

DOI: 10.11913/PSJ.2095-0837.2020.40558

刘媛霜, 万俊男, 周亚东, 辛海平, 王青锋. 猴面包树属植物的研究进展[J]. 植物科学学报, 2020, 38(4): 558~564

Liu YS, Wan JN, Zhou YD, Xin HP, Wang QF. Research progress on *Adansonia*[J]. *Plant Science Journal*, 2020, 38(4): 558~564

猴面包树属植物的研究进展

刘媛霜^{1,2}, 万俊男¹, 周亚东¹, 辛海平^{1*}, 王青锋¹

(1. 中国科学院武汉植物园生物多样性研究中心, 武汉 430074; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 猴面包树属(*Adansonia*)植物为高大落叶乔木, 隶属锦葵科木棉亚科, 原产于非洲和澳大利亚。该属植物因其硕大的茎干、极强的耐旱能力及长寿的特点受到世界范围的广泛关注。猴面包树属植物可利用价值较高, 在古气候重建、生物起源进化、生物多样性保护等方面具有重要意义。本文从地理分布、形态结构、功能用途和起源进化等方面对猴面包树属植物的相关研究进行了综述, 并从其抗旱机理、开发利用、起源进化和保护繁育等方面进行了展望。

关键词: 猴面包树属; 形态结构; 功能用途; 起源进化

中图分类号: S792

文献标识码: A

文章编号: 2095-0837(2020)04-0558-07

Research progress on *Adansonia*

Liu Yuan-Shuang^{1,2}, Wan Jun-Nan¹, Zhou Ya-Dong¹, Xin Hai-Ping^{1*}, Wang Qing-Feng¹

(1. Biodiversity Research Center, Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: *Adansonia* are tall deciduous trees of the subfamily Bombacoideae (Malvaceae) native to Africa and Australia. They have attracted much attention worldwide due to their swollen trunks, excellent drought tolerance, and longevity. *Adansonia* are of great significance in paleoclimatic reconstruction, biological origin and evolution, and biodiversity conservation. In this paper, advances in research on *Adansonia* are summarized from the perspective of geographical distribution, morphological structure, functional utilization, and origin and evolution. Future research prospects are also discussed in regard to drought resistance mechanisms, exploitation and utilization, origin and evolution, and biodiversity conservation.

Key words: *Adansonia*; Morphological structure; Functional utilization; Origin and evolution

猴面包树属(*Adansonia*)是锦葵科(Malvaceae)木棉亚科的一类高大的落叶乔木, 其英文名统称为 Baobab, 原产于非洲和澳大利亚^[1, 2]。该属植物具有硕大的茎干、极强的耐旱能力和超长的树龄等特点, 受到世界范围的广泛关注, 在探讨植物起源进化、物种多样性保护、古气候重建等方面具

有重要的科研价值。目前针对猴面包树属的研究涵盖了物种分类、起源进化、形态结构、功能应用等方面, 但已有的综述或局限于某一具体领域^[3, 4], 或局限于其中某一物种^[5], 仍然缺少对该属植物研究进展的全面综述。本文综述了近年来猴面包树属植物在地理分布、形态结构、功能用途和起源进化等方面

收稿日期: 2019-12-09, 退修日期: 2019-12-19。

基金项目: 中国科学院中-非联合研究中心项目(SAJC201613)。

This work was supported by a grant from the Sino-African Joint Research Center of the Chinese Academy of Sciences (SAJC201613).

作者简介: 刘媛霜(1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向为植物多样性与进化(E-mail: liuyuanhuang18@mails.ucas.ac.cn)。

* 通讯作者(Author for correspondence. E-mail: xinhaiping@wbgcas.cn)。

面的研究进展, 提出了目前对该属植物的抗旱机理、开发利用、起源进化和保护繁育等4个方面的研究存在的问题, 并对今后的研究方向进行了展望。

1 猴面包树属植物的种类和分布

猴面包树属植物喜温耐旱, 主要分布于非洲大陆、马达加斯加和澳大利亚等热带地区, 其自然分布区的年平均温度为20~30°C, 年平均降水量为300~800 mm。该属植物共有8种, 非洲大陆1种, 马达加斯加6种, 澳大利亚1种^[2, 6]。非洲大陆的1种为猴面包树(*A. digitata* L.), 其分布在撒哈拉以南大部分地区, 与2012年在非洲大陆发现的小花猴面包树(*A. kilima* Pettigrew & al.)经证实是*A. digitata*的异名^[2, 7]。因猴面包树属植物喜生于干旱环境, 马达加斯加的6个种主要沿岛的西侧分布, 岛东侧的湿润森林区域没有分布, 其中灰岩猴面包树(*A. suarezensis* H. Perrier)和大果猴面包树(*A. perrieri* Capuron)这两种仅产于最北部的一小块地区; 红花猴面包树(*A. madagascariensis* Baill.)分布于西北沿岸至中部地区; 红皮猴面包树(*A. rubrostipa* Jum. & H. Perrier)和大猴面包树(*A. grandidieri* Baill.)分布在中部和南部地区; 亮叶猴面包树(*A. za* Baill.)具有巨大的生态可塑性, 是马达加斯加分布最广的猴面包树种, 从南到北均有分布^[8, 9]。澳洲猴面包树(*A. gregorii* F. Muell.)主要分布在澳大利亚西北部的金伯利地区, 在北部地区有一小部分向东延伸到维多利亚河区^[2, 10]。在世界自然保护联盟濒危物种红色名录中, 猴面包树属2个物种为濒危, 1个为近危, 1

个为极危^[11~17](表1)。

2 猴面包树属植物的特征

2.1 猴面包树属植物的形态特征

猴面包树属植物的茎干可以储存大量的水分。一株成年个体高可达20~30 m, 胸径可达2~10 m, 主根膨大, 侧根系统发达, 可以延伸至距主干50 m处^[3]。其树枝在落叶期看起来就像庞大的根系伸向天空, 所以猴面包树属植物也被称为倒栽树^[3, 18]。猴面包树属植物树皮光滑, 常为灰白色或红灰色。幼叶为单叶或由2~3个小叶组成的复叶, 成熟叶为5~11个小叶的掌状复叶, 托叶早落, 边缘全缘或齿状, 无柄或具叶柄, 先端锐尖到细尖, 叶片无毛到被绒毛, 毛单一或丛生^[6]。花大, 为白色、黄色或暗红色, 雄蕊多数^[6]。猴面包树属植物有两个不同的传粉系统, 与该属植物的花形态、物候和花蜜香气的多样性有关。所有由蝙蝠或哺乳动物授粉的物种都有一种酸味, 所有由昆虫授粉的物种都有一种香甜的气味^[6]。果实变化多样, 通常为球形到卵球形, 有时为长圆筒形, 先端尖或钝, 被黄色或绿色绒毛, 果实不开裂, 肾形种子包被于粉状果肉中^[6](图1)。

2.2 猴面包树属植物的结构特点

所有大型的猴面包树属植物的茎干都是多茎融合而成的, 且在中部有多个茎干融合而形成的空腔^[8]。这是由于猴面包树属植物会周期性的产生新的茎, 随着时间推移, 茎干之间发生融合使茎干结构变得更加复杂^[19]。猴面包树属植物的茎干不仅硕大而且其薄壁组织极为发达, 可以储存大量水

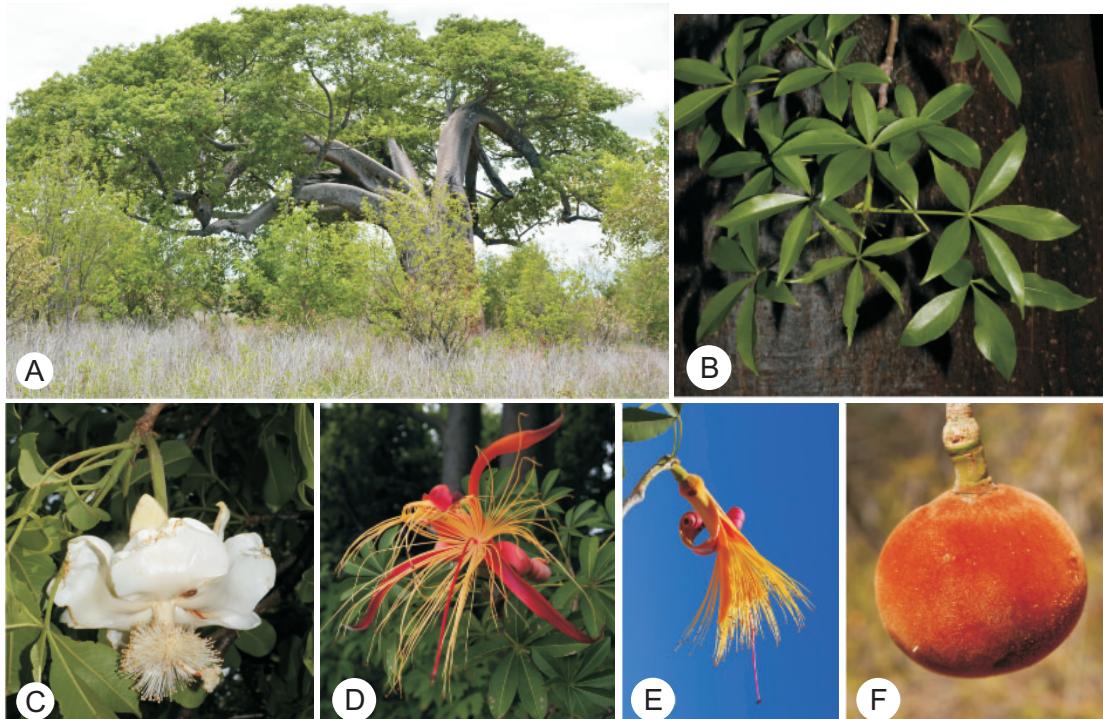
表1 猴面包树属植物的地理分布与濒危等级

Table 1 Geographical distribution and endangered status of *Adansonia*

中文名 Chinese name	拉丁名 Scientific name	分布 Distribution	濒危等级 Endangered grade	参考文献 Reference
猴面包树	<i>A. digitata</i> L.	非洲大陆及周边岛屿		[2, 6]
灰岩猴面包树	<i>A. suarezensis</i> H. Perrier	马达加斯加	EN	[2, 6, 11]
红花猴面包树	<i>A. madagascariensis</i> Baill.	马达加斯加	NT	[2, 6, 12]
大果猴面包树	<i>A. perrieri</i> Capuron	马达加斯加	CR	[2, 6, 13]
红皮猴面包树	<i>A. rubrostipa</i> Jum. & H. Perrier	马达加斯加	LC	[2, 6, 14]
大猴面包树	<i>A. grandidieri</i> Baill.	马达加斯加	EN	[2, 6, 15]
亮叶猴面包树	<i>A. za</i> Baill.	马达加斯加	LC	[2, 6, 8, 16]
澳洲猴面包树	<i>A. gregorii</i> F. Muell.	澳大利亚	LC	[2, 6, 10, 17]

注: EN. 濒危; NT. 近危; CR. 极危; LC. 无危。

Notes: EN. Endangered; NT. Near threatened; CR. Critically endangered; LC. Least concern.



A ~ C: 猴面包树 (*Adansonia digitata*)；D: 红花猴面包树 (*A. madagascariensis*)；E ~ F: 红皮猴面包树 (*A. rubrostipa*)。

图1 非洲与马达加斯加猴面包树属部分植物
Fig. 1 *Adansonia* species from Africa and Madagascar

分,这一特点使其具有极强的耐旱特性,适应其生长环境。一般认为该特点以备缺水时使用,但也有研究表明猴面包树属植物对蓄水的利用能力有限^[20, 21]。Chapotin 等^[22]的研究表明马达加斯加的猴面包树属植物 (*A. rubrostipa* 和 *A. za*) 使用蓄水来萌生新叶,但是在雨季之前并不支持气孔的开放,这是由于猴面包树属植物的树干极易发生空化,且边材的传导性被限制在树皮下 1 ~ 2 cm,水分在茎部运输具有较大阻力,这样的水分移动速度可能满足生长的需要,但不能满足活跃生长的叶片光合作用的需要。猴面包树属植物的果壳极具耐热特性,能很好地适应火灾多发的热带稀树草原。Kempe 等^[23]根据火灾时的温度和高温持续时间对 *A. digitata* 和 *A. gregorii* 的果实进行了简单的热实验,结果发现植物的外壳能够延迟壳内温度升高,表明两种植物的果壳在火灾时能保护内部种子的生存能力;同时他们也探究了高温对种子萌发的影响,结果表明高温能提高种子的发芽率。

2.3 猴面包树属植物的年龄特点

猴面包树属植物寿命极长。2004 年最古老的

A. digitata 在纳米比亚东北部意外倒塌之后,Patrut 等^[24]就用加速器质谱放射性碳年代测定法对倒塌的猴面包树的年龄进行测定,该样本对应的校准日历年年龄为 (1275 ± 50) 年。后续 Patrut 等^[25, 26]对马达加斯加猴面包树的结构和年龄进行调查,发现 *A. rubrostipa* 和 *A. grandiflora* 是马达加斯加最古老的猴面包树。其中一棵 *A. rubrostipa* 由 3 个不同年龄的茎干融合组成,最古老样本的放射性碳测定值为 (1136 ± 16) 年^[25], *A. grandiflora* 最古老样本的放射性碳测定值为 (1274 ± 20) 年^[26]。由于猴面包树属植物寿命极长,其茎干结构为重建非洲南部地区的长期古降水记录提供了可能。Woodborne 等^[27, 28]根据非洲南部两个地区猴面包树的碳同位素分析得出了该地 1000 年的降雨记录。

3 猴面包树属植物的功能用途

3.1 猴面包树属植物的有效成分

猴面包树属植物各个部分含有很多生物有效成分。干叶片富含蛋白质、糖类、纤维素、β 胡萝卜

素和维生素 A 的初级产物; 嫩叶片含有丰富的多糖, 以及丰富的矿质营养元素, 如钙、铁、钾、镁、锌等; 果实含有丰富的膳食纤维、柠檬酸, 以及铁、钙、镁、锌、磷等矿质元素^[29]; 果肉富含维生素 C; 种子含有蛋白质、脂肪、糖类、维生素 B₁、维生素 C; 树皮中含有可溶或不可溶的单宁、树胶、甙类。猴面包树属植物的这些有效成分使其在营养、药用价值方面具有重要作用。

3.2 猴面包树属植物的功能用途

猴面包树在非洲与当地居民以及动物的生活息息相关, 在整个非洲备受尊崇^[30]。非洲本土居民对猴面包树非常感兴趣, 树木具有多种应用价值^[31]。首先是食用价值, 猴面包树的嫩叶和果实富含多种营养成分, 可被人类和动物食用。猴面包树的叶片具有较大的营养价值, 其嫩叶可作为蔬菜食用, 成熟叶片经过干燥磨粉后可添加到粥或者面食中^[32]。然而, 也有研究表明, 猴面包树的叶子含有重金属元素砷, 需减少猴面包树的叶片在饮料和面食中的使用, 以避免摄入过量重金属元素^[33]。因此, 在猴面包树叶片的利用方面出现了矛盾, 如何合理利用成为亟待解决的问题。富含多酚的猴面包树果肉提取物能降低人体的淀粉消化和血糖反应^[34]。所以将猴面包树果肉提取物添加到食品中, 可以增加人的饱腹感, 减少健康成年人对胰岛素的需求量, 对减少饥饿和维持体重具有积极作用^[35, 36]。猴面包树果肉中维生素 C 含量特别丰富, 每 100 g 果肉含 150 ~ 300 mg 维生素 C。40 g 果肉的摄入量相当于孕妇每日推荐摄入量的 84% ~ 100% 以上^[4]。猴面包树的果肉还可用于制作一种功能性益生菌乳制品^[37]。猴面包树的种子油是非干性油, 是上等的食用油^[5], 种子油提取物具有潜在的抗氧化和抗菌作用, 可作为一种天然抗氧化添加剂^[38]。因此, 猴面包树具有潜力成为改善非洲数百万人营养的植物^[32]。

猴面包树还具有药用价值。在非洲本地, 猴面包树是传统药材的重要来源之一, 可用于治疗多种疾病, 如腹泻、疟疾和微生物感染等。研究表明, 猴面包树果肉的提取物对于 15-脂氧合酶的抑制活性很高, 是具有应用前景的抗炎药^[39]。猴面包树的树皮水提物具有镇痛特性^[40], 其果肉和叶片提取物含有较高的总酚含量, 具有良好的抗氧化活性^[36, 39]。猴面包树果肉提取物还对乙酰氨基酚引

起的肝毒性具有明显的保护作用, 可通过清除自由基、增强抗氧化防御系统, 改善脂质过氧化作用^[41]。猴面包树茎皮提取物通过降低组织过氧化作用和提高内源性抗氧化能力, 对疟疾感染具有保护作用^[42, 43]。猴面包树是一种潜在的治疗多种疾病的植物, 因此需要进一步开展研究, 为猴面包树在民族药物学中的充分利用提供基础。

猴面包树属植物还具有其他经济价值^[5], 其树皮富含纤维, 可制作绳索和包装材料, 树皮也是马达加斯加当地居民搭建房屋的重要材料; 果实的外壳可以作为长柄勺子、盛器或雕刻为工艺品; 其果浆常作为黏稠剂用于食品加工; 花粉用于制胶; 种子除食用外还可用于提取精油, 用于化妆品行业, 治疗皮肤问题。猴面包树叶黏液也可作为悬浮剂^[44], 猴面包树根粉是一种廉价、环保的植物吸附剂, 能有效的去除水溶液中的 Pb²⁺、Cd²⁺ 和 Cu²⁺^[45, 46]。猴面包树还具有很高的文化价值^[47]和耐高温、耐贫瘠、耐涝的生态价值^[5]。同时, 猴面包树属植物树形高大且独特, 极具观赏价值, 在马达加斯加的猴面包大道, 夕阳下的猴面包树林美景享誉全球。

4 猴面包树属植物的起源和进化

猴面包树属植物的起源、发展及变迁是研究者关注的焦点, 探明该属植物的进化途径和机制对其多样性的保护有重要意义。锦葵科木棉亚科的系统发育学研究结果显示, 猴面包树属在系统发育上构成一个单系类群^[48]。Baum 等^[49]利用 4 组数据(包括叶绿体 DNA 限制性位点、叶绿体内含子序列 *rpl16*、核糖体 DNA 内转录间隔区序列 ITS 和形态学数据)对猴面包树属的系统发育关系进行了分析, 结果表明虽然马达加斯加是猴面包树属目前的多样性中心, 但是马达加斯加的物种在系统发育上构成一个单系, 因此并不能认定其为该属的起源中心; 非洲与澳大利亚猴面包树的分歧发生在冈瓦纳大陆分裂之后, 所以猴面包树在非洲与澳大利亚的间断分布格局是通过长距离散布形成的。Leong 等^[50]经过叶绿体 DNA 谱系地理学的研究, 发现西非是 *A. digitata* 的起源中心, 后来通过自然和人为的传播, 向非洲大陆的东部热带地区以及附近岛屿散布。澳大利亚的猴面包树仅有 *A. gregorii* 一种, 且种内分化十分有限。Rangan 等^[10]通过比较澳

洲西北部土著人语言中对 *A. gregorii* 的构词形式随人类迁移的变化与 *A. gregorii* 遗传多样性的地理分布是否具有一致性, 来研究人类在 *A. gregorii* 基因流动中的作用, 发现两者的变化具有一致性, 结合同来自晚更新世和全新世的古植物学证据, 表明远古人类对澳大利亚西北部的 *A. gregorii* 地理分布的形成有显著影响。在马达加斯加, 已发现存在形态学中间类型的个体。Leong 等^[9] 利用微卫星数据, 发现马达加斯加 6 个物种之间存在明显的遗传分化, 这可能反映了它们对不同种类的气候和生境的适应; 而该数据还确认了不同猴面包树物种存在杂交后代个体, 表明杂交会在不同物种的二次接触中发生, 而杂交在马达加斯加猴面包树近期分化的过程中可能发挥了重要作用。

5 问题与展望

猴面包树属植物形态结构独特, 用途多样, 在世界范围受到广泛关注。但目前关于猴面包树属的研究存在局限性和不足。对于猴面包树属植物抗旱的分子机制方面, 目前的研究仅停留在形态观察层面, 其响应干旱胁迫应答的生理机理和分子机制尚未探明; 关于猴面包树属的应用仅局限于猴面包树这一物种, 涉及食用、药用、生态和文化等方面, 但对猴面包树的食用和药用方面的价值仍有待进一步挖掘。猴面包树属植物的进化研究方面, 目前的研究还没有明确属内进化历史, 并且也未阐明马达加斯加岛猴面包树多样性形成的原因以及非洲大陆四倍体的起源方式, 造成这一问题的原因, 主要是目前的研究采用的技术手段较为落后, 传统分子标记能够提供的数据量有限; 近年来很多古老的猴面包树个体出现倒塌和死亡, 但未能明确其死亡的原因, 同时全球气候变化如何影响猴面包树属植物的多样性等问题也有待进一步研究。

针对以上问题, 本文从以下 4 个方面对今后的研究方向进行了展望。

(1) 重点研究猴面包树属植物抗旱的分子机制。猴面包树属植物茎干粗壮, 可以储存大量水分, 该特征使其极具耐旱特性。目前研究者仅对其年龄、茎干结构与生长的关系进行了研究, 而其如何响应干旱胁迫的机理还未探明。故研究猴面包树属植物抗旱的分子机制, 找到猴面包树属植物抗旱相关的功能基因, 能够帮助解释其干旱适应的

机制。

(2) 增加对猴面包树属植物的开发与利用。猴面包树果实和种子具有食用和药用价值, 其在食品、饮品、辅料和药品等方面具有较大的应用前景。增加其在食用和药用方面的相关研究, 促进研究成果的转化, 加大对其果实和种子的开发利用并进行出口贸易, 这将对非洲的经济发展有所帮助。同时还应增加对猴面包树属其他物种应用的研究。

(3) 深入研究猴面包树属的起源与进化。研究者对猴面包树属的起源中心与系统发育历史研究较少, 属内进化历史尚未明确, 可利用基因组测序等先进技术手段对其进行深入的系统发育分析。

(4) 促进猴面包树属植物的保护和繁育研究。目前, 多个猴面包树属物种的生存受到威胁, 很多古老植物个体出现倒塌和死亡, 研究气候变化对于猴面包树属的影响并尽快揭示其死亡的原因, 提出应对措施和合理的保护措施显得尤为重要。同时, 建立一套成熟的快速繁殖技术对猴面包树属的繁育极为重要, 对生物多样性的保护也具有重要意义。

致谢: 感谢中国科学院植物研究所刘冰博士和中国科学院武汉植物园王生位博士提供部分猴面包树属植物的彩图。

参考文献:

- [1] Alverson WS, Whitlock BA, Nyffeler R, Bayer C, Baum DA. Phylogeny of the core Malvales: evidence from *ndhF* sequence data [J]. *Am J Bot*, 1999, 86(10): 1474–1486.
- [2] Pettigrew JD, Bell KL, Bhagwandin A, Grinan E, Jillani N, et al. Morphology, ploidy and molecular phylogenetics reveal a new diploid species from Africa in the baobab genus *Adansonia* (Malvaceae: Bombacoideae) [J]. *Taxon*, 2012, 61(6): 1240–1250.
- [3] Rahul J, Jain MK, Singh SP, Kamal RK, Anuradha, et al. *Adansonia digitata* L. (baobab): a review of traditional information and taxonomic description [J]. *Asian Pac J Trop Biomed*, 2015, 5(1): 79–84.
- [4] Chadare FJ, Linnemann AR, Hounhouigan JD, Nout MJR, van Boekel MAJS. Baobab food products: a review on their composition and nutritional value [J]. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 2009, 49(3): 254–274.
- [5] 刘扬, 李宏杨, 陈冠铭, 钟祥涛, 刘国民. 猴面包树研究进展 [J]. 热带农业科学, 2018, 38(8): 50–55.
Liu Y, Li HY, Chen GM, Zhang XT, Liu GM. Advances in research of *Adansonia digitata* [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture*, 2018, 38(8): 50–55.

- [6] Sidibe M, Williams JT. Baobab (*Adansonia digitata* L.) [M]. Southampton: International Centre for Underutilised Crops, 2002.
- [7] Cron GV, Karimi N, Glennon KL, Udeh CA, Witkowski E, et al. One African baobab species or two? Synonymy of *Adansonia kilima* and *A. digitata* [J]. *Taxon*, 2016, 65 (5): 1037–1049.
- [8] Patrut A, Patrut RT, Danthu P, Rakosy L, Leong Pock-Tsy JM, et al. AMS radiocarbon dating of large za baobabs (*Adansonia za*) of Madagascar [J]. *PLoS One*, 2016, 11 (1): e0146977.
- [9] Leong Pock-Tsy JM, Lumaret R, Flaven-Noguier E, Sauve M, Dubois MP, Danthu P. Nuclear microsatellite variation in Malagasy baobabs (*Adansonia*, *Bombacoideae*, *Malvaceae*) reveals past hybridization and introgression [J]. *Ann Bot*, 2013, 112(9): 1759–1773.
- [10] Rangan H, Bell KL, Baum DA, Fowler R, McConvell P, et al. New genetic and linguistic analyses show ancient human influence on baobab evolution and distribution in Australia [J]. *PLoS One*, 2015, 10(4): e0119758.
- [11] Members of the IUCN SSC Madagascar Plant Specialist Group and Missouri Botanical Garden. *Adansonia suarezensis* (errata version published in 2019) [J/OL]. *The IUCN Red List of Threatened Species*, 2017: e.T30389A145519699 [2020–07–08]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.20173.RLTS.T30389A145519699.en>.
- [12] World Conservation Monitoring Centre. *Adansonia madagascariensis* [J/OL]. *The IUCN Red List of Threatened Species*, 1998: e.T37681A10066258 [2020–07–08]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.1998.RLTS.T37681A10066258.en>.
- [13] Letsara R, Faramalala M, Razafindrahaja V, Faranirina L. *Adansonia perrieri* [J/OL]. *The IUCN Red List of Threatened Species*, 2019: e.T33612A64366847 [2020–07–08]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T33612A64366847.en>.
- [14] Letsara R, Faranirina L, Razafindrahaja V, Faramalala M. *Adansonia rubrostipa* [J/OL]. *The IUCN Red List of Threatened Species*, 2019: e.T37679A64366919 [2020–07–08]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T37679A64366919.en>.
- [15] Ravaomanalina H, Razafimanahaka J. *Adansonia grandieri* [J/OL]. *The IUCN Red List of Threatened Species*, 2016: e.T30388A64007143 [2020–07–08]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2016-2.RLTS.T30388A64007143.en>.
- [16] Letsara R, Faramalala M, Razafindrahaja V, Faranirina L. *Adansonia za* [J/OL]. *The IUCN Red List of Threatened Species*, 2019: e.T37680A64367122 [2020–07–08]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-3.RLTS.T37680A64367122.en>.
- [17] Botanic Gardens Conservation International (BGCI) and IUCN SSC Global Tree Specialist Group. *Adansonia gregorii* [J/OL]. *The IUCN Red List of Threatened Species*, 2019: e.T146626600A146626602 [2020–07–08]. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2019-2.RLTS.T146626600A146626602.en>.
- [18] Gebauer J, Adam YO, Sanchez AC, Darr D, Eltahir M, et al. Africa's wooden elephant: the baobab tree (*Adansonia digitata* L.) in Sudan and Kenya: a review [J]. *Genet Resour Crop Evol*, 2016, 63: 377–399.
- [19] Patrut A, Woodborne S, Patrut RT, Rakosy L, Lowy DA, et al. The demise of the largest and oldest African baobabs [J]. *Nat Plants*, 2018, 4(7): 423–426.
- [20] Chapotin SM, Razanameharizaka JH, Holbrook NM. A biomechanical perspective on the role of large stem volume and high water content in baobab trees (*Adansonia* spp.; *Bombacaceae*) [J]. *Am J Bot*, 2006, 93(9): 1251–1264.
- [21] Chapotin SM, Razanameharizaka JH, Holbrook NM. Water relations of baobab trees (*Adansonia* spp. L.) during the rainy season: does stem water buffer daily water deficits? [J]. *Plant Cell Environ*, 2006, 29(6): 1021–1032.
- [22] Chapotin SM, Razanameharizaka JH, Holbrook NM. Baobab trees (*Adansonia*) in Madagascar use stored water to flush new leaves but not to support stomatal opening before the rainy season [J]. *New Phytol*, 2006, 169(3): 549–559.
- [23] Kempe A, Neinhuis C, Lautenschläger T. *Adansonia digitata* and *Adansonia gregorii* fruit shells serve as a protection against high temperatures experienced during wildfires [J]. *Bot Stud*, 2018, 59(1): 7.
- [24] Patrut A, von Reden KF, Lowy DA, Alberts AH, Pohlman JW, et al. Radiocarbon dating of a very large African baobab [J]. *Tree Physiol*, 2007, 27(11): 1569–1574.
- [25] Patrut A, von Reden KF, Danthu P, Leong Pock-Tsy JM, Patrut RT, Lowy DA. Searching for the oldest baobab of Madagascar: radiocarbon investigation of large *Adansonia rubrostipa* trees [J]. *PLoS One*, 2015, 10(3): e0121170.
- [26] Patrut A, von Reden KF, Danthu P, Leong Pock-Tsy JM, Rakosy L, et al. AMS radiocarbon dating of very large Granddidier's baobabs (*Adansonia grandieri*) [J]. *Nucl Instrum Meth B*, 2015, 361: 591–598.
- [27] Woodborne S, Hall G, Robertson I, Patrut A, Rouault M, et al. A 1000-Year carbon isotope rainfall proxy record from south African baobab trees (*Adansonia digitata* L.) [J]. *PLoS One*, 2015, 10(5): e0124202.
- [28] Woodborne S, Gandiwa P, Hall G, Patrut A, Finch J. A regional stable carbon isotope dendro-climatology from the South African summer rainfall area [J]. *PLoS One*, 2016, 11(7): e0159361.

- [29] Magaia T, Uamusse A, Sjöholm I, Skog K. Dietary fiber, organic acids and minerals in selected wild edible fruits of Mozambique[J]. *Springerplus*, 2013, 2(1): 88.
- [30] Li XN, Sun J, Shi H, Yu LL, Ridge CD, et al. Profiling hydroxycinnamic acid glycosides, iridoid glycosides, and phenylethanoid glycosides in baobab fruit pulp (*Adansonia digitata*) [J]. *Food Res Int*, 2017, 99(1): 755–761.
- [31] Mathieu G, Meissa D. Traditional leafy vegetables in Senegal: diversity and medicinal uses [J]. *Afr J Trad Cam*, 2007, 4(4): 469–475.
- [32] Hyacinthe T, Charles P, Adama K, Diarra CS, Dicko MH, et al. Variability of vitamins B1, B2 and minerals content in baobab (*Adansonia digitata*) leaves in East and West Africa[J]. *Food Sci Nutr*, 2015, 3(1): 17–24.
- [33] Ahmed YA, Landsberger S, O'Kelly DJ, Braisted J, Gabdo H, et al. Compton suppression method and epithermal NAA in the determination of nutrients and heavy metals in Nigerian food and beverages[J]. *Appl Radiat Isot*, 2010, 68(10): 1909–1914.
- [34] Coe SA, Clegg M, Armengol M, Ryan L. The polyphenol-rich baobab fruit (*Adansonia digitata* L.) reduces starch digestion and glycemic response in humans [J]. *Nutr Res*, 2013, 33(11): 888–896.
- [35] Garvey R, Clegg M, Coe S. The acute effects of baobab fruit (*Adansonia digitata*) on satiety in healthy adults[J]. *Nutr Health*, 2017, 23(2): 83–86.
- [36] Coe S, Ryan L. White bread enriched with polyphenol extracts shows no effect on glycemic response or satiety, yet may increase postprandial insulin economy in healthy participants[J]. *Nutr Res*, 2016, 36(2): 193–200.
- [37] Mpofu A, Linnemann AR, Sybesma W, Kort R, Nout MJ, Smid EJ. Development of a locally sustainable functional food based on mutandabota, a traditional food in southern Africa[J]. *J Dairy Sci*, 2014, 97(5): 2591–2599.
- [38] Al-Juhaimi F, Babtain IA, Mohamed Ahmed IA, Alsawamhi ON, Ghafoor K, et al. Assessment of oxidative stability and physicochemical, microbiological, and sensory properties of beef patties formulated with baobab seed (*Adansonia digitata*) extract [J]. *Meat Sci*, 2020, 162: 108044.
- [39] Dzoyem JP, Kuete V, McGaw LJ, Eloff JN. The 15-lipoxygenase inhibitory, antioxidant, antimycobacterial activity and cytotoxicity of fourteen ethnomedicinally used African spices and culinary herbs[J]. *J Ethnopharmacol*, 2014, 156: 1–8.
- [40] Owoyele BV, Bakare AO. Analgesic properties of aqueous bark extract of *Adansonia digitata* in Wistar rats [J]. *Biomed Pharmacother*, 2018, 97: 209–212.
- [41] Hanafy A, Aldawsari HM, Badr JM, Ibrahim AK, Abdel-Hady Sel-S. Evaluation of hepatoprotective activity of *Adansonia digitata* extract on acetaminophen-Induced hepatotoxicity in rats[J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2016, 2016: 4579149.
- [42] Adeoye AO, Bewaji CO. Chemopreventive and remediation effect of *Adansonia digitata* L. Baobab (Bombacaceae) stem bark extracts in mouse model malaria[J]. *J Ethnopharmacol*, 2018, 210: 31–38.
- [43] Musila MF, Dossaji SF, Nguta JM, Lukhoba CW, Munyao JM. *In vivo* antimalarial activity, toxicity and phytochemical screening of selected antimalarial plants[J]. *J Ethnopharmacol*, 2013, 146(2): 557–561.
- [44] Deshmukh SS, Katare YS, Shyale SS, Bhujbal SS, Kadam SD, et al. Isolation and evaluation of mucilage of *Adansonia digitata* Linn. as a suspending agent [J]. *J Pharm (Cairo)*, 2013, 2013: 379750.
- [45] Adewuyi A, Pereira FV. Nitrilotriacetic acid functionalized *Adansonia digitata* biosorbent: Preparation, characterization and sorption of Pb (II) and Cu (II) pollutants from aqueous solution[J]. *J Adv Res*, 2016, 7(6): 947–959.
- [46] Ekere NR, Agwogie AB, Ihedioha JN. Studies of biosorption of Pb²⁺, Cd²⁺ and Cu²⁺ from aqueous solutions using *Adansonia digitata* root powders [J]. *Int J Phytoremediation*, 2016, 18(2): 116–125.
- [47] Urso V, Signorini MA, Tonini M, Bruschi P. Wild medicinal and food plants used by communities living in Mopane woodlands of southern Angola: Results of an ethnobotanical field investigation[J]. *J Ethnopharmacol*, 2016, 177: 126–139.
- [48] Carvalho-Sobrinho JG, Alverson WS, Alcantara S, de Queiroz LP, da Mota AC, Baum DA. Revisiting the phylogeny of Bombacoideae (Malvaceae): novel relationships, morphologically cohesive clades, and a new tribal classification based on multilocus phylogenetic analyses [J]. *Mol Phylogenet Evol*, 2016, 101: 56–74.
- [49] Baum DA, Small RL, Wendel JF. Biogeography and floral evolution of baobabs (*Adansonia*, Bombacaceae) as inferred from multiple data sets [J]. *Syst Biol*, 1998, 47(2): 181–207.
- [50] Leong Pock-Tsy JM, Lumaret R, Mayne D, Vall AOM, Abutaba YIM, et al. Chloroplast DNA phylogeography suggests a West African centre of origin for the baobab, *Adansonia digitata* L. (Bombacoideae, Malvaceae) [J]. *Mol Ecol*, 2009, 18(8): 1707–1715.

(责任编辑:周媛)