

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201703024

引文格式: 缪剑华, 乔柱, 肖冬, 等. 药用植物引种驯化原理研究 [J]. 广西植物, 2018, 38(8): 973–983

MIAO JH, QIAO Z, XIAO D, et al. Principles of medicinal plant introduction and domestication [J]. Guihaia, 2018, 38(8): 973–983

## 药用植物引种驯化原理研究

缪剑华<sup>1</sup>, 乔柱<sup>1</sup>, 肖冬<sup>1</sup>, 韦坤华<sup>1</sup>, 朱艳霞<sup>1</sup>, 张占江<sup>1</sup>,  
秦双双<sup>1</sup>, 肖培根<sup>1</sup>, 黄璐琦<sup>2\*</sup>

( 1. 广西壮族自治区药用植物园 广西药用资源保护与遗传改良重点实验室, 南宁 530023;

2. 中国中医科学院 中药资源中心 道地药材国家重点实验室培育基地, 北京 100700 )

**摘要:** 药用植物作为一种重要的资源,其价值主要体现在具有防治疾病的功能,这种功能的物质基础在于植物内部合成的有效成分。药用植物引种驯化的主要目的是为了扩大其资源量,能更好地开发药用植物和可持续利用。因此,药用植物引种驯化不仅要保证药用植物在引种地的生长发育和繁殖,还需保证药效成分的维持与提高,其引种驯化成功的标志是从“药效”到“药效”。为此,该研究在对近年来药用植物药效成分的形成与稳定、药用植物的发源以及药用植物引种与驯化等方面进行综述整理的基础上,提出了药用植物引种驯化的原理,对于目前大量药效成分复杂不清的药用植物,不提倡复杂引种驯化。针对这类药用植物提出了药用植物发源中心假设,即先确定其发源中心,在此中心内收集引种群体和生态各因子的信息,以此为基础,在引种地上保证与药效形成和稳定相关因子不变,确保引种驯化后药用植物的药用功效不减弱或丧失,并通过多种方法综合评价药用植物的药效,从而达到药用植物引种驯化的目的。

**关键词:** 药用植物, 引种, 驯化, 药效, 发源中心

**中图分类号:** Q948.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2018)08-0973-11

## Principles of medicinal plant introduction and domestication

MIAO Jianhua<sup>1</sup>, QIAO Zhu<sup>1</sup>, XIAO Dong<sup>1</sup>, WEI Kunhua<sup>1</sup>, ZHU Yanxia<sup>1</sup>,  
ZHANG Zhanjiang<sup>1</sup>, QIN Shuangshuang<sup>1</sup>, XIAO Peigen<sup>1</sup>, HUANG Luqi<sup>2\*</sup>

( 1. Guangxi Botanical Garden of Medicinal Plants, Guangxi Key Laboratory of Medicinal Resources Conservation and Genetic

Improvement, Nanning 530023, China; 2. National Resource Center for Chinese Materia Medica, China Academy of

Chinese Medical Sciences, State Key Laboratory Breeding Base of Dao-di Herbs, Beijing 100700, China )

**Abstract:** Medicinal plant is an important resource for preventing and controlling diseases because of medicinal compounds synthesized by these plants. For sustainable using and developing the resource, introduction and domestication of medicinal plant is essential, so the introduction and domestication of medicinal plants should not only ensure its growth,

收稿日期: 2018-05-20

基金项目: 国家自然科学基金(81460582, 81473309); 广西科学研究与技术开发计划项目(桂科 AD17129044) [Supported by the National Natural Science Foundation of China(81460582, 81473309); Guangxi Scientific Research and Technology Development Program (AD17129044)].

作者简介: 缪剑华(1962-),男,江苏南通人,博士,研究员,主要从事中药经济管理和药用植物生态学研究, (E-mail)mjh1962@vip.163.com。

\*通信作者: 黄璐琦,中国工程院院士,主要从事中药资源学与分子生药学研究, (E-mail)huangluqi@263.net。

development and reproduction in the introduction areas, but also ensure the maintenance and improvement of the medicinal compounds. In this paper, the research on the formation and stability of medicinal compounds of medicinal plants, and the research on the origin, introduction and domestication of medicinal plants in recent years were reviewed for solving the problem. And on this basis, the new principles of introduction and domestication of medicinal plants were put forward that as to ensure the medicinal efficacy of medicinal plants not weakened or lost after introduction and domestication, the introduction and domestication of medicinal plants should be based on the stability of the factors involved in the forming and stabilization of medicinal compounds. These factors include genetic background of population and ecological factors, which could be acquired from the center of medicinal plant origin.

**Key words:** medicinal plant, introduction, domestication, drug efficacy, center of origin

植物的引种驯化是指通过人工栽培、自然选择和人工选择,使野生植物、外地或国外的植物适应本地自然环境和栽培条件,成为能满足生产需要的本地植物。引种与驯化是一个过程的两个不同阶段。引种是将野生植物移入人工栽培条件下种植或将一种植物从一个地区移种到另一地区;驯化则是通过人工措施使引入的植物适应新的生活条件。一般而言,植物引种驯化的主要目的是通过栽培实现植物资源量扩增,以满足人类的需要,其引种驯化成功的一般标志是从种子到种子。药用植物是人类用于防病、治病的植物,它的全株或一部分可供药用或作为制药工业原料使用。药用植物与普通植物的主要区别在于药用植物具有防病治病的功能,这是在长期的医学实践检验中被人类赋予的特殊属性。因此,药用植物的引种驯化与普通植物的引种驯化既有相似的地方,也存在许多不同之处。药用植物的引种驯化过程中强调原有药效成分是否能够维持或提高,以确保药用功效不减弱或不丧失,其引种驯化成功的标志是从“药效”到“药效”。为此药用植物的引种驯化更强调对引种材料、引种地点的选择,驯化条件的营造等以充分促进药用植物药效成分的形成与积累,维持或提升其原有药效。因此,药用植物的引种驯化成功的评价标准除了需要满足从种子到种子的标准外,还需要进行引种驯化后的药效成分的定性定量分析,并通过生物实验和临床效果判断药效,实现从“药效”到“药效”的目的。

现有的引种驯化理论大多建立在农作物、园林植物等引种驯化的经验上,它们对药用植物的引种驯化并不完全适用。一些药用植物驯化后药

效出现剧烈变化,难以作为原有药材使用(谢起强和王月明,2005;翟颖和杨梦玉,2004)。造成这种现象的主要原因在于现有药典对药用植物要求的指标成分不完全是真正的药效成分,大多数药用植物的药效成分不清楚,导致缺乏即时反应药效的明确指标,需要经过长期的临床检验才能确认药效的好坏,在驯化中难以按药效去选择药用植物。因此,本研究在探讨药用植物的药效形成和稳定机制上,提出了药用植物发源中心假说,目的是在此基础上建立以药效为核心的药用植物引种驯化新理论。

## 1 药用植物药效形成与稳定机制

早期人们是通过观察和经验总结归纳药用植物药效的,如四气五味、沉浮归经等,它们实质上是药用植物内部的化学成分对人体作用的反映。药用植物在生长发育过程中会合成许多化学物质,这些物质中的一部分(药效成分)在人体内会产生特定作用,表现为对人类某种治病的防治。药用植物自身的药效成分合成代谢是药效形成的基础,它包含在药用植物本身的遗传信息中,由遗传信息控制其是否能够合成。此外,药效成分的合成代谢还受到外界环境的调控,药效形成需要外界环境的诱导。因此,药用植物的药效是由药用植物内部的遗传信息和外部环境条件共同作用产生的,它的稳定也受内外两种因素的共同作用。

药用植物引种驯化后能否作为药材使用,首先需要对其药效进行科学合理的评价。临床治疗效果检验是最直接的功效评价方法,但这种检验

操作不方便,周期长,易受医生医学水平、病人体质等其它因素影响,难以实时准确地提供药用植物的药效信息。通过化学方法的间接评价是目前最常用的药效评价方法。药效成分比较明确的药用植物可通过特定化学成分的定性定量分析来间接评价药用植物的药效。有效成分不明确的药用植物则需要利用化学指纹图谱、生物效价对比等方式评价药材质量优劣来间接评价药用植物的药效。化学指纹图谱已成为目前国际公认的天然药物质量控制的最有效手段,如美国食品药品监督管理局(FDA)、英国草药典、印度草药典、加拿大药用及芳香植物学会、德国药用植物学会均接受色谱指纹图谱的质控方法(赵燕,2012)。但化学指纹图谱法与药用植物药效相关性还需进一步的研究,为更准确和方便评价药用植物药效,需要用指纹图谱方法初步评价药用植物质量,以生物效应为药效评价核心,最后根据临床效果确认药效。

### 1.1 药效基因的形成与稳定机制

植物药效的形成在分子水平上是药效基因的起源与进化。药效基因的起源和基因源遵守同一机制,即基因重复、外显子重排、逆转座、可移动元件、基因水平转移、基因的分裂与融合、从头起源以及混合机制(Long et al, 2003)。药效基因起源后,还需经自然或人工的选择才能在群体中得到稳定。如果没有选择,基因在植物群体中被固定的概率只有  $1/2Ne$  ( $Ne$  为能参与繁殖的个体数量)(李昕等,2004)。综上所述,植物的药效基因的形成分为两个阶段,第一个阶段是药效基因的起源,第二个阶段则是药效基因在植物群体的扩散和稳定。所以从遗传角度上,药效是药用植物进化的产物,是植物内部与外部环境共同作用的结果。

### 1.2 药效成分的遗传机制

药用植物的药效最为直观的体现是在有效成分的种类和含量上,其中成分含量在个体间是连续变异并受环境影响的,表现出典型的数量性状特点。黄璐琦等(2008)对道地药材形成机制的研究结果也支持药效成分是由多个基因控制的数量性状。药效成分的遗传遵守数量遗传的规律。目前主要有两种假说解释数量性状的遗传机制:一种是微效多基因假说,认为数量性状的遗传效应

是许多彼此独立的基因共同作用并累加的结果,每个基因的效应很小并且相等。各个基因的遗传遵守孟德尔遗传规律;另一种是主基因-多基因混合遗传假说,它是对微效多基因假说的改进,提出控制数量性状的多个基因中存在一些主基因,它们比其它基因的效应更大(袁志发等,2015)。

药用植物药效成分的遗传研究通常以植物的有效成分含量作为指标,研究它的数量遗传规律。通过数量遗传学的研究,得出其遗传力、配合力、选择指数等参数指导驯化与育种。同时结合分子标记,对数量性状基因进行定位(QTL)。在药用植物药效数量遗传的研究中,已通过 QTL 定位了杜仲(*Eucommia ulmoides*)上一些有效成分含量有关的区域(Li et al, 2015)。但在药用植物中对药效成分含量的 QTL 定位还不多。

### 1.3 药效成分形成与稳定的生态机制

药用植物药效成分的形成与稳定需要外界生态环境因子的共同作用,在驯化过程中需要找到对药用植物药效成分形成起主导作用的生态因子并加以控制。

1.3.1 生态环境对药效的诱导 药用植物的药效成分多为次生代谢产物,它们在植物对环境的适应中发挥重要作用。如甜菜碱在盐生植物中能抵抗高盐渗透胁迫(Moghaieb et al, 2004),黄酮类化合物在豆科植物中参与根瘤的形成(Kosslak et al, 1987)。有药效活性的次生代谢产物千金藤素、小檗碱等多种双苄基异喹啉类生物碱具有膜稳定作用,可能参与了药用植物的抗逆反应(宋洪涛等,1991)。近年来发现参与代谢的酶也能调控植物的抗逆反应,如拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)的噻唑硫胺素合成酶 TH11 能调控钙依赖激酶 CPK33 的活性,并在干旱胁迫中发挥作用(Li et al, 2015);水稻(*Oryza sativa*)胞内的二氢乳清酸脱氢酶 OsDHODH1 能增强植物的抗盐和抗旱能力(Liu et al, 2009)。这说明特定的生态环境可以诱导药效成分的合成以增加植物适应环境的能力。

1.3.2 生态环境对药效基因的选择与稳定 生态环境能选择药效基因从而影响药效成分的稳定遗传。生态环境的选择有正选择和负选择。正选择指基因能增强植物对环境的适应性,从而使该基

因在群体中得到固定和扩散。这种选择作用通常在新基因形成中起作用,并且往往只限于基因的少数位点或某个很短的历史时期(张丽君等, 2010)。负选择指基因突变会使植物处于劣势,从而淘汰携带突变基因的植物,结果未突变的基因得到固定和扩散。科学家在酵母中发现基因在进化中的稳定性与其表达量高低呈显著的正相关性(Pal et al, 2001, 2003),对这种现象的推论是高表达量的基因,其蛋白在细胞中比例较高,基因突变后会与其它蛋白发生误结合作用而导致有害的效应,所以高表达的基因在进化过程中受到负选择的作用表现出较高的保守性(Yang et al, 2010)。从这个结论中可推测出在药用植物中,环境作用促使药效基因表达量增加,有利于基因序列的稳定,并限制了突变在基因中的积累。研究表明植物的许多基因受到的负选择作用,比如蕨类植物 *rps4* 基因和 *rbcL* 基因受到强烈的负选择压力(张丽君等, 2010; 陈洁等, 2009); 药用植物金粟兰 (*Chloranthus spicatus*) 的花发育基因也受到了负选择(李贵生, 2005)。南方红豆杉 (*Taxus chinensis*) 药效基因紫杉烷 7B-羟基化酶基因绝大部分位点都受到了负选择(燕丽娜等, 2009)。

**1.3.3 生态环境与药效基因的表观遗传机制** 植物表观遗传学表明环境对植物的性状遗传有影响。环境可通过 DNA、组蛋白的化学修饰以及一些 RNA 的作用修饰基因组,这种修饰能遗传给下一代以便更快的适应环境(Feng et al, 2012),这种表观遗传需要环境来维持(Boyko et al, 2010)。一些外界的生态因子,如紫外光 UV-C、病毒、细菌鞭毛蛋白可以增加基因组的同源重组率和基因组的甲基化水平,这种表观修饰的遗传不需要环境来维持(Boyko et al, 2010)。由于环境对表观遗传的影响,有些物种在不同环境下形态差异主要来源于表观修饰的差异而不是来源于基因的差异(Liramedeiros et al, 2010)。表观遗传机制是植物适应外界环境的必要(Sahu et al, 2013),在药用植物驯化的过程中应注意基因组表观修饰的改变。它表明生态环境能直接影响性状的遗传,其中一些药效基因可能受到表观遗传的影响,说明药效的稳定遗传需要稳定的生态环境来维持。

## 1.4 药效形成与稳定的诱导栽培机制

一些药用植物的药效成分的形成需要人工诱导,如从土沉香 (*Aquilaria sinensis*) 中获取树脂作为药材使用,需要人工方法诱导树脂分泌。一些药用植物在长期的栽培中,人们总结出了有助于药效成分形成和提高的栽培方法。如在四川江油发明的乌头 (*Aconitum carmichaelii*) 精细修根打尖栽培技术能有效的促使药用部位的生长。这类药用植物需人工制造合适的环境来促使药效成分的形成与稳定。药效成分形成与稳定的诱导栽培机制与前述的生态机制相一致,区别在于这种生态因子是由人工操作施加在药用植物身上。

## 2 药用植物发源中心假说及发源中心特点

药用植物的所引种质应具有最佳的药效,引种地的生态环境也应与种质来源地尽量一致,以保证所引种质的生长发育和药效稳定。因此,我们提出了药用植物发源中心假说,并以发源中心的物种和生态环境为引种的依据。

### 2.1 药用植物发源中心假说

在农作物的引种驯化中,瓦维洛夫提出了作物起源中心理论,随后哈伦在此基础上总结出关于作物起源的中心和非中心体系(Harlan, 1971)。我们参照这些理论提出药用植物发源中心假说。药用植物前期经历了与普通植物一样的自然进化历程,但人类的活动使植物变成了药用植物并影响了它后期的进化与分布。药用植物发源中心是人类在实践中首次将植物确认为药用植物并将其作为药物长期使用的区域。药用植物的发源是自然因素与人为因素共同作用的结果。自然因素促使植物在进化过程中形成特定的药效,人为因素则是对药效的发现与利用。因此,为了区别物种的起源与药用植物发源的差异,我们用发源中心而非起源中心来描述药用植物出现的原点。

药用植物的药效在发源中心被发现,说明发源中心内存在药效基因;药用植物长期使用也说明发源中心的环境有利于药效的稳定。因此,在

发源中心内寻找最佳的药用植物种质作为引种来源,选择与发源中心具有类似生态环境的地方驯化药用植物,能促进驯化过程中药效的稳定遗传。

## 2.2 药用植物发源中心的特点

药用植物发源中心有如下五个特点:(1)药用植物的发源中心是药效基因产生和特化的地方,是药效基因的中心。(2)药用植物的发源中心是相应医学的发源地,因为药用植物的发现和利用受医学影响。(3)发源中心的药用植物居群代表了药用植物原始种质,但不一定是药用植物的物种起源中心。(4)药用植物原始种质是在发源中心首先被发现。随着传统医学的传播,人们可能会在不同地点发现和利用相同或类似的药用植物,这些地点就成为这个药用植物的次生发源中心,因此一些药用植物会表现出多中心发源的特点。(5)药用植物在发源中心应有连续使用的记载,并且一直延续到现在,反映了药效在发源中心的连续性和稳定性。

药用植物的多中心发源特点通常体现在广布种上,比如金银花(*Lonicera japonica*),其道地产区有河南的新密与封丘、山东的平邑与费县等地,这些地方都是金银花的发源中心。对于一些分布狭窄的特有种,其发源中心通常是药用植物物种的起源中心或者在起源中心附近,如金花茶(*Camellia nitidissima*)和罗汉果(*Siraitia grosvenorii*)的发源中心均在广西。另外一些使用历史悠久的药用植物,由于气候变化和人为原因,它们的发源中心存在着迁徙现象。如药用植物泽泻(*Alisma orientale*),其道地产区从汉中地区转移到了福建,这个变化可能与气候有关(彭华胜等,2013)。南北朝《本草经集注》记载最早的优质人参(*Panax ginseng*)发源于山西上党地区,后来由于过渡挖掘和环境的破坏,现在人参大都采用发源于长白山系的东北人参(梁飞等,2013)。

对于药用植物的发源中心确认初期只能是一个大致范围,还需结合谱系地理与本草考证研究才能给出准确的区域。在引种初期对发源中心的选择需考虑药用植物的分布特点:如果药用植物以野生为主还未充分驯化,以这个药用植物长期采集与使用的地区作为发源中心的大致范围。分

布窄,特有性强的药用植物发源中心的大致范围就是植物的分布范围。如果药用植物分布较广并在多个地区使用,则需考察其成分和临床效果,选择药效最好的地区作为起源中心,针对这个药效引种驯化药用植物。

## 3 药用植物的引种原理

药用植物在引种驯化过程中强调其药效稳定性,但由于大部分药用植物的有效成分并不清楚,造成了引种驯化初期难以准确评价药用植物的药效。因此,需要根据前述的药用植物药效形成与稳定机制及药用植物发源中心假说,在引种驯化方案的设计上尽量排除可能不利于药效形成和稳定的因素。因此,我们认为药用植物的引种应遵守以下三个原理。

### 3.1 引种地点的选择

药用植物引种地点的选择应参照药用植物发源中心(引种来源)的生态环境特点,尽量选择与其温度、湿度、气温变化等生态因子一致的地点,尤其是药效成分的形成与积累只局限于部分地区的药用植物更需注重这些因素的一致性。药效成分的形成与稳定可能需要多种生态因子共同作用,引种地点的选择尽可能地排除生态因子的差异对药效形成与稳定的影响。引种时应首先考虑引种地的光照、温度和水分这类因子,因为这些生态因子主要以自然调控为主;其次考虑引种地土壤的矿质元素,指导引种地土壤改造和施肥。在对药用植物药效成分不清楚的情况下,不建议对这类药用植物采用复杂引种法(不同气候带间引种)。因为药用植物在生态环境差异较大的引种地生长可能导致药效发生变化,又由于药效成分不清楚难以即时监督药效的变化情况,驯化上也缺乏指示药效的明确指标,不利于以药效为核心选择药用植物。

### 3.2 引种数量的选择

药用植物在驯化过程中,为了维持基因的稳定,要求引入足够数量的居群,引种群体要有丰富的遗传多样性,引种的数量要大于1 000(Shaffer,1981),防止药效基因由于遗传漂变而丢

失。根据理论生物学 S. Kauffman 的数学模型表明足够的多样性有利于稳态的保持(石秀凡和徐军, 1993), 这种稳态有利于药效基因的稳定。药用植物在驯化过程中应维持植物的遗传多样性。药用植物遗传多样性丧失的主要原因有近交衰退、远交衰退和遗传同化。近交衰退主要针对异花授粉的药用植物, 如果这类药用植物频繁地近交可能会使其后代的适应性下降。远交衰退是植物与其亲缘关系较远的植物交配导致后代适应性下降。遗传同化则是植物在转移至新环境后与其它近缘植物交配, 它们产生的后代有更强的适应性, 最终导致所引种的植物被其它植物同化。因此对于来源于具有较大环境差异的不同居群, 最好分开种植; 而来自均一生境中不同居群的个体则应定植在一起增加居群间的基因流。前者防止远交衰退, 后者防止近交衰退。

### 3.3 引种居群的选择

不同物种的遗传多样性水平和遗传结构之间存在较大差异, 对于一个遗传变异主要分布于居群内的物种和多样性分布于居群间的物种, 应有不同的居群取样策略。例如, 对我国特有的单种属植物独花兰 (*Changnienia amoena*) 的研究发现, 独花兰的群体规模不大, 且居群内遗传多样性水平较低, 但是居群间存在显著的分化(孙海芹等, 2005), 因此在引种时需要尽可能地覆盖到不同的居群。对野生苍术 (*Atractylodes lancea*) 的遗传多样性分析发现, 居群内和亚居群间以及居群间变异分别占总变异的 76.74%、11.58% 和 11.68%。这表明该物种居群内的遗传分化大于居群间的遗传分化(郭兰萍等, 2006), 因此在引种时取样只需覆盖小规模居群便可代表大部分的遗传变异。

## 4 药用植物的驯化原理

驯化是维持与提高引种药用植物药效成分的关键步骤, 根据药用植物药效形成与稳定机制, 药用植物的驯化应遵循以下的原理。

### 4.1 药用植物的资源分配与不同生态条件下药效的变化规律

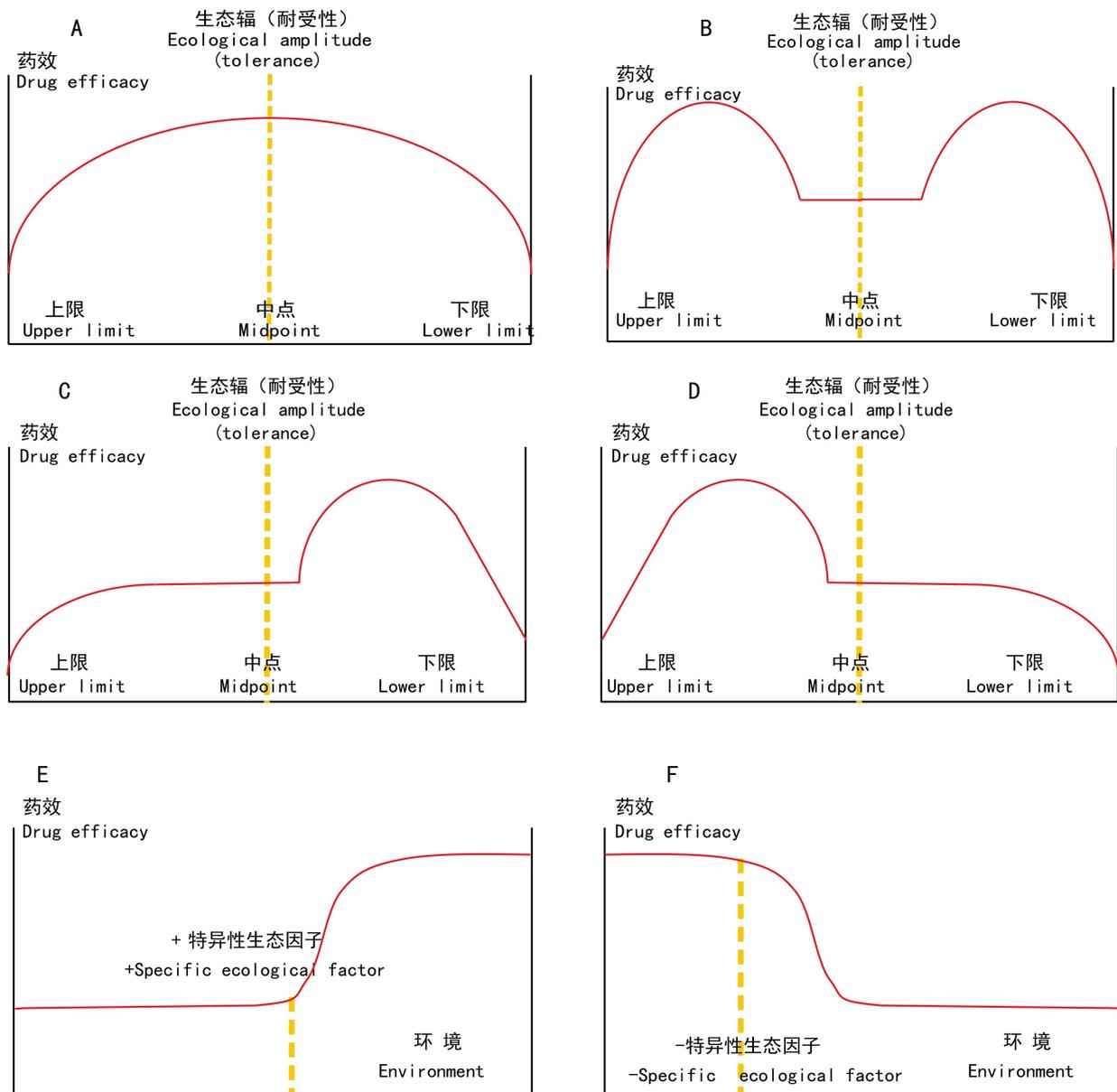
药用植物在适应生态环境过程中对资源配置

采取“高度节约、高效利用”的原则, 以保证有效资源的充分利用。在正常环境中, 往往强调竞争力、生活力、生长势用于获取更多的生长资源; 在不利环境中, 往往强调适应性以及对极端环境的忍耐极限。在资源丰富的条件下, 药用植物的资源配置方式主要是通过竞争性资源的配置, 获取更多的发展空间, 以满足正常的生长发育, 并在此过程中获得竞争优势。当资源获取逐渐减少时, 其资源配置方式主要通过适应性资源的配置来提高适应能力; 在此过程中, 药用植物往往形成次生代谢化合物以提高适应性, 这个阶段也是药用植物的药效成分形成的重要阶段。所以有些药用植物在轻度的胁迫下反而能产生更多的有效成分, 如道地药材苍术的形成就与环境中的适当的逆境胁迫效应相关(郭兰萍等, 2005)。

根据药用植物在不同生态条件下药效成分的变化情况, 可将药用植物分为单抛物线变化趋势、双抛物线变化趋势、特异性趋势和特异型生态因子响应四种类型。

单抛物线变化趋势是指药用植物在生态幅中间段的环境条件下不仅能很好地生长发育, 其药效也处于较高水平, 此时所产药材既可高产又能优质, 但在靠近生态幅两端时, 药效成分呈明显下降趋势(图 1:A)。如在云南文山生产的三七 (*Panax notoginseng*) 不论在产量、外观、内在品质上都优于其他产区的, 其品质与最适生长环境高度匹配, 而偏离文山区域产出的三七, 在皂苷含量(孙玉琴等, 2013)、产量(陈中坚等, 2001)、微量元素(金航等, 2006)等方面均劣于前者。盾叶薯蓣 (*Dioscorea zingiberensis*) 药效成分与海拔也呈明显相关性, 位于 500~700 m 海拔范围的居群皂苷元含量相对较高, 而高于或低于该海拔范围的居群皂苷元含量都不高(朱延钧和张国才, 1998)。

双抛物线变化趋势是指药用植物在生态幅中间段的环境条件下能很好地生长发育, 但这个条件下药用植物药效成分不明显, 而在远离生态幅中点的两端时, 药效成分则出现先升高后降低的趋势(图 1:B)。如西洋参 (*Panax quinquefolius*) 总皂苷含量随着海拔变化呈现出明显的波动规律, 在海拔 600~850m 范围内含量较高, 而在海拔



注：A. 单抛物线变化趋势；B. 双抛物线变化趋势；C, D. 特异性趋势；E, F. 特异型生态因子响应。

Note: A. Single parabola trend; B. Dual Parabola trend; C, D. Specificity trend; E, F. Response to specific ecological factor.

图 1 药用植物药效的变化规律

Fig. 1 Change rules of drug efficacies from medicinal plants

850~1 000 m 范围内含量却显著下降,在1 000 m 以上含量又显著回升(朱仁斌等,2002)。蒺藜(*Tribulus terrester*)在适度供水条件下生长发育良好,产量较高,但药材品质较差;在减少供水或增加供水处理后,生长受到一定抑制,但其总黄酮和总皂苷含量却显著增加,表现出明显的双峰趋势(杨莉等,2010)。

特异性趋势是指药用植物在生态幅中对某一生态因子表现出单方向的特异性响应,即品质在生态幅中间段时保持一定水平,在趋向生态幅上限或下限时,由于特异性响应,品质变化在一个方向表现出先升高后降低的趋势,在另一个方向表现出下降趋势(图 1: C, D),比如在不同水分胁迫下黄檗(*Phellodendron amurense*)幼苗中,总体上轻

度干旱有利于小檗碱、药根碱、掌叶防己碱的合成与积累;重度干旱处理下幼苗3种生物碱的含量与对照差异不大,而水涝处理则导致幼苗3种生物碱的含量显著降低(李霞等,2007)。甘草在土壤水分位于5%~12%,甘草酸的含量随着水分的降低开始升高,但土壤含水量低于5%时甘草难以成活(杜茜和沈海亮,2006)。

特异型生态因子响应指药用植物在生长发育过程中其药效成分形成对某一生态因子表现出显著的特异性响应(图1:E,F)。如欧乌头(*Aconitum napellus*)在高温条件下含乌头碱,在寒冷低温时则变为无毒(张永清和李岩坤,1991);氮、磷能提高伊贝母(*Fritillaria pallidiflora*)中药效成分生物碱含量,但钾却减少其含量(王文杰等,1989)。

#### 4.2 药用植物驯化的生态因子选择

合适的生态因子能保证药用植物药效的形成与稳定,对生态因子的选择需要清楚它们在药效形成与稳定中的作用。药用植物的一些药效成分受特定生态因子诱导的。比如昆虫对烟草(*Nicotiana attenuata*)叶的啃食能诱导烟碱在体内的大量合成和积累(Baldwin,2001);颠茄(*Atropa belladonna*)的叶片受到机械伤害后,托品烷生物碱能升高1.5倍左右(唐中华等,2003),在高温、干旱、遮荫以及水淹条件下,喜树(*Camptotheca acuminata*)中喜树碱的含量会升高2~3倍(Liu et al,1997);有研究指出在一定干旱条件下,薄荷(*Mentha canadensis*)、银杏(*Ginkgo biloba*)以及甘草(*Glycyrrhiza uralensis*)中的萜类化合物含量会上升(Liao et al,2003);紫外辐射的增强可诱导植物产生较多酚醛类等紫外吸收物质,增强抗氧化能力,减少紫外辐射对植物自身的伤害(Bieza & Lois,2001;Olisson et al,1998)。由于一些生态因子对药用植物的胁迫有可能会促进药效成分合成,因此在药用植物驯化过程中,应注意其发源中心是否存在一定的胁迫,它们可能在药效成分形成和稳定过程中起重要作用。如苍术(郭兰萍等,2005)、黄芩(郭兰萍等,2014)。此外,药用植物发源中心相较于其它地区特有的生态因子类型也可能在药效的形成和稳定中有重要作用,如土壤中金属离子对牛蒡和黄芩次生代谢成分的影响(姚

欣等,2009;郭兰萍等,2014)。在驯化中应考虑这些因子在药效的形成与稳定过程中的作用。

#### 4.3 药用植物驯化中诱导栽培方法的选择

因为药用植物的有效成分合成需要特定的生态因子诱导或维持,所以在驯化过程中,可以考虑通过诱导栽培方法促进药用植物驯化过程中药效成分的形成与稳定。在药用植物驯化过程中,需要明确药效成分与生态因子的关系,结合引种地的条件来选择诱导栽培方法。如以黄酮类次生代谢产物为例,有多个研究发现其产生受光照、温度、水分、矿质营养多个因素有关(曾燕等,2015)。有人采用特定的栽培措施来诱导药效物质大量合成,如种植黄芩(*Scutellaria baicalensis*)时采用紫外灯管补光,能促进黄芩根中类黄酮及其苷类化合物的产生和积累(唐文婷等,2011)。大田中施用茉莉酸甲酯能有效地提高罗勒(*Ocimum basilicum*)中酚类和萜类成分(Kim et al,2006)。另外轻度的干旱胁迫有利于一些次生代谢物质的积累,在栽培中可以考虑通过控制水分造成一定程度干旱来诱导药效成分形成。如通过池栽法和渗灌控水方式制造轻度干旱,有利于黄芩中一些药成分的合成与积累(李霞等,2007)。还有一些药效成分的产生需要专门的人工诱导,比如一些树脂类药材沉香、血竭等,对这类药用植物需要开发专门的人工诱导方法以利于药效成分的形成。

## 5 讨论

在历史上,已存在着多种有关植物引种驯化的原理,如春秋战国时期就有关于植物引种驯化的土宜论,主要强调引种地应有与来源地一致的土质、地形;汉朝农书《汜胜之书》中提出了风土论,指出除土质、地形因素外,还需注意季节、水分与温度,玛依尔(Mayr)提出了气候相似论,建立了专门的气候指标,指示植物,并按此划分引种区,标志着引种驯化开始有了科学理论的支撑。现代关于引种驯化的原理则有风土驯化学说、生态历史分析法等众多理论以及生境因子分析法、生态综合分析法、地理生态生物学特性综合分析等方法(张日清和何方,2001)。这些理论和方法对于

植物的引种和驯化做出了巨大的贡献。然而,它们对引种驯化的考虑重点都主要集中在改造植物,使植物能在引种地成功地生长繁殖,而对引种驯化后植物品质的改变却思考得较少,因而不完全适用于药用植物。

药用植物引种驯化的主要目的是保证驯化后的药用植物药效稳定,并使其能够稳定地传递给后代。考虑到绝大多数的药用植物药效成分不清楚,药理机制不清楚,导致驯化上难以直接对药效进行选择,因此为保证其药效的稳定应以药用植物发源中心为引种依据,选择中心内部的药用植物为引种来源,选择与其近似的地区为引种地。药用植物引种驯化过程中需要遵循药用植物的药效形成与稳定机制,引种时要注意引种数量和居群的选择,驯化时要注意生态因子与药效的关系,采用适当的栽培措施来诱导药效的形成和稳定。

药用植物的引种驯化原理的进一步研究需要关注药用植物的发源,通过谱系地理学,基因组的分析揭示药用植物的形成、进化、药效基因的起源、分化等历史,确定药用植物的发源中心,找出控制药效的主要基因与生态因子。基于高通量测序技术,通过泛基因组学、转录组学、代谢组学和组学联合分析,揭示药用植物药效的形成与调控的具体机制是未来药用植物研究的主要方向。在原理研究的基础上还要建立新的检测、栽培、药效评价等技术以服务于药用植物的引种驯化。

## 参考文献:

BALDWIN IT, 2001. An ecologically motivated analysis of plant-herbivore interactions in native tobacco [J]. *Plant Physiol*, 127(4):1449-1458.

BIEZA K, LOIS R, 2001. An arabidopsis mutant tolerant to lethal ultraviolet-b levels shows constitutively elevated accumulation of flavonoids and other phenolics [J]. *Plant Physiol*, 126(3):1105-1115.

BOYKO A, BLEVINS T, YAO Y, et al, 2010. Transgenerational adaptation of *Arabidopsis* to stress requires DNA methylation and the function of dicer-like proteins [J]. *PLoS ONE*, 5(3):e9514.

CHEN J, ZHANG LJ, WANG T, 2009. Diversifying and purifying selection sites in *rbcL* gene of fern species [J]. *Acta Bot*

*Boreal-Occident Sin*, 29(12): 2391-2400. [陈洁, 张丽君, 王艇, 2009. 蕨类植物 *rbcL* 基因正选择和负选择位点的鉴定 [J]. *西北植物学报*, 29(12): 2391-2400.]

CHEN ZJ, WANG Y, ZENG J, et al, 2001. Studies on characteristic distinction and its effect on yield and quality of *Panax notoginseng* [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 32(4): 357-359. [陈中坚, 王勇, 曾江, 等, 2001. 三七植株的性状差异及其对三七产量和质量影响的调查研究 [J]. *中草药*, 32(4):357-359.]

DU Q, SHEN HL, 2006. Relationship between yield and quality of *Glycyrrhiza uralensis* and soil moisture [J]. *J Chin Med Mat*, 29(1):5-6. [杜茜, 沈海亮, 2006. 甘草产量和质量与土壤水分的关系 [J]. *中药材*, 29(1):5-6.]

FENG QI, YANG CW, LIN XY, et al, 2012. Salt and alkaline stress induced transgenerational alteration in DNA methylation of rice (*Oryza sativa*) [J]. *Aust J Crop Sci*, 6(5):877-883.

GUO LP, HUANG LQ, JIANG YX, et al, 2006. RAPD analysis on genetic structure of *Atractylodes lancea* [J]. *Chin Pharm J*, 41(3):178-181. [郭兰萍, 黄璐琦, 蒋有绪, 等, 2006. 苍术遗传结构的 RAPD 分析 [J]. *中国药学杂志*, 41(3):178-181.]

GUO LP, HUANG LQ, YAN H, et al, 2005. Habitat characteristics for the growth of *Atractylodes lancea* based on GIS [J]. *Chin J Chin Mat Med*, 30(8):565-569. [郭兰萍, 黄璐琦, 阎洪, 等, 2005. 基于地理信息系统的苍术道地药材气候生态特征研究 [J]. *中国中药杂志*, 30(8):565-569.]

GUO LP, WANG S, ZHANG J, et al, 2014. Effects of ecological factors on secondary metabolites and inorganic elements of *Scutellaria baicalensis* and analysis of geotherblism [J]. *Sci Sin (Vit)*, 44(1): 66-74. [郭兰萍, 王升, 张霁, 等, 2014. 生态因子对黄芩次生代谢产物及无机元素的影响及黄芩道地性分析 [J]. *中国科学:生命科学*, 44(1):66-74.]

HARLAN JR, 1971. Agricultural origins: centers and noncenters [J]. *Science*, 174(4008):468-474.

HUANG LQ, GUO LP, HU J, et al, 2008. Molecular mechanism and genetic basis of geotherbs [J]. *Chin J Chin Mat Med*, 33(20):2303-2308. [黄璐琦, 郭兰萍, 胡娟, 等, 2008. 道地药材形成的分子机制及其遗传基础 [J]. *中国中药杂志*, 33(20):2303-2308.]

JIN H, CUI XM, XU LS, et al, 2006. The analysis of roots of *Panax notoginseng* from famous and infamous regions [J]. *J Yunnan Univ (Nat Sci Ed)*, 28(2): 144-149. [金航, 崔秀明, 徐璐珊, 等, 2006. 三七道地与非道地产区药材及土壤微量元素分析 [J]. *云南大学学报(自然科学版)*, 28(2): 144-149.]

KIM HJ, CHEN F, WANG X, et al, 2006. Effect of methyl jasmonate on secondary metabolites of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) [J]. *J Agric Food Chem*, 54(6): 2327-2332.

- KOSSLAK RM, BOOKLAND R, BARKEI J, et al, 1987. Induction of *Bradyrhizobium japonicum* common nod genes by isoflavones isolated from *Glycine max* [J]. Proc Nat Acad Sci USA, 84(21):7428-7432.
- LIANG F, LI J, ZHANG W, et al, 2013. Study on generation cause of genuine medical herbs [J]. Chin J Chin Mat Med, 38(3):466-468. [梁飞, 李健, 张卫, 等, 2013. 谈“道地药材”的形成原因 [J]. 中国中药杂志, 38(3):466-468.]
- LIAO JX, WANG GX, 2003. Possible function of glycyrrhizic acid to licorice living in desert environment [J]. J Plant Physiol, 39(4):367-370. [廖建雄, 王根轩, 2003. 甘草酸在甘草适应荒漠生境中的可能作用 [J]. 植物生理学报, 39(4):367-370.]
- LI C, WANG M, WU X, et al, 2015. TH11, a thiamine thiazole synthase, interacts with Ca<sup>2+</sup>-dependent protein kinase CPK33 and modulates the S-type anion channels and stomatal closure in Arabidopsis [J]. Plant Physiol, 170(2):1090-1104.
- LI GS, 2005. A study on the structure, expression and evolution of floral organ identity genes *CsAP1*, *CsAP3* and *CsSEP3* from *Chloranthus spicatus* (chloranthaceae) [D]. Beijing: Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences:1-75. [李贵生, 2005. 金粟兰花器官特征基因 *CsAP1*、*CsAP3* 和 *CsSEP3* 的结构、表达和进化研究 [D]. 北京: 中国科学院植物研究所: 1-75.]
- LIRAMEDEIROS CF, PARISOD C, FERNANDES R, et al, 2010. Epigenetic variation in mangrove plants occurring in contrasting natural environment [J]. PLoS ONE, 5(4):e10326.
- LIU W, WANG M, HUANG J, et al, 2009. The *OsDHODH1* gene is involved in salt and drought tolerance in rice [J]. J Integr Plant Biol, 51(9):825-833.
- LIU Z, CARPENTER, SB, CONSTANTIN RJ, 1997. Camptothecin production in *Camptotheca acuminata* seedlings in response [J]. Can J Plant Sci, 84(3):885-889.
- LI X, WANG Y, YAN XF, 2007. Effects of water stress on berberine, jatrorrhizine and palmatine contents in amur cork tree seedlings [J]. Acta Ecol Sin, 27(1):58-64. [李霞, 王洋, 阎秀峰, 2007. 水分胁迫对黄檗幼苗三种生物碱含量的影响 [J]. 生态学报, 27(1):58-64.]
- LI X, YANG S, PENG LX, et al, 2004. The evolution and origin of new gene [J]. Chin Sci Bull, 49(13):1219-1225. [李昕, 杨爽, 彭立新, 等, 2004. 新基因的起源与进化 [J]. 科学通报, 49(13):1219-1225.]
- LI Y, WEI JK, LI ZQ, et al, 2015. Quantitative trait locus analysis of leaf morphological characters, yield-related traits, and secondary metabolite contents in *Eucommia ulmoides* [J]. Genet Mol Res, 14(4):17871-17884.
- LONG M, BETRÁN E, THORNTON K, et al, 2003. The origin of new genes: glimpses from the young and old [J]. Nat Rev Genet, 4(11):865-875.
- MOGHAIEB REA, SANEOKA H, FUJITA K, 2004. Effect of salinity on osmotic adjustment, glycinebetaine accumulation and the betaine aldehyde dehydrogenase gene expression in two halophytic plants, *Salicornia europaea* and *Suaeda maritima* [J]. Plant Sci, 166(5):1345-1349.
- OLISSON LC, VEIT M, WEISSENBOCK G, et al, 1998. Differential flavonoid response to enhanced uv-b radiation in *Brassica napus* [J]. Phytochemistry, 49(4):1021-1028.
- PAL C, PAPP B, HURST LD, 2001. Highly expressed genes in yeast evolve slowly [J]. Genetics, 158(2):927-931.
- PAL C, PAPP B, HURST LD, 2003. Genomic function (communication arising): Rate of evolution and gene dispensability [J]. Nature, 421(6922):496-497.
- PENG HS, HAO JD, HANG LQ, 2013. Effect of climate change on genuine medicinal materials producing areas during last 2000 years-*Alisma orientale* and *Citrus aurantium* as examples [J]. Chin J Chin Mat Med, 38(13):2218-2222. [彭华胜, 郝近大, 黄璐琦, 2013. 近2000年来气候变化对道地药材产区变迁的影响——以泽泻与枳壳为例 [J]. 中国中药杂志, 38(13):2218-2222.]
- SAHU PP, PANDEY G, SHARMA N, et al, 2013. Epigenetic mechanisms of plant stress responses and adaptation [J]. Plant Cell Rep, 32(8):1151-1159.
- SHAFFER ML, 1981. Minimum population sizes for species conservation [J]. Bioscience, 31(2):131-134.
- SHI XF, XU J, 1993. The selection principles on the evolution [J]. Zool Res, 14(zk):148-152. [石秀凡, 徐军, 1993. 进化中的选择原理 [J]. 动物学研究, 14(zk):148-152.]
- SONG HT, GUO T, FU HM, 1991. Antioxidants of natural drugs [J]. Chin Trad Herb Drugs, 22:331-334. [宋洪涛, 郭涛, 宓鹤鸣, 1991. 天然药物中的抗氧化剂 [J]. 中草药, 22:331-334.]
- SUN HQ, LI A, BAN W, et al, 2005. Morphological variation and its adaptive significance for *Changnienia amoena*, an endangered orchid. Biodivers Sci, 13(5):376-386. [孙海芹, 李昂, 班玮, 等, 2005. 濒危植物独花兰的形态变异及其适应意义 [J]. 生物多样性, 13(5):376-386.]
- SUN YQ, XIANG FJ, ZENG J, et al, 2013. Comparison of saponin contents in *Panax notoginseng* from different habitats in Yunnan Province [J]. J Wenshan Univ, 26(6):8-10. [孙玉琴, 向飞军, 曾江, 等, 2013. 云南省不同产地三七皂苷含量的比较 [J]. 文山学院学报, 26(6):8-10.]
- TANG WT, LIU X, FANG MF, et al, 2011. FTIR analysis of the effects of enhanced ultraviolet 2B (UV-2B) radiation on chemical composition of different parts of *Scutellaria baicalensis* Georgi [J]. Spectrosc Spect Anal, 31(5):1220-1224. [唐文婷, 刘晓, 房敏峰, 等, 2011. 傅里叶变换红外光谱法分析

- 紫外线 2B (UV2B) 辐射对黄芩不同部位化学成分的影响 [J]. 光谱学与光谱分析, 31(5):1220-1224.]
- TANG ZH, YU JH, YANG FJ, et al, 2003. Metabolic biology of plant alkaloids [J]. Chin Bull Bot, 20 (6) : 696-702. [唐中华, 于景华, 杨逢建, 等, 2003. 植物生物碱代谢生物学研究进展 [J]. 植物学通报, 20 (6) :696-702.]
- WANG WJ, ZHANG JD, ZHAO CQ, 1989. Effects of environmental conditions on the alkaloids of *Fritillaria pallidiflora* [J]. J Chin Med Mat, (2):3-5. [王文杰, 张京都, 赵长琦, 1989. 环境条件对伊贝母生物碱含量的影响 [J]. 中药材, (2):3-5.]
- XIE QQ, WANG YM, 2005. A brief analysis for the source of Chinese herbal medicinecounterfeit goods [J]. Clin J Trad Chin Med, 17(2):136-138. [谢起强, 王月明, 2005. 中药材伪劣品来源浅析 [J]. 中医药临床杂志, 17(2):136-138.]
- YAN LN, SU YJ, WANG T, 2009. Molecularcloning and evolutionary analysis of the full length sequence of the *Taxus wallichiana* var. *mairei* taxoid 7-beta-hydroxylase gene [J]. Acta Sci Nat Univ Sunyatseni, 48(5):120-124. [燕丽娜, 苏应娟, 王艇, 2009. 南方红豆杉紫杉烷 7 $\beta$ -羟基化酶基因全长序列的克隆和进化分析 [J]. 中山大学学报(自然科学版), 48(5):120-124.]
- YANG J, ZHUANG S, ZHANG J, 2010. Impact of translational error-induced and error-free misfolding on the rate of protein evolution [J]. Mol Syst Biol, 6(1):421.
- YANG L, HAN ZM, YANG LM, et al, 2010. Effects of water stress on photosynthesis, biomass, and medicinal material quality of *Tribulus terrestris* [J]. Chin J Appl Ecol, 21(10):2523-2528. [杨莉, 韩忠明, 杨利民, 等, 2010. 水分胁迫对蒺藜光合作用、生物量和药材质量的影响 [J]. 应用生态学报, 21(10):2523-2528.]
- YAO X, CHANG X, LIU M, et al, 2009. The relationship between characteristics of *Arctium lappa* L. and ecological factors [J]. Hunan Agric Sci, (11):18-21. [姚欣, 常禹, 刘森, 等, 2009. 道地药材牛蒡子特性与生态因子的关系 [J]. 湖南农业科学, (11):18-21.]
- YUAN ZF, CHANG ZJ, GUO MC, et al, 2015. Geneticanalysis of quantitative traits [M]. Beijing: Science Press: 12 [袁志发, 常智杰, 郭满才, 等, 2015. 数量性状遗传分析 [M]. 北京:科学出版社:12]
- ZENG Y, GUO LP, WANG JY, et al, 2015. Chemical ecological function of plant flavonoids and the conception of directional cultivation on Chinese materia medica [J]. Mod Chin Med, 17 (8):776-790. [曾燕, 郭兰萍, 王继永, 等, 2015. 植物黄酮类化合物的化学生态学功能及中药材定向栽培的构想 [J]. 中国现代中药, 17(8):776-790.]
- ZHAI Y, YANG MY, 2004. Main problems and suggestions of Chinese medicinal materials [J]. Chin J Inf Trad Chin Med, 11(1):6-7. [翟颖, 杨梦玉, 2004. 中药材存在的主要问题及建议 [J]. 中国中医药信息杂志, 11(1):6-7.]
- ZHANG LJ, CHEN J, WANG T, 2010. Adaptive evolution in the chloroplast gene *rps4* in ferns [J]. Bull Bot Res, 30(1):42-50. [张丽君, 陈洁, 王艇, 2010. 蕨类植物叶绿体 *rps4* 基因的适应性进化分析 [J]. 植物研究, 30(1):42-50.]
- ZHANG RQ, HE F, 2001. Review on the theory and practice of plant introduction and domestication [J]. Guangxi For Sci, 30(1):1-6. [张日清, 何方, 2001. 植物引种驯化理论与实践述评 [J]. 广西林业科学, 30(1):1-6.]
- ZHANG YQ, LI YK, 1991. Factors affecting the content of alkaloids in medicinal plants [J]. Qilu Tradit Chin Med Inf, (3):10-12. [张永清, 李岩坤, 1991. 影响药用植物体内生物碱含量的因素 [J]. 齐鲁中医药情报, (3):10-12.]
- ZHAO Y, 2012. Research progress of fingerprint technology in quality control of medicinal plants [J]. Qual Saf Agro-prod, (6):41-44. [赵燕, 2012. 指纹图谱技术在药用植物质量控制中的研究进展 [J]. 农产品质量与安全, (6):41-44.]
- ZHU RB, WAN ZH, DING YP, 2002. Correlation between content of effective compositions and altitudes of cultivating field for *Panax quinquefolius* from west Anhui Province [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 33(2):163-166. [朱仁斌, 宛志沪, 丁亚平, 2002. 皖西山区西洋参有效成分含量与栽培地海拔高度的关系 [J]. 中草药, 33(2):163-166.]
- ZHU YJ, YANG LH, ZHANG GC, 1998. The ecological environment of *Dioscorea zinglbrrensis* Wright and its distribution regularity in Wudangshan Mountain [J]. Resourc Dev Market, 14(3):124-125. [朱延钧, 杨立华, 张国才, 1998. 武当山盾叶薯蓣生态环境及其分布规律 [J]. 资源开发与市场, 14(3):124-125.]