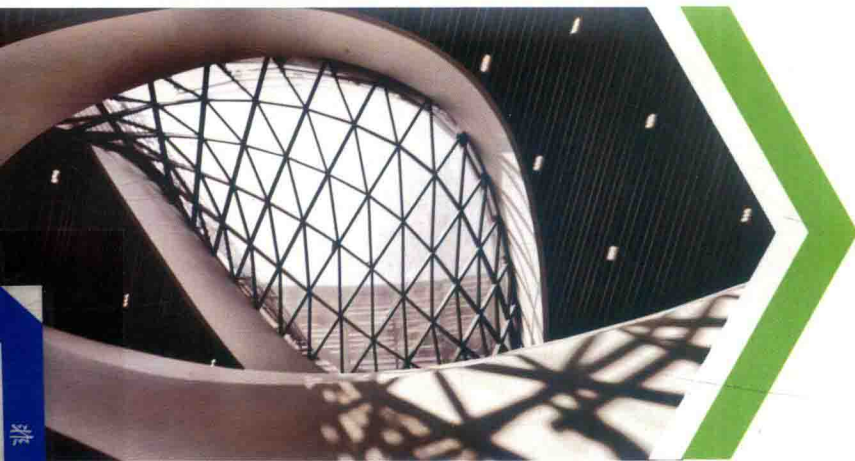


土木工程科技创新与发展研究前沿丛书

国家自然科学基金（51178332、51678432）资助

空间结构

连续性倒塌机制与设计对策



赵宪忠 闫 伸◇著



海外
借

中国建筑工业出版社

热带农业科学一流学科丛书

国家自然科学基金项目资助 (30760025, 31060123, 39760014)

Mystical Wild Fruit in China
Capparis masaikai Levl.

中国神秘野果 ——马槟榔

胡新文 郭建春 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

马槟榔作为濒危物种，具有较高的开发利用价值，开展针对马槟榔的基础研究和物种保护、开发应用研究具有十分重要的意义。本书主要介绍了马槟榔种源界定及文献描述、马槟榔的形态学、种质资源分布、野生生境研究、遗传多样性、马槟榔甜蛋白、*Mabinlin II*的克隆及表达、人工引种驯化栽培研究，以及马槟榔的病虫害和产业化发展相关内容。

本书适合从事马槟榔研究与应用的科研和技术人员、高等院校相关专业的教师与学生参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国神秘野果——马槟榔 / 胡新文, 郭建春著. —北京: 科学出版社, 2018.11

(热带农业科学一流学科丛书)

ISBN 978-7-03-059244-6

I. ①中… II. ①胡… ②郭… III. ①槟榔—介绍 IV. ①S792.91

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第249260号

责任编辑: 张静秋 / 责任校对: 杨 赛

责任印制: 吴兆东 / 封面设计: 蓝正设计

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年11月第一版 开本: 720×1000 1/16

2018年11月第一次印刷 印张: 10 1/2

字数: 220 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

马槟榔是中国特有的一种野生植物，也是我国唯一产甜蛋白的植物。马槟榔种子中含有的甜蛋白称为马宾灵（Mabinlin），其甜度是蔗糖的400倍，甜味阈值为0.1%，与碳水化合物的糖类相比，其甜度高、热量低，不会使体内血糖升高，为糖尿病患者带来了福音。同时，甜蛋白被消化分解后会产生人体所需的各种氨基酸，为甜味添加剂的开发带来了广阔前景。马槟榔的种子可以入药，其药理在我国古代就已经有研究。马槟榔在我国分布于北回归线一带，研究推断我国目前现存马槟榔894~1141株，根据世界自然保护联盟（IUCN）公布的标准，应该把马槟榔列入“濒危”等级（总的数量少于2500株）。

马槟榔是我国热带、亚热带地区的特有树种，其资源分布在不同文献中说法不一，且不同文献对马槟榔的形态特征描述有较大差别。为了全面系统地介绍马槟榔的生物学特性及其产业化研究的成果，从而更好地保护、利用马槟榔资源，我们写作了本书。本书分为10章，对马槟榔的种源界定，形态学，种质资源的分布及生境，遗传多样性，基因和甜蛋白研究，人工驯化栽培和病虫害及产业化发展的现状和前景等进行了全面介绍，纠正了一些文献中关于马槟榔的错误记载。本书内容涵盖了马槟榔的相关最新研究成果，汇集了多位研究人员和教师的科研与教学经验，特别是于旭东、吴繁花、刘四新、庞庆精、代正福、郑成义、胡景平、黄勇、杨荣信、张超、罗灿、顾文亮等师生参与了马槟榔相关研究，并取得大量数据信息，充实了本书内容，在此表示衷心感谢。

愿本书的出版，有助于规范马槟榔的产业化开发与利用，同时希望能够引起人们的重视，加强对马槟榔种质资源的保护。限于时间和水平，书中难免出现错误或遗漏之处，恳请广大读者不吝赐教，提出宝贵意见，以便修正和完善。

著者

2018年5月

第 1 章 马槟榔种源界定及文献描述	1
1.1 名称与分类.....	1
1.2 文献对马槟榔形态特征的描述.....	7
1.3 文献对马槟榔野生生境的描述.....	8
1.4 文献对马槟榔资源分布的描述.....	9
1.5 文献对马槟榔生长习性的描述.....	9
第 2 章 马槟榔的形态学	10
2.1 马槟榔根的形态学.....	10
2.1.1 根的发生.....	10
2.1.2 根的形态.....	10
2.1.3 根的数量.....	12
2.1.4 根的结构.....	12
2.2 马槟榔茎的形态学.....	12
2.2.1 茎的发生.....	13
2.2.2 茎的形态.....	13
2.2.3 茎的芽.....	14
2.2.4 茎的结构.....	14
2.3 马槟榔叶的形态学.....	14
2.3.1 叶的发生.....	15
2.3.2 叶的形态.....	16
2.3.3 叶的结构.....	16
2.4 马槟榔花的形态学.....	16
2.4.1 花的发生.....	16

2.4.2	花序	17
2.4.3	萼片、花瓣和雄蕊	17
2.4.4	子房和胚珠	18
2.4.5	花程式和花图式	18
2.4.6	花药和花粉的萌发	18
2.4.7	花粉的传播与授粉	19
2.5	马槟榔果的形态学	20
2.5.1	果的发生	20
2.5.2	果实	20
2.5.3	果皮	21
2.6	马槟榔种子形态学	23
2.6.1	种子	23
2.6.2	种皮	26
2.6.3	种仁	26
2.6.4	种子萌发的动态观察	29
2.7	马槟榔形态学研究的相关讨论与结论	29
2.7.1	植物学形态	29
2.7.2	形态结构与马槟榔结实率	29

第3章 马槟榔种质资源分布 30

3.1	马槟榔种质资源调查	30
3.1.1	调查方法	30
3.1.2	调查用具	30
3.1.3	调查过程	31
3.1.4	调查地点	32
3.2	马槟榔在我国的分布	33
3.2.1	地理分布	33
3.2.2	数量分布	34
3.2.3	我国马槟榔资源分布区的划分	37
3.3	马槟榔种质资源相关讨论与结论	37
3.3.1	野生马槟榔数量减少的原因分析	37
3.3.2	马槟榔分布区的中心	38
3.3.3	马槟榔在越南有分布的预测	38
3.3.4	马槟榔作为保护植物的定级	39

第 4 章 马槟榔野生生境研究	40
4.1 马槟榔野生生境的地形地貌.....	40
4.2 马槟榔赖以生存的土壤研究.....	40
4.2.1 土壤的机械组成.....	40
4.2.2 土壤的物理性质.....	41
4.2.3 土壤的酸碱度.....	42
4.2.4 土壤的营养元素.....	43
4.2.5 土壤有机质.....	46
4.2.6 花期土壤湿度.....	46
4.3 马槟榔生境气候特征.....	47
4.4 马槟榔生境地植被状况与伴生植物.....	49
4.4.1 马槟榔植被状况.....	49
4.4.2 伴生植物与马槟榔长势的相关性分析.....	53
第 5 章 马槟榔的遗传多样性	55
5.1 马槟榔总 DNA 提取 (SDS-CTAB 法提取总 DNA).....	55
5.2 RAPD 反应体系的优化.....	56
5.2.1 dNTPs 浓度.....	56
5.2.2 Primer 浓度.....	56
5.2.3 TaqDNA 聚合酶浓度.....	57
5.2.4 模板 DNA 浓度.....	57
5.2.5 优化后的 RAPD 反应体系.....	57
5.3 引物的筛选.....	58
5.4 种质资源遗传多样性分析.....	60
5.4.1 RAPD 扩增产物的多态性分析.....	60
5.4.2 RAPD 相似系数分析.....	60
5.4.3 RAPD 聚类分析.....	62
5.5 遗传多样性分析与马槟榔历史变迁.....	63
5.6 马槟榔存在亚种或变种的推论.....	64
第 6 章 马槟榔甜蛋白	65
6.1 马宾灵的分离纯化.....	65
6.1.1 提取方法.....	65
6.1.2 马宾灵同系物蛋白的分离.....	66

6.1.3	马宾灵及其同系物蛋白的活性	66
6.1.4	马宾灵及其同系物蛋白的氨基酸序列	66
6.2	马宾灵的结构分析	67
6.2.1	马宾灵氨基酸序列的理化性质分析	67
6.2.2	马宾灵氨基酸序列的信号肽的预测和分析	67
6.2.3	马宾灵氨基酸序列的卷曲螺旋的预测和分析	67
6.2.4	马宾灵氨基酸序列的跨膜结构域的预测和分析	68
6.2.5	马宾灵氨基酸序列的二硫键的预测和分析	68
6.2.6	马宾灵氨基酸序列的疏水性/亲水性预测和分析	68
6.2.7	马宾灵氨基酸序列结构功能域的预测和分析	69
6.2.8	马宾灵氨基酸序列二级结构的预测和分析	69
6.3	马宾灵的甜味机理	69
6.3.1	温度和 pH 对甜味的影响	69
6.3.2	Ca ²⁺ 对蛋白质的甜味效应	69
6.3.3	马宾灵的甜味转导机理	69
6.4	马宾灵的体外表达研究	71
6.4.1	马宾灵在拟南芥中的表达	71
6.4.2	马宾灵在大肠杆菌中的表达	74
6.4.3	马宾灵体外表达的分析	75
第 7 章 Mabinlin II 的克隆及表达		78
7.1	Mabinlin II 基因的克隆及其序列分析	78
7.1.1	Mabinlin II 基因克隆及序列测定	78
7.1.2	Mabinlin II 基因在马槟榔各器官组织中的表达分析	80
7.2	Mabinlin II 基因启动子的分离	81
7.2.1	马槟榔基因组 DNA 提取及限制性内切酶消化	82
7.2.2	Mabinlin II 基因 5' 上游区扩增及序列测定	82
7.2.3	Mabinlin II 基因启动子序列分析	85
7.3	Mabinlin II 基因启动子的功能验证	91
7.3.1	启动子各缺失片段的载体构建及转化农杆菌	91
7.3.2	拟南芥稳定表达鉴定 Mabinlin II 基因启动子活性及时空表达特异性	93
7.3.3	烟草中表达鉴定 Mabinlin II 基因启动子活性及时空表达特异性	99
7.3.4	Mabinlin II 基因启动子活性与顺式作用元件相关性分析	101

第 8 章 马槟榔人工引种驯化栽培研究	105
8.1 马槟榔的常规繁育.....	105
8.1.1 扦插育苗.....	105
8.1.2 种子育苗.....	108
8.1.3 压条繁殖.....	111
8.1.4 结论.....	112
8.2 马槟榔组织培养快繁.....	113
8.2.1 外植体的选择.....	113
8.2.2 外植体消毒方法.....	113
8.2.3 不同培养基对愈伤组织形成的影响.....	113
8.2.4 光照对愈伤组织和丛生芽形成的影响.....	114
8.2.5 不同培养基对丛生芽增殖的影响.....	115
8.2.6 不同培养基对丛生芽生根的影响.....	115
8.2.7 结论.....	116
8.3 马槟榔人工栽培研究.....	116
8.3.1 槟榔地间种马槟榔的成活率及其长势.....	116
8.3.2 不同树龄马槟榔光合速率分析.....	117
8.3.3 不同树龄马槟榔叶绿素含量分析.....	119
8.3.4 结论.....	120
第 9 章 马槟榔的病虫害	122
9.1 马槟榔的虫害.....	122
9.1.1 调查的材料与方法.....	122
9.1.2 调查结果.....	123
9.1.3 虫害防治与生态环境的关系.....	131
9.2 马槟榔叶片病原菌分离鉴定及拮抗放线菌的筛选.....	131
9.2.1 材料与方法.....	131
9.2.2 结果分析.....	135
9.2.3 讨论.....	144
9.2.4 结论.....	145
第 10 章 马槟榔的产业化发展	147
10.1 马槟榔的药用.....	147

10.2 马槟榔规模化栽培种植.....	148
10.3 马槟榔甜蛋白产业.....	148
10.4 马槟榔甜蛋白的生物工程研究.....	150
参考文献.....	152

第 1 章

马槟榔种源界定及文献描述

首先，因地域不同，人们对马槟榔 (*Capparis masaikai* Levl.) 的称呼迥然有异，如水槟榔、屈头鸡、山槟榔、太极子、马金囊、马金南、紫槟榔等。其次，由于不同的文献作者所处环境不同或条件有限，对马槟榔的描述相差甚远。因此，在详细介绍此神秘野果之前，我们首先要为其正名——马槟榔。

记录马槟榔生物学特性的文献并不多，现将查阅到的相关资料进行整理，并分别从马槟榔的名称与分类、形态特征、野生生境、分布范围、生长习性等方面进行概述。

1.1 名称与分类

马槟榔所在属植物种类较多 (我国有 31 种)，有些种的植物形态特征极其相近或相似，在文献资料、中药名、民间称呼中该属植物的学名、别名、俗名等相互混杂，如马槟榔的别名就与几种同属植物相同。祁振声曾撰文考证过云南马槟榔，并指出《中国高等植物图鉴 (第二册)》将水槟榔作为学名、将马槟榔作为别名的错误所在。又如《中国植物志》称马槟榔 (云南屏边、西畴) 为水槟榔 (广西河池、白色)，屈头鸡，山槟榔 (云南西畴)，太极子 (云南中药名)，《本草纲目》中记载马槟榔的释名为马金囊、马金南、紫槟榔，《中华人民共和国药典》记载马槟榔别名为太极子、马金囊、马金南、紫槟榔、水槟榔、山槟榔等，《中国高等植物图鉴》称马槟榔为水槟榔、马槟榔、屈头鸡等。据调查，在广西，这种植物称为水槟榔、紫槟榔，其种子有甜味，干后能入药，但屈头鸡的别名应该有误，《中国高等植物图鉴 (补编第一册)》后来予以更正。然而，这些称呼中的水槟榔、紫槟榔、屈头鸡均指马槟榔所在属中不同于马槟榔的种：水槟榔实为野槟榔 (*C. chingiana* B.S. Sun)，紫槟榔实为文山山柑 (*C. fengii* B. S. Sun)，在分类检索表中屈头鸡 (*C. versicolor* Griff.) 与马槟榔极相似。在医药领域，广西和云南入药的马槟榔，其原植物多为水槟榔 (*C. pterocarpa* Chun.)，在广东屈头鸡的种子亦作马槟榔使用。而别名为马槟榔的

文山山柑与马槟榔种子相似，外观性状难以区分，民间曾把文山山柑作为马槟榔药用，造成误服文山山柑种子过量而中毒，严重者呕吐不止而死。

马槟榔在不同文献中划分科属的中文名不同，《中国种子植物科属词典》(1982)把 *Capparis* 称为槌果藤属，归属白花菜科 (Capparidaceae)。近代有分类系统主张将白花菜目下广义的白花菜科 [原来分有山柑亚科 (Capparidiodaceae) 和白花菜亚科 (Cleomoiceae)] 分成 2 科，分别为山柑科 (Capparidaceae) 和白花菜科 (Cleomaceae)，那么 *Capparis* 就是山柑属，由此，马槟榔所在的山柑属就归属在山柑科。文献对马槟榔的分类有两种：一种是归为白花菜科 (Capparidaceae) 槌果藤属 (*Capparis*)；另一种为山柑科 (Capparidaceae) 山柑属 (*Capparis*)。虽然归类不同，但拉丁文一样，到目前为止，这两种归类法都在运用。如 1972 年版的《中国高等植物图鉴 (第二册)》将马槟榔归为白花菜科槌果藤属植物，1998 年代正福发表的文章和 1986 年版《广西植物志》中记载也是如此。而在 1977 年版《中华人民共和国药典 (一部)》、1979 年版《云南植物志 (第二卷)》中将马槟榔归入山柑科山柑属。1982 年版的《中国高等植物图鉴补编第一册》改变了 1972 年版的归类方法，将马槟榔归为山柑科山柑属。

本书所界定的马槟榔是以中国科学院植物研究所主编的《中国高等植物图鉴补编第一册》中记载的马槟榔为研究对象。下文为马槟榔科属检索表。

山柑科 Capparidaceae

草本、灌木或乔木，有时为木质藤本，无乳汁。叶互生，很少对生，单叶或掌状复叶；托叶细小，刺状或腺状，有时无托叶。花序由数至多花组成顶生或腋生的总状；伞房状或圆锥花序，或 2 至数花沿枝条向上排成一短纵列腋上生，少有单花腋生，花异被，两性，稀杂性或单性，辐射对称或两侧对称，常有苞片；萼片 4~8，常为 4 片，排成 2 轮或 1 轮，分离或基部连生，少有外轮或全部萼片连生成帽状；花瓣 4~8，常为 4 片，与萼片互生，在芽中的排列为闭合式或开放式，分离，无柄或有爪，有时无花瓣；花托常延长成或长或短的雌雄蕊柄，常有各式各样的腺体；雄蕊 6 至多数，着生在花托基部或顶部，花丝在芽中时内折或螺旋形，花药背着，2 室，内向；雌蕊由 2 (~8) 心皮组成，有长或短的雌蕊柄，有时无柄；子房卵形或圆柱形，1 室有 2 至数个侧膜胎座，少有 3~6 室而具中轴胎座，花柱不明显，有时丝状，少有花柱 3 枚，柱头头状或不明显；胚珠常多数，弯生。果为有坚韧外果皮的浆果或瓣裂蒴果，球形或伸长。种子 1 至多数，肾形或多角形；胚弯曲，胚乳少量或不存在。

约 45 属，近 1000 种，主产热带与亚热带，少数至温带。我国有 5 属，42 种。

分属检索表

1. 果为浆果，常不开裂，既无胎座框，也无宿存中轴；乔木、灌木或木质藤本；单叶或有时为互生具 3 小叶的掌状复叶。
2. 有花瓣；子房具侧膜胎座；果为浆果状，有 2 至多数种子。
3. 叶为具 3 小叶的掌状复叶；无刺又无毛；花瓣在芽中时的排列为开放式，有爪

-**鱼木属 *Crateva* L.**
3. 叶为单叶; 常有刺与被毛; 花瓣在芽中时的排列为闭合式, 通常无爪.....
-**山柑属 *Capparis* Tourn. ex L.**
2. 无花瓣; 子房具中轴胎座; 果为核果状, 有种子1粒, 少有2粒(我国1种, 产于云南南部至东南部及海南).....
-**斑果藤属 *Stixis* Lour.**
1. 果为瓣裂蒴果, 有胎座框或有宿存中轴; 多为一年生草本, 少有木本; 叶为掌状复叶, 互生或对生, 具3~9小叶。
4. 木本, 叶对生; 花萼连生成帽状; 果开裂后具宿存中轴.....**节萌木属 *Borthwickia* w. w. Smith**
4. 草本, 叶互生; 花萼分离; 果开裂后具胎座框(我国6种及1变种, 主产长江以南各地, 少数分布至华北, 2种城市常见栽培).....**白花菜属 *Cleome* L.**

1. 鱼木属 *Crateva* L.

我国有4种, 分布于云南、广西、广东、台湾。

2. 山柑属 *Capparis* Tourn. ex L.

我国有31种, 除新疆产1种外, 其余分布于西南至台湾。

分种检索表

1. 花1/2~10朵排成一短纵列, 腋上生; 少有花完全单生、腋生。
2. 花单出腋生; 果实成熟后裂开(新疆).....**山柑 *C. spinosa* L.**
2. 花1/2~10朵排成一短纵列, 腋上生; 果实成熟后不裂开。
3. 果小型, 直径不过2cm; 花梗与雌蕊柄、果实均不木质化增粗, 直径约15mm或更细。
4. 小枝基部无钻形苞片状小鳞片。
5. 叶基部不为心形; 叶柄长在3mm以上。
6. 萼片长5/6~8/9mm; 雄蕊18/20~35; 雄蕊柄长2~3cm。
7. 新生枝被短茸毛, 后变无毛; 叶片长约为宽的2~2.5倍, 侧脉5~8/10对。
8. 叶卵形, 基部圆形或急尖, 从不下延; 小枝有刺, 刺常外弯; 被淡褐色或灰色毛(云南、四川西南部、贵州).....**野香橼花 *C. bodinieri* Levl.**
8. 叶常为椭圆形, 基部楔形或宽楔形, 向下渐狭延成叶柄; 小枝常无刺, 被锈色毛(云南、贵州、广西、广东).....**雷公橘 *C. membranifolia* Kurz.**
7. 新生枝常无毛; 叶片长约为宽的2.5~4.5/9倍, 侧脉7~10对。
9. 叶草质, 干后变黑色(表面尤其如此); 花蕾球形, 常1~3朵成一列; 花瓣外面无毛, 内被茸毛; 果实成熟后黑色(云南金平、屏边).....
-**黑叶山柑 *C. sabiaefolia* Hook. f. et Thoms.**
9. 叶革质或薄革质, 干后黄绿色; 花蕾长圆形, 常2~5朵成一列; 花瓣只在边缘或顶部被毛; 果实成熟后鲜红色(广东、福建、江西、湖南).....
-**独行千里 *C. acutifolia* Sweet, Sensu str.**
6. 萼片长5mm或更短, 雄蕊18/21或更少; 雌蕊柄长1~2cm。
10. 叶片稍宽(约2~4cm), 顶端缝缩成长3~7mm的短尖头, 中脉表面浅凹; 小枝有强壮外弯的刺(云南西部).....**薄叶山柑 *C. stenera* Dalz.**
10. 叶片稍狭(约1~2/3cm), 顶端渐狭延成1/1.5~2.5cm的长尾, 中脉表面平; 小枝常无刺, 如有刺, 刺小, 直或上举(云南、广西).....
-**小绿刺 *C. urophylla* F. Chun**

5. 叶基部心形, 无柄或近无柄 (广西西南部)……………无柄山柑 *C. subsessilis* B. S. Sun
4. 小枝基部有钻形苞片状小鳞片; 花常 7~10 朵排成一列, 数至多列着生在花枝中间一段无叶的轴上; 雄蕊 10~12 (云南南部)……………多花山柑 *C. multiflora* Hook. f. et Th.
3. 果大型, 直径常为 3~6 cm; 花梗与雌蕊柄果时均木质化增粗, 直径 3~6 mm 或更粗。
11. 小枝基部无钻形苞片状小鳞片; 花期时雌蕊柄基部有白色茸毛; 叶顶端有革质短尖头 (广东、广西)……………牛眼睛 *C. zeylanica* L.
11. 小枝基部有钻形苞片状小鳞片; 花期时雌蕊柄无毛; 叶无革质短尖头。
12. 花大型 (萼片长 15~20 mm), 单出腋生或 2 朵成一列腋上生; 雄蕊 50 以上 (海南)……………海南山柑 *C. hainanensis* Oliv. in Hook. Ic. Pl.
12. 花中等大, 萼片 7~10/13 mm, 常 2~6 朵成一列, 腋上生; 雄蕊 35 以下。
13. 雄蕊 20~35; 小枝常无刺, 如有刺, 刺长约 1 mm (云南南部、广西合浦、海南)……………小刺山柑 *C. micracantha* DC.
13. 雄蕊 8/12~16; 小枝有上举或内弯长 6~7 mm 的刺 (我国台湾省东部及南部)……………长刺山柑 *C. henryi* Matsum.
1. 花排成伞房状、亚伞形或总状花序, 常再组成圆锥花序。
14. 小枝及花序基部均有钻形苞片状小鳞片。
15. 花期时子房及雌蕊柄被毛; 花 1 至数朵成腋生短总状花序, 序轴不明显至长数毫米, 有时数花簇生于叶腋 (海南)……………毛蕊山柑 *C. pubiflora* DC.
15. 花期时子房及雌蕊柄无毛; 花很多, 排成顶生或近顶生的总状花序, 序轴纤细, 长 10~25/28 cm (云南南部及东南部)……………总序山柑 *C. assamica* Hook. f. et Th.
14. 小枝及花序基部均无钻形苞片状小鳞片。
16. 伞房、亚伞形或短总状花序不具总花梗, 顶生或在花枝上部有单花腋生与数花在枝顶集生。
17. 花中等至大型, 萼片长 6~15 mm 或更长; 雌蕊柄长在 15/20 mm 以上; 花梗与雌蕊柄果时常木质化增粗。
18. 叶柄长 1~3/4 mm; 花期时雌蕊柄基部无毛。
19. 雌蕊柄长 3~4 cm; 果椭圆形, 干后灰色 (云南)……………元江山柑 *C. wui* B. S. Sun
19. 雌蕊柄长 1.5~2 cm; 果球形, 干后黑褐色 (幼果均如此) (海南)……………多毛山柑 *C. dasyphylla* F. Chun
18. 叶柄长在 5 mm 以上; 花期时雌蕊柄基部有白色长柔毛。
20. 子房及幼果表面光滑无毛 (成熟果未见) (云南南部)……………英莲叶山柑 *C. viburnifolia* Gagn.
20. 子房及果实表面密被锈色茸毛 (云南南部)……………毛果山柑 *C. trichocarpa* B. S. Sun
17. 花小型, 萼片长 3~4 mm; 雌蕊柄长 5/6~13 mm; 花梗与雄蕊柄果时均不木质化增粗 (广东雷州半岛、海南、广西南部沿海、云南南部)……………青皮刺 *C. sepiaria* L.
16. 伞房、亚伞形或短总状花序有总花梗, 腋生及常在枝端再组成圆锥花序。
21. 叶背被极密灰黄色永不脱落的柔毛 (云南东南部、广西西部)……………毛叶山柑 *C. pubifolia* B. Sun
21. 叶背无毛, 或幼时被毛, 长成时变无毛。

22. 花大型, 萼片长 8/10~18/21 mm; 外轮萼片革质或木质; 雄蕊 45/50~120。
23. 新生枝无毛; 叶厚革质, 幼时即两面无毛。
24. 叶基部心形, 干后暗红色; 叶柄长约 1~1.2 cm; 果椭圆形, 长 7~13 cm, 表面平滑 (云南南部).....勐海山柑 *C. fohaiensis* B. S. Sun
24. 叶基部楔形至近圆形, 干后黄绿色; 叶柄长 1.5~2.5 cm; 果球形, 直径 3~7.5 cm, 表面平滑或有时具疣状突起 (台湾、广东、海南).....台湾山柑 *C. formosana* Hemsl.
23. 新生枝被毛; 叶薄革质或革质, 幼时背面被毛, 后变无毛。
25. 果表面平滑, 无肋棱, 顶端圆形至呈短喙状, 干后不呈红紫褐色; 叶仅幼时背面略被短柔毛, 稍后即变无毛; 被毛呈黄褐色 (云南西部至南部).....苦子马槟榔 *C. yunnanensis* Craib et W. W. Smitl
25. 果表面有 4~8 条纵行不规则鸡冠状隆起的肋棱, 肋间有不规则的突起, 顶端有长 5~15 mm 的喙, 干后呈红紫褐色; 叶背被毛, 晚期渐变无毛; 被毛呈红褐色 (云南南部、广西北部及西北部、贵州南部).....马槟榔 *C. masaikai* Levl.
22. 花中等或小型, 萼片长 2~10 mm; 外轮萼片革质或薄革质; 雄蕊 45~50 或更少, 少有雄蕊多至 70。
26. 萼片长 6~10 mm; 雌蕊柄长 2~5 cm, 果时直径在 2 mm 以上; 果较大, 直径常为 3~5 cm。
27. 花序下部有数花, 花梗基部有 1 对黄色小刺; 花枝上刺强壮, 长达 5 mm, 外弯成钩状 (云南南部、广西北部至西北部).....野槟榔 *C. chingiana* B. S. Sun
27. 花序中无刺; 花枝无刺, 或有短而直的刺。
28. 花成亚伞形花序, 有花 1/2~5 朵; 花萼外无毛; 雄蕊 35 或更多。
29. 新生枝被褐色短柔毛, 后变无毛, 但在叶柄与节的附近始终能见残存被毛; 叶顶端微缺, 总花梗顶端常有 1~3 片败育的小型叶; 雄蕊 50~70 (广东、广西).....屈头鸡 *C. versicolor* Griff.
29. 新生枝无毛; 叶顶端有小凸尖头; 总花梗顶端无败育的小型叶; 雄蕊约 35 (云南东南部).....文山山柑 *C. fengii* B. S. Sun
28. 花成短总状或伞房状花序, 有花 7~12 朵; 花萼外被短柔毛; 雄蕊约 25 (云南南部).....屏边山柑 *C. khuamak* Gagn.
26. 萼片长 2~5/6 mm; 雄蕊柄长 4~12 mm, 果时不木质化增粗, 直径常在 1 mm 左右; 果较小, 直径 1~2/2.5 cm。
30. 小枝被毛, 后变无毛; 萼片花后即脱落; 雄蕊 20~45; 胎座 2 (云南南部、广西、广东、贵州南部及福建).....广州山柑 *C. cantoniensis* Lour.
30. 小枝无毛; 萼片花后短期宿存; 雄蕊 7~9/12; 胎座 4 (我国台湾省南部).....少蕊山柑 *C. floribunda* Wight.

注: 检索表中植物种名下画横线的为马槟榔 (*C. masaikai* Levl.)

由检索表中内容可知, 我国马槟榔同属植物有 31 种, 其中与马槟榔形态相近的种类有 7 种: 勐海山柑 (*C. fohaiensis* B. S. Sun)、台湾山柑 (*C. formosana* Hemsl.)、苦子马槟榔 (*C. yunnanensis* Craib et W. W. Smitl)、野槟榔 (*C. chingiana* B.

S. Sun)、屈头鸡 (*C. versicolor* Griff.)、文山山柑 (*C. fengii* B. S. Sun)、屏边山柑 (*C. khuamak* Gagn.)。其中有4种因植株形态或种子形态相近而经常被混淆: 马槟榔 (*C. masaikai* Levl.)、野槟榔 (水槟榔) (*C. chingiana* B. S. Sun)、屈头鸡 (保亭槌果藤) (*C. versicolor* Griff.) 和文山山柑 (*C. fengii* B. S. Sun)。这4种野生种质资源的生物学特征很相似,但在植株、花、果实、种子等形态结构方面也存在差别。

(1) 马槟榔

木质藤本植物,藤长可达50 m。幼枝先端密被红褐色毛,老枝无毛,但密生气孔。单叶互生,叶片卵形或椭圆形,长8~20 cm,全缘,上面深绿色,下面灰绿色至黄褐色,叶背被毛,晚期渐变无毛,叶脉羽状,正面平滑,背面突起,叶柄有凹槽,刺状托叶2枚,质硬,外弯。花白色,顶生或腋生,由多个伞形花序组成硕大的圆锥花序,花枝无刺,总花柄长1~4 cm,小花柄长1~2.5 cm,密被黄褐色短茸毛;萼片4,2轮,为倒卵形,长1~2 cm,两面均被咖啡色短毛;花瓣4,长倒卵形,覆瓦状排列,长1.3~1.7 cm,被白色柔毛;雄蕊50枚以上;子房卵形,子房柄长4 cm,花柱不明显。果实球形,直径4~8 cm,成熟时紫红色,表面有4~8条不规则纵皱。种子数枚,黑褐色或灰褐色;花期4月,果期11月。

(2) 野槟榔

老枝褐色,幼枝密被褐色毛。单叶互生或对生,有短柄;叶片椭圆形,长7~12 cm,宽4~7 cm,先端钝尖,基部楔形,全缘,表面绿色光亮,背面灰绿色,有细毛,叶脉羽状,两面突起,叶片干后为褐色;托叶有时变为钩刺。花枝上有刺,花白色,花萼4,两轮排列,长0.2~1.0 cm;花瓣4;雄蕊多数;子房柄粗,长达3 cm,木质,果实卵形或近球形,长达2 cm;种子黄白色或猩红色;花期3~6月;果期8~12月。

(3) 屈头鸡

攀缘灌木,枝上有下弯的硬刺,嫩枝被微柔毛。叶纸质,椭圆形或长圆形,长4~8 cm,顶端短尖,钝头,基部楔尖;侧脉每边5~8条;叶柄长5~10 mm,被微柔毛。花夏季开放,有香气,长2~4朵排成顶生和腋生的伞形花序,很少单花,总花梗很短;花梗长2~3 cm,无毛;萼片4,外面2片卵圆形,里面2片椭圆形,长8~10 mm;花瓣4,白色或淡红色,倒卵形,雄蕊多数比花瓣长很多;子房1室。浆果大,卵球形,直径3~5 cm,果皮厚3 mm,表面粗糙,常有槽纹,种子近肾形,长1.5~2.5 cm。

(4) 文山山柑

攀缘灌木,高达10 m,除花瓣外全体光滑无毛;新生枝无毛,干后黄褐色,老枝近圆柱形,暗褐色,髓部白色;小枝上刺呈黄色半球形突起,枝上刺粗壮,

长2~3 mm, 外弯。叶长圆状披针形, 长9~12 cm, 宽3~4 cm, 长成时坚纸质, 干后两面黄绿色, 顶端急尖或渐尖, 有长2~3 mm的小凸尖头, 基部急尖, 两侧略不对称, 中脉稍阔, 表面下凹, 背面凸起, 暗红色, 侧脉纤细, 9~10/13对, 两面微凸, 网状脉不甚明显; 叶柄半圆柱形, 长5~11 mm。伞房状花序腋生及顶生, 有花2~5朵, 花序上无小型叶, 总花梗扁平, 长1~3 cm; 花初时白色后转红色, 花梗长1.5~3 cm, 果时木化增粗, 直径约3 mm; 萼片长约9 mm, 宽约7 mm, 外轮内凹成舟形, 内轮近扁平, 倒卵形, 内外均无毛; 花瓣倒卵状长圆形, 长约15 mm, 外面中部以下密被短茸毛, 内面全体被毛; 雄蕊约35枚; 雌蕊柄长3~5 cm, 无毛, 果时木化增粗, 直径约3 mm; 子房近球形, 无毛, 约(2~2.5) mm×(1.5~2) mm, 顶端有极短的喙, 胎座4, 每胎座有多数胚珠。果近球形, 长5.5~6 cm, 直径约5 cm, 表面密被细疣状突起, 干后暗黄褐色, 果皮厚约2 mm, 淡红色; 种子大, 长与宽约2 cm, 厚约1.3 cm; 花期4~5月, 果期10月。

以上4种植物特征对比, 可以清晰地判别马槟榔。为规范马槟榔的学名及别名, 建议采用中国科学院植物研究所主编的《中国高等植物图鉴 补编第一册》中记载的“马槟榔(*C. masaikei* Levl.)”一名, 在发表学术论文或撰写正式文件、文献时尽可能不使用别名或俗名。因此, 本书介绍的对象界定为种子植物门被子植物亚门双子叶植物纲山柑科山柑属植物马槟榔(*C. masaikai* Levl.)。

1.2 文献对马槟榔形态特征的描述

《中国高等植物图鉴 第二册》对马槟榔的形态特征描述为: 攀缘灌木; 小枝黄绿色, 幼时密生褐色毛, 老枝褐色, 无毛。叶革质, 椭圆形, 长7~13 cm, 宽3.5~7 cm, 先端圆钝, 具小尖, 基部宽楔形或圆形, 全缘, 上面光亮, 无毛, 下面有细柔毛, 侧脉8~10对; 叶柄长约1.5 cm; 托叶有时成短刺, 长2~3 mm。近伞形花序; 萼片4; 花瓣4, 白色; 雄蕊多数; 子房柄粗, 木质, 长达3 cm。果实卵形或近球形, 长2~3 cm, 褐色, 不裂, 先端具1喙, 果皮皱缩, 有不规则棱及粗短棘状突起。

《中国植物志》对马槟榔的形态特征描述更详细: 灌木或攀缘植物, 高达7.5 m。新生枝略扁平, 带红色, 密被锈色短茸毛, 有纵行的棱与凹陷的槽纹; 刺粗壮, 长达5 mm, 基部膨大, 尖利, 外弯, 花枝上常无刺。叶椭圆形或长圆形, 有时椭圆状倒卵形, 长7~20 cm, 宽3.5~9 cm, 顶端圆形或钝形, 有时急尖或渐尖, 基部圆形或宽楔形, 近革质, 干后常呈暗红褐色, 表面近无毛, 背面密被脱落较迟的锈色短茸毛, 中脉稍宽阔, 表面微凹, 背面淡紫色, 凸起, 侧脉6~10对, 背面微凸起, 与中脉同色, 网状脉不明显; 叶柄粗壮, 长12~21 mm, 直径约2 mm, 被毛与枝相同。亚伞形花序腋生或在枝端再组成10~20 cm长的圆锥