜, 2012; 王江民等, 2013; 沈凤等, 2018; Gao et al., 2020),且在菊花的整个生命

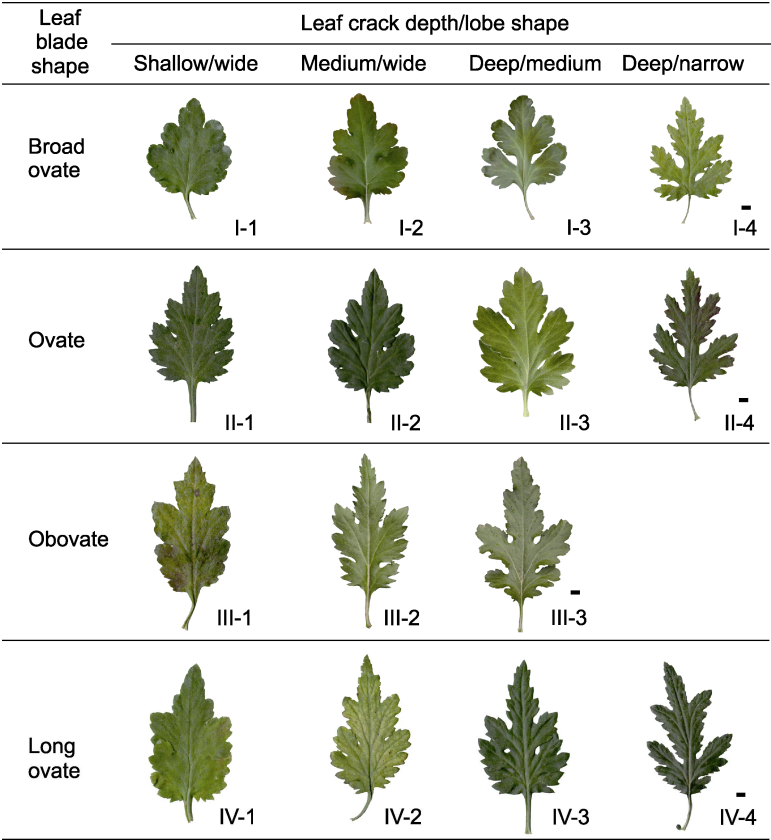


图6 中国传统大菊品种叶片类型
Bars=0.5 mm

Figure 6 The different leaf types of large-flowered Chinese chrysanthemum cultivars
Bars=0.5 mm

表7 120个中国传统大菊品种叶片基本形态、叶裂片形态和叶柄性状的判别分析

Table 7 Discriminant analysis of leaf blade shape, lobe shape and petiole in 120 large-flowered Chinese chrysanthemum cultivars

	Types	Identifiable fitness (%)	Number of varieties of different leaf types				The total number of varieties
			1	2	3	4	
Leaf blade shape	1	96.2	51	2	0	0	53
	2	96.9	0	31	1	0	32
	3	100	0	0	6	0	6
	4	65.5	0	7	3	19	29
Leaf lobe shape	1	100	15	0	0	0	15
	2	92.8	1	64	3	1	69
	3	100	0	0	27	0	27
	4	88.9	0	0	1	8	9
Leaf petiole	1	100	20	0	0	—	20
	2	87.7	5	71	5	—	81
	3	100	0	0	19	—	19

—: 无。仅对分析中的案例进行交叉验证。在交叉验证中, 每个案例都按照从该案例以外的所有其它案例派生的函数进行分类。(1) 已对叶片基本形态类型的初始分组案例中90.8%的样本进行了正确分类, 已对叶片基本形态类型的交叉验证分组案例中89.2%的样本进行了正确分类; (2) 已对叶裂片形态的初始分组案例中95.8%的样本进行了正确分类, 已对裂片类型的交叉验证分组案例中

95.0%的样本进行了正确分类; (3) 已对叶柄性状的初始分组案例中91.7%的样本进行了正确分类, 已对叶柄性状的交叉验证分组案例中91.7%的样本进行了正确分类。

–: None. Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case. (1) 90.8% of original grouped cases correctly classified and 89.2% of cross-validated grouped cases correctly classified in leaf blade type; (2) 95.8% of original grouped cases correctly classified and 95.0% of cross-validated grouped cases correctly classified in leaf lobe type; (3) 91.7% of original grouped cases correctly classified and 91.7% of cross-validated grouped cases correctly classified in leaf petiole type.

表8 120个中国传统大菊品种16种叶型的判别分析

Table 8 Discriminant analysis of 16 leaf types in 120 large-flowered Chinese chrysanthemum cultivars

Types	Identifiable fitness (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	Total
1	90.0	9	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
2	97.1	0	33	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	34
3	100.0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
4	0.0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
5	50.0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
6	87.5	0	0	0	0	1	14	0	0	0	0	0	0	0	0	1	16
7	100.0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10
8	75.0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	4
9	0.0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10	100.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	4
11	0.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
13	50.0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	2
14	93.3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	14	0	0	15
15	87.5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	7	0	8
16	75.0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	4

本研究菊花群体中未发现第12种叶型。仅对分析中的案例进行交叉验证。在交叉验证中, 每个案例都按照从该案例以外的所有其它案例派生的函数进行分类。已对初始分组案例中98.3%的样本进行了正确分类, 已对交叉验证分组案例中89.2%的样本进行了正确分类。

The 12th leaf shape was not found in the chrysanthemum population in this study. Cross validation is done only for those cases in the analysis. In cross validation, each case is classified by the functions derived from all cases other than that case. 98.3% of original grouped cases correctly classified and 89.2% of cross-validated grouped cases correctly classified in leaf type.

周期中, 花期时间相对较短, 叶部性状是菊花品种鉴定的重要指标。

两个相互关联性状的数值比值具有一定的意义。本研究将叶部性状间的比值统称为叶形结构参数。例如, 叶长/叶宽可表示叶形指数(陆时万等, 1991), 其比叶片长或叶宽在品种间更加稳定, 可以用于品种鉴定(尹克林等, 1998; 王江民等, 2013)。因此本研究将18个可以观测到的数量性状(C1–C17, C22)进一步转化为13个更稳定的叶形结构参数(C25–C37)并用于菊花叶片的分类研究。张轶(2014)通过对735个中国传统大菊品种形态性状的权重进行分析, 发现叶部形态的重要性排序如下: 叶片长度=叶片宽度>叶的一次裂刻程度>叶基部形状>叶先端形状, 其中叶裂片相关性状主要依据定性描述。本研究将叶裂片等性状

进行了数量化定义, 使其与叶片长和叶片宽等数量性状之间的比较更加准确。主成分分析表明, 影响叶片特征的重要性排序如下: 叶裂片>叶片基本形态>叶柄>叶基部形状>叶脉角度>叶缘锯齿, 说明叶裂片的形态变异相比叶片其它的变异更为丰富, 其次为叶片基本形态。因此我们将叶裂片形态和叶片基本形态作为叶片形态特征分类的主要标准, 叶柄作为辅助分类因素。王江民等(2013)在切花菊品种分类研究中选择了14个叶形结构参数, 本研究部分性状与之一致(叶身长/叶身宽、叶柄长/全叶长、顶裂片及4个侧裂片的长宽比)。然而, 叶片最宽处所在位置和叶脉是影响叶形结构的关键因素(周桂玲和魏岩, 2002; 方玉霖等, 2002; 许炳强等, 2007; Niinemets et al., 2007; 翟传敏等, 2014), 因此我们引入了叶脉相关性状, 增加了

叶片最宽处所在位置/叶长、叶脉角度和叶裂片长/叶脉长等性状。通过分析发现这些性状均是影响中国传统大菊品种叶片形态特征的关键性状。

然而, 本研究未选取叶片卷曲程度、叶背面毛多少等性状以及托叶等相关性状作为分类指标, 主要考虑到这些性状在品种间差异较小, 且易受生长环境的影响, 在实际观测中主观性较强, 误差较大, 不适用于品种鉴定和分类。例如, 叶表面光泽及叶片卷曲程度可能会受到光照、观测时间以及水肥等条件的强烈影响(张轶, 2014)。本研究所选取的叶片性状同样也受环境条件影响, 后续仍需要对叶片性状在不同环境条件下的稳定性进行深入研究。

2.4.2 数量化分析方法在叶片形态研究中的运用

数字图像分析在评估植物器官中具有重要作用, 是定量描述性状的有效方法。其中应用较为广泛的是对植物叶片轮廓的分析(Chitwood and Otoni, 2017)。中国传统大菊叶片的性状变异十分复杂, 原因是其具有不规则的轮廓, 且叶裂片、叶缘锯齿以及叶裂片之间还存在相互遮挡的现象, 部分品种叶片存在弯曲和扭曲。这些因素都给通过数字图像分析方法进行叶片形态定义和分类带来了巨大的挑战。Abbasi等(1997)基于40个菊花品种验证了曲率尺度空间(curvature scale space, CSS)方法可用于菊花叶片的分类研究。Mokhtarian和Abbasi (2004)基于12个菊花品种开发了CSS方法并用于自身发生重叠的菊花叶片的图像识别。前人的研究大多未涉及种下(品种)的叶片分类问题, 且处理样本数量不足, 处理范围较小。以往的研究更倾向于验证方法的可行性, 缺少阐述对于菊花叶片进行科学分类的有效性。尤其是对于复杂多变的菊花叶片, 如何建立相应的计算机统计软件和数据库还有待进一步研究。本研究在多年观测的基础上, 重新选取和定义了一些能够全面描述中国传统大菊品种叶片整体形态的新性状, 成功构建了基于数量化分析的中国传统大菊品种叶片的分类模型。与传统定性描述叶型相比(薛守纪, 2004), 本研究更加客观准确地划分不同叶片类型之间的界线, 便于实际应用和推广。

2.4.3 叶片形态特征的分类研究

前人将菊花的叶片分为正叶、深裂正叶、长叶、深裂长叶、圆叶、蓬叶、葵叶、反转叶(扣船叶)、柄附叶

和锯齿叶10种类型(薛守纪, 2004)。该分类标准是在田间观察的基础上进行定性描述, 主观性较强, 至今仍缺少标准化和规范化的描述。本研究在准确定义中国传统大菊品种叶片形态的基础上, 通过多元统计分析开展中国传统大菊品种叶片形态的数量分类学研究, 将中国传统大菊品种叶片基本形态分为4类, 叶裂片形态分为4类, 叶柄分为3类, 由此将菊花的叶片形态分为16种叶型(叶柄性状仅作为辅助性状), 并对这些不同类型进行了标准化的界定。在植物学研究中, 叶形主要包括圆形(长宽比为1:1)、广椭圆形(长宽比为1.5:1)和长椭圆形(长宽比为3:1) 3类(陆时万等, 1991); 本研究中叶形包括圆形(长宽比为0.8–1.25)、卵形(长宽比为1.25–1.4)和长卵形(长宽比为1.4–3), 其中长卵形(也包括倒卵形)和植物学对叶形的描述基本一致, 进一步证明本研究结果的可靠性。本研究并未将反转叶(扣船叶)、柄附叶和锯齿叶单独作为一类, 是由于这3类叶片分别与叶片卷曲程度、托叶以及叶缘锯齿相关, 这些性状往往受环境因素影响较大, 能否作为分类的关键性状还有待进一步讨论。近年来, 随着计算机技术的不断发展, 图像识别技术与传统分类方法相结合进行分类研究受到普遍重视(Chitwood et al., 2012, 2013, 2014)。中国传统大菊品种叶片形态复杂多样, 叶缘锯齿、叶基形状、叶片卷曲程度及托叶形状的变异会随着发育阶段和环境变化而改变(Jones, 1992; Nicotra et al., 2011)。这些变异是否有规律可循, 未来有望通过计算机图像识别技术进行监测, 发现其生长发育规律, 从而更好地开展菊花叶片的图像识别。

3 结论

本研究以436个中国传统大菊品种为材料, 数量化定义了叶片的形态特征, 包括叶片基本形态、叶基形态、叶缘形态、叶裂片形态和叶柄性状, 据此将中国传统大菊品种的叶片形态划分为16种叶型, 构建了基于数量化分类的中国传统大菊品种叶片形态的标准化分类体系。该体系有助于中国传统大菊品种资源数据库的建立, 为品种鉴定提供有效的叶片形态数据。同时, 研究开发出能够精确描述中国传统大菊叶片形态指标, 将为后期开展菊花叶部性状遗传机制解析和分子标记辅助育种奠定形态学基础。

参考文献

- 陈模舜, 金则新, 柯世省 (2018). 不同光环境下天台鹅耳枥叶形变化的测定与分析. 林业科学 54, 54–63.
- 陈旭波, 孟世勇, 刘全儒 (2012). 石竹科繁缕属与鹅肠菜属的数量分类. 植物学报 47, 271–277.
- 楚爱香, 杨英军, 汤庚国, 童丽丽 (2009). 河南垂丝海棠品种数量分类研究. 园艺学报 36, 377–384.
- 樊光迅, 亓帅, 王文奎, 戴思兰 (2016). 毛华菊形态性状变异的数学分析. 见: 中国观赏园艺研究进展2016. 北京: 中国林业出版社. pp. 134–141.
- 方玉霖, 刘剑秋, 姜业芳 (2002). 福建薯蓣属植物叶脉序特征及其分类学意义. 福建师范大学学报(自然科学版) 18(2), 65–69.
- 傅弘, 池哲儒, 常杰, 傅承新 (2004). 基于人工神经网络的叶脉信息提取——植物活体机器识别研究. 植物学通报 21, 429–436.
- 高鹤, 刘启新, 宋春风, 吴宝成, 周伟, 韦苏晏 (2015). 基于分形方法探讨槭属(*Acer* Linn.)植物叶片的形态多样性及其系统学意义. 植物资源与环境学报 24(2), 1–10.
- 高永华 (2014). 野生小红菊驯化栽培和花芽分化条件研究. 硕士论文. 晋中: 山西农业大学. pp. 8–9.
- 高志朋, 邵秀玲, 范晓虹, 张伟 (2017). 山东常见蒿属植物叶形变异分类研究及在杂草检疫中的应用价值. 植物检疫 31(6), 30–37.
- 何江 (2017). 40份番石榴种质资源亲缘关系的形态学性状和SCoT研究. 硕士论文. 南宁: 广西大学. pp. 22–25.
- 何文奇 (2012). 翅果菊属*Pterocypsela* Shih (菊科-菊苣族)分类学研究. 硕士论文. 郑州: 郑州大学. pp. 10–12.
- 洪艳, 白新祥, 孙卫, 贾锋炜, 戴思兰 (2012). 菊花品种花色表型数量分类研究. 园艺学报 39, 1330–1340.
- 黄文娟, 李志军, 杨赵平, 白冠章 (2010). 胡杨异形叶结构型性状及其相互关系. 生态学报 30, 4636–4642.
- 李娜娜 (2012). 单头切花菊新品种培育. 硕士论文. 北京: 北京林业大学. pp. 31–37.
- 李仁伟, 王晨, 戴思兰, 雒新艳, 李宝琴, 朱珺, 卢洁, 刘倩倩 (2012). 菊花品种表型性状与SRAP分子标记的关联分析. 中国农业科学 45, 1355–1364.
- 李晓兰, 李雪华, 蒋德明, 刘志民, 王红梅, 姬兰柱 (2005). 科尔沁沙地22种菊科草本植物叶片形态特征研究. 生态学杂志 24, 1397–1401.
- 刘孟军 (1996). 枣树数量性状的概率分级研究. 园艺学报 23, 105–109.
- 刘倩倩 (2007). 中国大菊品种形态分类及细胞学研究. 硕士论文. 北京: 北京林业大学. pp. 14–27.
- 刘文啟, 陆以云, 康帅, 严华, 魏锋, 马双成 (2015). 不同叶形曼陀罗叶结构比较及鉴别方法研究. 药物分析杂志 35, 1092–1098.
- 陆时万, 徐祥生, 沈敏健 (1991). 植物学. 北京: 高等教育出版社. pp. 144–149.
- 雒新艳, 戴思兰 (2010). 大菊品种表型性状的分类学价值. 北京林业大学学报 32(3), 135–140.
- 马炜梁 (2009). 植物学. 北京: 高等教育出版社. pp. 68–75.
- 祁栋灵, 周庆阳, 刘三军, 李靖 (2005). 利用叶形结构数值分析葡萄种质亲缘关系的研究. 中国南方果树 (3), 64–66.
- 沈凤, 蒋道道, 房伟民, 管志勇, 邓波, 陈发棣 (2018). 切花菊叶片的遗传多样性分析. 南京农业大学学报 41, 275–285.
- 唐俊, 邓立苗, 陈辉, 栾涛, 马文杰 (2014). 基于机器视觉的玉米叶片透射图像特征识别研究. 中国农业科学 47, 431–440.
- 王江民, 陈发棣, 房伟民, 陈素梅, 管志勇, 唐海艳 (2013). 基于叶形特征的切花菊品种鉴别. 植物学报 48, 608–615.
- 王丽君, 淮永建, 彭月橙 (2015). 基于叶片图像多特征融合的观叶植物种类识别. 北京林业大学学报 37, 55–61.
- 许炳强, 夏念和, 王少平, 郝刚 (2007). 中国木犀属植物叶脉形态及其分类学意义. 广西植物 27, 697–705, 696.
- 徐静静, 赵冰, 申惠翡, 刘旭梅, 高晓宁 (2017). 15个杜鹃花品种叶片解剖和表型数量分类研究. 西北林学院学报 32, 142–149.
- 许莹修 (2005). 菊花形态性状多样性和品种分类的研究. 硕士论文. 北京: 北京林业大学. pp. 1–7.
- 薛守纪 (2004). 中国菊花图谱. 北京: 中国林业出版社. pp. 9–10.
- 尹克林, 梁武, 诸葛宏庆 (1998). 酿酒葡萄品种‘蛇龙珠’的叶形结构数值鉴别. 园艺学报 25(2), 189–190.
- 翟传敏, 汪青萍, 杜吉祥 (2014). 基于叶缘与叶脉分数维特征的植物叶识别方法研究. 计算机科学 41(2), 170–173.
- 张诚 (2006). 葡萄叶形结构和品种鉴别相关性研究. 硕士论文. 重庆: 西南大学. pp. 27–51.
- 张莉俊, 戴思兰 (2009). 菊花种质资源研究进展. 植物学报 44, 526–535.
- 张蒙蒙, 王青, 戴思兰, 季玉山, 王朔 (2014). 盆栽小菊表型性状筛选与品种分类研究. 见: 中国观赏园艺研究进展 (2014). 北京: 中国林业出版社. pp. 103–109.
- 张宁, 刘文萍 (2011). 基于图像分析的植物叶片识别技术综

- 述. 计算机应用研究 **28**, 4001–4007.
- 张树林, 戴思兰 (2013). 中国菊花全书. 北京: 中国林业出版社. pp. 134–278.
- 张轶 (2014). 基于三种标记的中国传统菊花品种鉴定及分类研究. 博士论文. 北京: 北京林业大学. pp. 27–50.
- 赵冰, 雒新艳, 张启翔 (2007). 蜡梅品种的数量分类研究. 园艺学报 **34**, 947–954.
- 镇兰萍 (2013). 安徽野生菊属药用植物的形态与显微特征比较研究. 硕士论文. 合肥: 安徽中医药大学. pp. 21–22.
- 中华人民共和国农业农村部 (2018). 植物品种特异性、一致性和稳定性测试指南——菊花: GB/T 19557.19–2018. 北京: 中国标准出版社. pp. 12–44.
- 周桂玲, 魏岩 (2002). 十字花科四属植物叶片脉序的比较研究. 武汉植物学研究 **20**, 258–262.
- 朱静, 田兴军, 陈彬, 吕劲紫 (2005). 植物叶形的计算机识别系统. 植物学通报 **22**, 599–604.
- 左力辉, 张文林, 邱彤, 张军, 杨敏生 (2015). 新疆野苹果叶形性状变异及其与SSR标记关联分析. 园艺学报 **42**, 759–768.
- Abbasi S, Mokhtarian F, Kittler J (1997). Reliable classification of chrysanthemum leaves through curvature scale space. In: Proceedings of the 1st International Conference on Scale-Space Theories in Computer Vision. Utrecht: Springer. pp. 284–295.
- Chaki J, Parekh R (2011). Plant leaf recognition using shape based features and neural network classifiers. *Int J Adv Comput Sci Appl* **2**, 41–47.
- Chatrou L (1997). Studies in Annonaceae. XXVIII. Macro-morphological variation of recent invaders in northern Central America: the case of *Malmea* (Annonaceae). *Am J Bot* **84**, 861–869.
- Chitwood DH, Headland LR, Kumar R, Peng J, Maloof JN, Sinha NR (2012). The developmental trajectory of leaflet morphology in wild tomato species. *Plant Physiol* **158**, 1230–1240.
- Chitwood DH, Kumar R, Headland LR, Ranjan A, Covington MF, Ichihashi Y, Fulop D, Jiménez-Gómez JM, Peng J, Maloof JN, Sinha NR (2013). A quantitative genetic basis for leaf morphology in a set of precisely defined tomato introgression lines. *Plant Cell* **25**, 2465–2481.
- Chitwood DH, Otoni WC (2017). Morphometric analysis of *Passiflora* leaves: the relationship between landmarks of the vasculature and elliptical Fourier descriptors of the blade. *GigaScience* **6**, giw008.
- Chitwood DH, Ranjan A, Kumar R, Ichihashi Y, Zumstein K, Headland LR, Ostria-Gallardo E, Aguilar-Martínez JA, Bush S, Carriedo L, Fulop D, Martínez CC, Peng J, Maloof JN, Sinha NR (2014). Resolving distinct genetic regulators of tomato leaf shape within a heteroblastic and ontogenetic context. *Plant Cell* **26**, 3616–3629.
- da Silva NR, Florindo JB, Gómez MC, Rossatto DR, Kolb RM, Bruno OM (2015). Plant identification based on leaf midrib cross-section images using fractal descriptors. *PLoS One* **10**, e0130014.
- Dejong J, Drennan DL (1984). Genetic analysis in *Chrysanthemum morifolium*. II. flower doubleness and ray floret corolla splitting. *Euphytica* **33**, 465–470.
- Gao K, Song XB, Kong DY, Dai SL (2020). Genetic analysis of leaf traits in small-flower chrysanthemum (*Chrysanthemum × morifolium* Ramat.). *Agronomy* **10**, 697.
- Jones CS (1992). Comparative ontogeny of a wild cucurbit and its derived cultivar. *Evolution* **46**, 1827–1847.
- Khadiji-Khub A, Zamani Z, Fatahi MR (2012). Multivariate analysis of *Prunus* subgen. *Cerasus* germplasm in Iran using morphological variables. *Genet Resour Crop Evol* **59**, 909–926.
- Klingenberg CP (2010). Evolution and development of shape: integrating quantitative approaches. *Nat Rev Genet* **11**, 623–635.
- Mallah C, Cope J, Orwell J (2013). Plant leaf classification using probabilistic integration of shape, texture and margin features. In: Computer Graphics and Imaging/798: Signal Processing, Pattern Recognition and Applications. Innsbruck: ACTA Press. pp. 1–8.
- McLellan T (2000). Geographic variation and plasticity of leaf shape and size in *Begonia dregei* and *B. homonyma* (Begoniaceae). *Bot J Linn Soc* **132**, 79–95.
- Min Z, Li RL, Zhao XF, Li RY, Zhang Y, Liu M, Wei XF, Fang YL, Chen SX (2018). Morphological variability in leaves of Chinese wild *Vitis* species. *Sci Hortic* **238**, 138–146.
- Mokhtarian F, Abbasi S (2004). Matching shapes with self-intersections: application to leaf classification. *IEEE T Image Process* **13**, 653–661.
- Moreno-Sánchez M (2004). Graphic approach for morphometric analysis of *Archaeopteris* leaves. *Ann Paléontol* **90**, 161–173.
- Nicotra AB, Leigh A, Boyce CK, Jones CS, Niklas KJ, Royer DL, Tsukaya H (2011). The evolution and functional significance of leaf shape in the angiosperms. *Funct Plant Biol* **38**, 535–552.
- Niinemets Ü, Portsmouth A, Tobias M (2007). Leaf shape

and venation pattern alter the support investments within leaf lamina in temperate species: a neglected source of leaf physiological differentiation? *Funct Ecol* **21**, 28–40.

Song XB, Gao K, Fan GX, Zhao XG, Liu ZL, Dai SL (2018a). Quantitative classification of the morphological traits of ray florets in large-flowered chrysanthemum. *Hort-Science* **53**, 1258–1265.

Song XB, Zhao XG, Fan GX, Gao K, Dai SL, Zhang MM, Ma CF, Wu XY (2018b). Genetic analysis of the corolla

tube merged degree and the relative number of ray florets in chrysanthemum (*Chrysanthemum × morifolium* Ramat.). *Sci Hortic* **242**, 214–224.

Zhang Y, Luo XY, Zhu J, Wang C, Hong Y, Lu J, Liu QQ, Li BQ, Zhu ML, Wang ZF, Zhang YQ, Song XB, Lv PY, Dai SL (2014). A classification study for chrysanthemum (*Chrysanthemum × grandiflorum* Tzvelv.) cultivars based on multivariate statistical analyses. *J Syst Evol* **52**, 612–628.

Quantitative Definition and Classification of Leaves in Large-flowered Chinese Chrysanthemum Based on the Morphological Traits

Xuebin Song^{1,2}, Kang Gao¹, He Huang¹, Zhilan Liu¹, Silan Dai^{1*}, Yu Ji¹

¹Beijing Advanced Innovation Center for Tree Breeding by Molecular Design; Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Beijing Key Laboratory of Flower Germplasm Innovation and Molecular Breeding, National Flower Engineering Technology Research Center, College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; ²College of Landscape Architecture and Forestry, Qingdao Agricultural University, Qingdao 266109, China

Abstract The leaf morphology of Chinese traditional chrysanthemum varieties is very variable, but it has not been scientifically defined and classified, so it is impossible to make effective use of these morphological traits for variety identification and genetic analysis. The definition and classification of plant morphology by quantitative analysis is the premise of genetic analysis of plant traits. In this study, 24 leaf traits of 436 chrysanthemum varieties were re-defined and measured. The correlation analysis identified 8 relatively independent traits, and principal component analysis further focused on 5 key traits, including the leaf blade length/leaf blade width, widest part length/leaf blade length, right lower leaf lobe length/leaf vein length of right lower lobe, right lower leaf lobe length/right lower leaf lobe width, leaf petiole length/leaf blade length. The leaf shapes were classified into 16 types by Q clustering analysis. This study established a quantitative definition and classification system for the leaves of Chinese traditional chrysanthemum varieties. It provided an effective leaf evaluation standard for the identification of chrysanthemum varieties, and a new method for the analysis of complex traits of ornamental plants.

Key words Chinese chrysanthemum, leaf shape, morphological traits, quantitative definition, classification

Song XB, Gao K, Huang H, Liu ZL, Dai SL, Ji Y (2021). Quantitative definition and classification of leaves in large-flowered Chinese chrysanthemum based on the morphological traits. *Chin Bull Bot* **56**, 10–24.

* Author for correspondence. E-mail: silandai@sina.com

(责任编辑: 白羽红)

附表 1 316 个中国传统大菊品种名录

Appendix table 1 316 large-flowered Chinese chrysanthemum cultivars

附表 2 120 个中国传统大菊品种名录

Appendix table 2 120 large-flowered Chinese chrysanthemum cultivars

<http://www.chinbullbotany.com/fileup/1674-3466/PDF/t20-014.pdf>

附表 1 316 个中国传统菊花品种名录

Appendix table 1 316 large-flowered Chinese chrysanthemum cultivars

No.	Name	No.	Name	No.	Name	No.	Name
1	Bainiao Chaofeng	41	Yanzhi Dianxue	81	Jinshe Manwu	121	Queshe Tuogui
2	Yulong Naohai	42	Yuniang Suoyi	82	Xiali Baren	122	Fengmao Lingjiao
3	Change Benyue	43	Jinbo Yongcui	83	Baifen Shizi	123	Luanfeng Sashuang
4	Taizhen Hanxiao	44	Qiongdiao Sanyou	84	Zhubi Dianchun	124	Nijin Qiehua
5	Luyun	45	Jinfeng Wanli	85	Huangjin Zhuangshi	125	Lihua
6	Guanghui	46	Changsheng Le	86	Tiemian Wusi	126	Huang Changfeng
7	Tongfa Jiaorong	47	Heguan	87	Wuse Furong	127	Luo Shen
8	Taoli Zhengyan	48	Lu Yingwu	88	Huangmao Ju	128	Lijin
9	Bohe Xiang	49	Ziyun	89	Longcheng Feijiang	129	Jinzhu Zhuiwuyi
10	Wu Furong	50	Zi Ruigong	90	Zimao	130	Baiyi Xianzi
11	Wenyuan Yinghua	51	Dian Jiangchun	91	Ziyu Songzhen	131	Guifei Zuijiu
12	Meilin Fengxue	52	Xixiang Daiyue	92	Ruizhu Gong	132	Jinluan Zhiguang
13	Xuri Dongsheng	53	Jinxu Yuanyang	93	Fenghuang Zhenyu	133	Hongyi Jinxiu
14	Zidie Feiwu	54	Baihou	94	Deyi Yuan	134	Jinzhong Zhuiyu
15	Qihu Guanlan	55	Guding Jinhuan	95	Bingxin Zaibao	135	Shuaiqi
16	Yong shoumo	56	Tanxiang Gouhuan	96	Yu Longzhua	136	Fenghuang Yi
17	Mo He	57	Qingyun Zhuiyu	97	Huang Changxian	137	Lao Mohe
18	Qingshui Hehua	58	Nishang	98	Xingxing Wu	138	Shanwu Yinshe
19	Yudie Chi	59	Yanhong Zhuang	99	Baimao Ju	139	Chen Guang
20	Meihua Lu	60	Zuiwo Xiangyun	100	Cai Longzhua	140	Deyi Yuan
21	Song Zhum ei	61	Lengyan	101	Fengshang Shuipei	141	Jinma Yutang
22	Changong Guise	62	Furong Tuogui	102	Qiuju Wanhong	142	Jinbeidahong
23	Shanhu Baochang	63	Zichen Dian	103	Huang Queshe	143	Zilongxianzhua
24	Taizhen Chuyu	64	Hongshi Mengxing	104	Huihe Xianzhu	144	Xiaomoqi
25	Qingshui Lian	65	Qianchi Feiliu	105	Qiuju Wanhong	145	Moxie
26	Chunshui Lubo	66	Shiba Fenghuan	106	Yizhi Nongyan	146	Sishi Liujin
27	Zihong Tuogui	67	Tangyu Shouweng	107	Zifeng Chaoyang	147	Bai Douqi
28	Tianhe Xima	68	Yaotai Yufeng	108	Honglou Wanjuan	148	Yuxian Yinzen
29	Huanghe Juanlang	69	Zheyang Qiangchu	109	Chunjiang Xiongyong	149	Caixia Yunshang
30	Jin Shitou'	70	Yulu Pantao	110	Ziyuan Feihe	150	Yinxuetai

31	Xiyu Hansha	71	Qianshou Guanyin	111	Jin Fomian	151	Fenhuang Xiaoyue
32	Baiou Zubo	72	Fen Weixian	112	Yushi Mengxing	152	Gushui Liuxia
33	Fengguan Xiapei	73	Xingshi Tu	113	Zuise Qiurong	153	Xin Taoranzui
34	Ruixue Qinian	74	Zhusha Guanjin	114	Fangxi Qiuyu	154	Jinhong Maoci
35	Taoliu Chunyi	75	Jinxia Guan	115	Ziluo Yinxing	155	He Hua
36	Ziwu Ningshuang	76	Zheshi Maoci	116	Ruyi Jinzhu	156	Xueshan Jinsong
37	Jinzhang Chenglu	77	Xuetao	117	Huanshui Jingui	157	Jinge Tiema
38	Wenyu	78	Xuezhao Furong	118	Mo Mudan	158	Tangyu Xianyi
39	Hutou	79	Yufeng Piaoling	119	Taoranzui	159	Yaotai Qingrui
40	Wenjing Wuwei	80	Doulu Yishang	120	Zhusha Hongshuang	160	Fenxian Mingzhu
161	Huanshui Mingzhu	201	Fengqi Yunyong	241	Sanjiang Feiyan	281	Baihuayan
162	Morong	202	Peicheng Zhiqiu	242	Chijin Kuilong	282	Muyun Feihong
163	Baiyu Zhulian	203	Jinbian Hong	243	Yushenghan	283	Taohua Liushui
164	Mixian Fengmang	204	Gushui Chunxia	244	Shushui Liuzhou	284	Zhufeng Shuyu
165	Ziyun Zheyue	205	Shuijinggong	245	Hong Tuogui	285	Maitanweng
166	Caiqi	206	Sashuang Yingzi	246	Pengze Ziyang	286	Yuhuan Piaowu
167	Zhinu	207	Anni Gongzhu	247	Guangfeng Jirun	287	Liyun
168	Tangyu Qingfeng	208	Yidai Tianjiao	248	Yulong Xishui	288	Jinji Duli
169	Tangyu Longyun	209	Huanghun Guiyan	249	Huangli Huang	289	Huangtanzhua
170	Yanhe	210	Biyu Tuogui	250	Taohua Shan	290	Lijiang Chunse
171	Feitian	211	Tangyu Zhiguang	251	Jinmian Weituo	291	Fengxian
172	Hewu Xiangyun	212	Hualou Yufeng	252	Xiangyang Huakai	292	Taohua Yushui
173	Qiushui Mingxia	213	Tangyu Fenfeiwu	253	Bingxue Shijie	293	Wucui Binfen
174	Yuji Wujian	214	Shier Jinchai	254	Zi Shiba	294	Tangyu Lingxian
175	Guoguo Furen	215	Hukou Tengyu	255	Yinfa Xiunu	295	Huxu
176	Longshe	216	Ruiyun Zhuiyu	256	Tangyu Aohan	296	Xiantan Qiushui
177	Juyuan Yayun	217	Siyun Zhuiyu	257	Baihe Tengkong	297	Yucun Xizhao
178	Hong Yuanyang	218	Jinzhong	258	Lamei Huangli	298	Lu Xinhuang
179	Lu Baoshi	219	Sayu Huaqing	259	Bingfeng Xuelian	299	Cuiwu
180	Chi Longzhua	220	Fengongge	260	Pinghe	300	Jinsi Huang
181	Zhaoxia Wanli	221	Luoshi Maoci	261	Dapeng Zhanchi	301	Ranxiu
182	Fengxue Zhulou	222	Baili	262	Yuhu Chaoyang	302	Riluo Jinshan
183	Baixue Ta	223	Tangyu Jinhua	263	Yin Huxiao	303	Tangyu Qinglian
184	Jinxie	224	Tangyu Qiuqiu	264	Fugui Chunrong	304	Oufen Tuogui
185	Qingshan Jiuzhou	225	Songlin Zhao	265	Zui Yangfei	305	Xishi Tu

186	Qingshan Baozhu	226	Fenzi Chiguan	266	Oushi Hongju	306	Yudie
187	Qingshan Baota	227	Taohua Chunshui	267	Gu Gangsong	307	Nijin Huan
188	Yu Longxu	228	Yunxia Huancai	268	Luanfeng Xiyu	308	Xichuang Xiyu
189	Huanghua	229	Hedong Shizi	269	Zuiwu Yangfei	309	Qingtang Fenxie
190	Jinding Diaoyuan	230	Jinliuhai	270	Baiyun Zhuiyu	310	Fenghuang Shang
191	Fen Zhouqiu	231	Hong Jinpao	271	Xuetian Yulou	311	Xuehua Jiniang
192	Tangyu Yurong	232	Hongheyun	272	Shenle	312	Hefeng Shuyu
193	Tianxiang Yuxiu	233	Gudu Fochen	273	Baotuquan	313	Zixian Chuanzhen
194	Gangyu	234	Chaoqun Shang	274	Aijiaohuang	314	Kuihua Tuogui
195	Bikong Yinhua	235	Xin Xueshi	275	Zhulu	315	Fengfu Zuiyi
196	Xiangfei Guse	236	Jin Tangshi	276	Fenyu Songzhen	316	Taohua Xi
197	Chengdu Erqiao	237	Dahong Ruyi	277	Tangyu Luhui		
198	Hongyun	238	Hanxiao Hanzi	278	Qiuzhi Huakui		
199	Huang Chiguan	239	Laoren Fa	279	Xishan Hongi		
200	Feiliu Zhixia	240	Yangchun Baixue	280	Posuo Nufang		

附表 2 120 个中国传统菊花品种名录

Appendix table 2 120 large-flowered Chinese chrysanthemum cultivars

No.	Name	No.	Name	No.	Name	No.	Name
1	Taizhen Tu	39	Taxue Xunmei	77	Runmian Qing	115	Yuhu Chunse
2	Diebao Chunfeng	40	Hong Mudan	78	Jialing Ju	116	Fengjuan Xuehua
3	Shizhang Zhulian	41	Yinpan Tuogui	79	Chunshuang	117	Changhong Feihe
4	Gangtie Yizhi	42	Hubei Xieyang	80	Fushou Dai	118	Jin Fengdie
5	Zhongsheng	43	Baichangguan	81	Luyi Qingqiu	119	Jin Tanzhao
6	Xiuhuapo	44	Xingxingguan	82	Tangyu Yan	120	Huatian Shima
7	Kongque Kaiping	45	Yema Fenzong	83	Yuniang Qiu		
8	Yulouchun	46	Wu Shi	84	Shuiluhong		
9	Jinlong Xianzhua	47	Gushui Fengui	85	Kuilong Zi		
10	Luhua Yueying	48	Lu Kongque	86	Bai Songzhen		
11	Zilong Woxue	49	Changmule	87	Honglin Gong		
12	Xuri	50	Jinma Huifeng	88	Fen Jianrong		
13	Dahong Tuogui	51	Yushizi Dai	89	Munan Hong		
14	Nanchao Fendai	52	Luyi Shizhe	90	Tangyu Qiuhe		
15	Fengjuan Hongqi	53	Yingti Xiuhu	91	Nijin Hongguan		
16	Xiaoye	54	Changhe Luori	92	Yuda Xichuang		
17	Haitianxia	55	Fugui Fengliu	93	Bingqing Yujie		
18	Duli Hanqiu	56	Shuiman Jinshan	94	Fenran Cai		
19	Yulou Renzui	57	Zilong	95	Chushu Luzhu		
20	Chunman qiankun	58	Daidai Zhaoxia	96	Junqi		
21	Shuiyun Xiang	59	Fen Hehua	97	Feixue Yingchun		
22	Xianlu Pantao	60	Gu Fomian	98	Jinhong Zhanpao		
23	Yuhu Chun	61	Yinma Hongjiang	99	Qianyuou		
24	Lingbo Xianzi	62	Yanju	100	Juedai Fengzi		
25	Neng Huanghe	63	Kunlun Jixue	101	Dalian Jinshen		
26	Huang Xiangli	64	Caoyuan Ji	102	Rongcheng Yin		
27	Sai Jinhua	65	Ziyan Feishuang	103	Dongting Qiuse		
28	Chunjiang Huachao	66	Wuhemang	104	Qingshan Lian		
29	Jine Feitian	67	Jinguan	105	Tiansheng Lizhi		
30	Damo Feiying	68	Songlin Qiujing	106	Chunfeng Xiyu		
31	Hui Ge	69	Mitu Gaoyang	107	Jinxie Panchan		
32	Zi Ruyi	70	Beilu Hongyu	108	Gucha Jingang		
33	Fenhe	71	Huang Longge	109	Tangyu Jinshi		
34	Jinsihe	72	Taohua Hong	110	Taibai Qiuhong		
35	Yanzhi He	73	Zilang Bailian	111	Zilang Fengxi		
36	Hongmeige	74	Xijuner	112	Jinzhong Zhuiyu		
37	Jinlingguan	75	Luanyun Feidu	113	Bibo Xianzi		
38	Fenshiba	76	Shancheng Guang	114	Gucha Zhizhong		