



· 专论 ·

# Hormesis 及其在药用植物生产中的应用

郭兰萍<sup>1</sup>, 张小波<sup>1</sup>, 杨光<sup>1</sup>, 黄璐琦<sup>1\*</sup>, 马炯<sup>2</sup>

(1. 中国中医科学院 中药研究所, 北京 100700;

2. 北京大学 环境与能源学院, 广东 深圳 518055)

**[摘要]** “Hormesis”是指生物体在不同剂量化学物质刺激下产生的,以双相剂量-反应曲线为特征的一种适应性反应。作者在分析了 Hormesis 概念、机制、研究现状及生物学意义的基础上,总结了药用植物生长发育及次生代谢产物积累的 Hormesis 现象,指出了 Hormesis 在药用植物生产中的应用,包括提高次生代谢产物,指导中药材适生地的选择,指导中药材生产管理,提高植物整体抗逆性。

**[关键词]** Hormesis; 胁迫; 药用植物; 栽培

“Hormesis”是指生物体在不同剂量化学物质刺激下产生的,以双相剂量-反应曲线为特征的一种适应性反应,即有毒化学物质对生物体在高剂量时表现负面影响,但在低剂量时却表现为有益作用的现象。在国内,Hormesis 常被译成“毒物兴奋效应”、“化学兴奋效应”、“低剂量促进效应”、“低剂量有毒物质的刺激作用”、“低剂量有毒物质的刺激作用”等<sup>[1-2]</sup>。Hormesis 一词在中药研究中未见报道,但“低剂量有毒物质的刺激作用”的现象在药用植物研究中已有不少报道。学术界普遍认为环境胁迫会导致植物次生代谢产物积累的增加。黄璐琦等提出环境胁迫可能会通过刺激次生代谢产物的积累导致道地药材的形成<sup>[3]</sup>。本文在综述国际上 Hormesis 研究现状的基础上,探讨了药用植物生长发育及次生代谢产物积累的 Hormesis 现象及其在药用植物生产中的应用。

## 1 Hormesis 概念、机制及生物学意义

**1.1 Hormesis 概念的提出** 中医自古就有“毒”、“药”同源的理念,《周礼·天官冢宰》就有“聚毒药以供医事”的记载。但“Hormesis”一词并不是中国人提出来的,这个词源于希腊语“hormaein”,本意是“to excite(激活)”。16世纪 Paracelsus 提出“剂量决定毒物”,即所有物质都是有毒的,只有剂量才能区别毒物,可以说这是毒物兴奋效应的雏形。19世纪微生物学家 Schulz 观察到重金属和有机溶剂对酵母生长的促进作用后,提出了 Arndt-Schulz 定律,认为弱刺激加速生命力,中等强度刺激促进生命力,强刺激抑制生命活力,很强刺激却能致死<sup>[1]</sup>。1943年 Southam 等研究发现红雪松提取物对真菌的作用呈现双相剂量-效应关系曲线,并首次提出“Hormesis”的概念<sup>[4]</sup>。

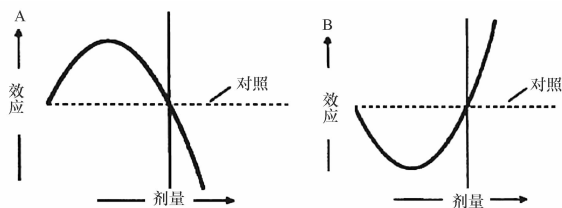
Hormesis 虽然发现很久,但由于研究方法和技术的限制,直至20世纪末,Hormesis 才又受到重视,并迅速成为国际社会毒理学,药理学,病理学,生理学的研究热点。1998年,Calabrese<sup>[1]</sup>等对5000多篇与“Hormesis”、“剂量效应”、“小剂量刺激”等关键词相关的文献进行了分析,探讨了 Hormesis 评估标准,包括研究设计特征(剂量和剂量范围)、统计分析、结果的重现性等问题,全面总结了20世纪 Hormesis 研究的现状、成果及研究中存在的问题。至此,人们对 Hormesis 有了更全面更深刻的理解。2003年,《Nature》杂志上发表了题为“Toxicology rethinks its central belief”的文章,成为人类重新审视毒物兴奋效应的标志<sup>[2]</sup>。越来越多的研究表明,Hormesis 的发现和认识对环境毒理学研究和环境风险评估起到越来越深远的影响。

**1.2 Hormesis 量效曲线** Hormesis 的剂量-效应关系是以小剂量刺激大剂量抑制(low-dose stimulation and high-dose inhibition)为特征的双相曲线。目前比较公认的 Hormesis 最常见的量效曲线有2种,即 $\beta$ 型曲线和U型曲线<sup>[5]</sup>(图1)。 $\beta$ 型曲线是公认的也是最常见的低剂量条件下表现为适度刺激(兴奋),而高剂量条件下表现为抑制作用的 Hormesis;而U型的兴奋效应模型,主要反映毒物在低剂量时对肿瘤等疾病的抑制反应,如发病率低于对照<sup>[6]</sup>。通常很有限,研究表明,小剂量最大兴奋效应平均高于对照50%,最大的刺激反应幅度一般不会超过对照的2倍。因此,要想得到理想的 Hormesis 曲线,需要根据不同的考察指标(end point)选择不同的剂

**[稿件编号]** 20101214021

**[基金项目]** 国家自然科学基金项目(81072989);国家科技重大专项(2009ZX09502-026,2009ZX09301-005,2009ZX09308-002);国家中医药管理局行业科研专项(201107009);中国中医科学院自主选题研究项目(ZZ20090302);云南省科技计划项目(云南重点产业创新工程2008IF025-4)

**[通信作者]** \*黄璐琦,Tel:(010)64014411-2955



A.  $\beta$ 型曲线; B. U型曲线。  
图1 Hormesis量效曲线

量范围[ Hormesis 效应剂量通常比未观察到作用浓度 (NO-EC) 低 10 倍左右], 及足够量的处理数方可得到<sup>[1]</sup>。

**1.3 Hormesis 的普遍性** 到目前为止, 在各类生物(包括动物、植物、微生物), 各类毒物(其范围几乎涵盖了包括重金属化合物、氰化物、多环芳烃、多氯联苯、有机砷化物、杀虫剂、植物生长激素、金属、杀菌剂、除草剂、抗生素等在内的所有有毒物质。)及各类生命现象(包括生长、生殖、寿命、细胞分裂、呼吸作用、植物光合作用、代谢及肿瘤形成等)中都发现了 Hormesis。在生物细胞、组织及个体的不同水平, 均可以观察到 Hormesis。Calabrese<sup>[1]</sup> 等研究表明, 在观察到 Hormesis 的指标 (end point) 中, 生长发育占 62.2%, 次生代谢占 15.2%, 生命力占 5.2%, 存活率占 5.7%, 繁殖力占 5.7%, 其他观察指标占 5.8%。

多数学者认为 Hormesis 是普遍存在的, 有学者甚至认为, 一切生存压力, 比如饥饿、高温、感染、紧张等生理刺激, 都能诱发 Hormesis。在过去的 100 多年时间里已发现了 5 000 多例毒物兴奋效应的例子, 如低水平的环境因素如镉、糖精、二恶英、大量的多环芳烃、X 射线和  $\gamma$  射线源可降低一些种属动物的肿瘤发生率; 低剂量的 X 射线可增加小鼠和豚鼠的寿命; 低剂量的乙醇和乙醛能延长果蝇的寿命; 多种环境刺激因素可以延长线虫的寿命; 许多毒物(如镉、铅)可促进不同植物的生长等。又如, 许多化学物在低剂量时能促进酵母生长和呼吸, 而高剂量时却转为抑制<sup>[1]</sup>。许多化学药品不同剂量对机体产生不同效应, 如抗生素青霉素、乙琥红霉素、链霉素等低剂量时促进细菌生长, 高剂量时产生相反的效应<sup>[6]</sup>。

近年来, 小剂量重金属与农药残留、UV-B 辐射及稀土元素的兴奋效应研究成为当今国际社会 Hormesis 研究的核心领域。越来越多的研究证实, 暴露于小剂量重金属环境下会提高生物体内的激素含量或提高生物体繁育后代的数目。例如, 低剂量镉 ( $\text{Cd}^{2+}$ ) 处理, 苜蓿的株高、主根长、干质量较对照组均有所提高; 随  $\text{Cd}^{2+}$  处理的质量分数增加, 上述指标呈显著降低趋势<sup>[7]</sup>。低浓度铜 ( $\text{Cu}^{2+}$ ) 对紫背萍的生长有低浓度促进、高浓度抑制作用<sup>[8]</sup>。汞离子 ( $\text{Hg}^{2+}$ ),  $\text{Cd}^{2+}$  在低浓度时导致叶绿素含量增加, 高浓度时, 引起叶绿素含量降低<sup>[9]</sup>。锌离子 ( $\text{Zn}^{2+}$ ), 铅离子 ( $\text{Pb}^{2+}$ ),  $\text{Cd}^{2+}$  单一污染对刺参体腔细胞具有 Hormesis 效应, 且所引起的浓度-反应关系呈

抛物线形式<sup>[10]</sup>。较低浓度重金属时, 它使植物细胞间期缩短, 分裂速度加快; 在高浓度下能引起细胞分裂出现障碍或不正常, 使细胞间期延长, 细胞分裂延滞<sup>[11]</sup>。高等水生沉水植物菹草和金鱼藻内源保护系统的防御功能在受到一定程度的  $\text{Cd}^{2+}$  胁迫时可被诱导加强, 但随着  $\text{Cd}^{2+}$  毒害程度的逐步加重, 植物体的这种自我防卫能力亦趋减弱。

**1.4 Hormesis 的机制** 由于研究对象的差异, 以及选择的组织、细胞和观察指标的不同, 目前尚无能够完全解释毒物兴奋效应现象的发生机制, 较公认的 2 个假说是: 受体机制和过度补偿机制(矫正过渡控制理论)<sup>[11]</sup>。受体机制认为机体应具有 2 种不同激动剂亲和力的受体亚型, 通过这 2 种受体亚型要么引起兴奋效应, 要么引起抑制效应。低浓度时具有高亲和力的受体亚型起作用, 对于激动剂, 低亲和力的受体有很高的容量, 也就是有很多的受体。高浓度时低亲和力的受体发挥作用。很多情况下, 一种激动剂既能引起刺激也能引起抑制效应, 这是因为不同亲和力受体的亚型能激动不同的信号通道<sup>[12]</sup>; 矫正过度 (over correction) 控制理论认为, 由于所有的有毒试剂在高浓度时都抑制生物的生长, 那么 Hormesis 低剂量抑制时生物体对抑制的中和或反抗 (neutralizes or opposes), 或者说是生物体的一种自我矫正。任何通过这样的控制机制对抑制的矫正过度都会导致 Hormesis 现象。调节控制机制最有可能的方式是对生物合成速率进行调整, 不仅表现在生物化学水平改变上, 而且还表现在生物体发生 Hormesis 现象的整个过程中, Hormesis 是调节生物体控制的副产品<sup>[13]</sup>。换言之, Hormesis 现象的产生应是源于内环境稳定受到破坏后所导致的超补偿效应 (over compensation), 此效应对体内平衡达到瓦解地步的响应。按照这一观点, 生物体受到刺激, 最初的抑制反应之后会出现一个补偿过程, 这个补偿行为会逐渐超过控制行为, 从而导致一个净刺激效应, 也就是通常所提及的 Hormesis 效应。但是这些理论尚缺乏足够的实验证据支持。导致 Hormesis 的分子机制是什么; 早期的有益作用是否会导致后期的不利效应; 在接触多种化学物时, 假如所有的化学物都存在毒物兴奋效应, 那么这种作用是相加、协同、还是拮抗; 这些问题都需要进一步的研究来揭示。

**1.5 Hormesis 的生物学意义** Hormesis 是生物长期进化过程中为顺应自然选择, 提高在各种低水平胁迫下的成活率而形成的一个生理机制, 其意义在于当生物体自稳状态 (homeostatic) 受到破坏后能够迅速恢复。Hormesis 的功能首先是尽快修复生物体由于胁迫引起的损伤。同时, 保护生物体在其后的胁迫中免受或少受伤害, 即使是其后不再遭遇相同胁迫, 也有利于生物体抵御环境中其他不利因素的影响。例如, 在低浓度的外源性因素作用造成轻微的损伤时, 兴奋效应机制被激活发挥作用, 则机体很快恢复<sup>[6]</sup>。

## 2 药用植物生长发育及次生代谢产物积累的 Hormesis

**2.1 生长发育** 根据 Calabrese<sup>[1]</sup> 的统计, 在所报道的



Hormesis 的受试对象中,动物类占 46.3%,植物类占 34.9%,真菌占 6.4%,其中不乏可药用的生物。国内在药用生物研究中至今没有见到 Hormesis 的提法,也没有见到有针对 Hormesis 开展的实验,但有不少研究报道了低剂量毒物对药用植物生长发育的存在刺激现象。如低剂量微波辐照能促进苋蓝种子萌发和幼苗生长发育<sup>[14]</sup>。低剂量铅和镉能导致夏枯草果穗个数、果穗总量显著高于对照组,而高剂量则显著低于对照组<sup>[15]</sup>。低剂量水杨酸(SA)导致半夏株高增大、总叶绿素含量、SOD 活性增加,提高块茎产量和总生物碱含量<sup>[16]</sup>。可见,低剂量毒物对药用植物的生长发育等相关生理学指标的影响与普通植物相同。

**2.2 次生代谢产物** 近年来,环境胁迫对药用动植物次生代谢产物积累的影响受到人们普遍关注,环境胁迫导致次生代谢产物积累增加的报道屡见不鲜。如芸苔在 UV-B 处理下的槲皮素苷比山柰黄素苷的增加更明显,UV-B 处理后槲皮素苷升高 20~36 倍,但山柰黄素苷升高不大,UV-B 耐性种的黄酮和槲皮素含量增加更大<sup>[17]</sup>。尖孢镰刀菌诱导能够刺激红豆杉悬浮细胞的 PAL 活性,显著提高次生代谢产物中酚类物质的含量,尤其是紫杉醇含量得到了大幅度的提高,达到对照组的 5 倍左右<sup>[18]</sup>。稀土元素镧浓度为  $5.8 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时对云南红豆杉 *Taxus yunnanensis* 细胞的刺激作用最大,紫杉醇从  $(2.61 \pm 0.37) \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  增长到  $(9.89 \pm 1.92) \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,几乎提高了近 4 倍<sup>[19]</sup>。另外,稀土元素铈离子( $\text{Eu}^{2+}$ )低剂量对药用植物大黄愈伤组织生长起到促进作用,而高浓度则起抑制作用<sup>[20]</sup>。 $\text{CuCl}_2$  在  $30 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  剂量下可增强红豆杉悬浮培养细胞 PAL 活性,可显著提高的紫杉醇达  $24.88 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  (干重),而对照则没有检出<sup>[21]</sup>。在红豆杉细胞培养 20 d 添加  $20 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$  银离子( $\text{Ag}^+$ ),紫杉醇干重质量分数达  $83 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  (对照为 0)。研究表明,植物在受虫害损伤后,在次生代谢方面一个最明显的变化是酚类化合物含量的增加。此外,虫害诱导植物产生的挥发物中,萜烯类物质是其中最主要的组成部分<sup>[22]</sup>。

其中,一些报道明确提出了不同强度(剂量)环境胁迫下,植物次生代谢产物积累出现双向剂量关系。如低浓度盐胁迫( $20 \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )能提高广藿香幼苗根系的活力,而高浓度的盐胁迫( $\geq 40 \text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )则起抑制作用<sup>[23]</sup>。增补 UV-B 辐射下,马尾松 *Pinus massoniana* 针叶的甲醇可溶性提取物和细胞壁的碱提取酚类的含量明显高于正常水平的光辐射下<sup>[24]</sup>。随着 NaCl 胁迫浓度的增加,淫羊藿根、叶和箭叶淫羊藿根、茎、叶均呈现在低浓度范围内总黄酮含量增加;而在高浓度盐胁迫下,其总黄酮含量均呈下降的趋势<sup>[25]</sup>。适宜浓度的水杨酸能显著增加半夏产量和总生物碱含量,降低半夏倒苗率<sup>[26]</sup>。韩晓丽等研究发现低浓度 Cd 组青蒿中青蒿素显著高于对照组( $P < 0.05$ );随着 Cd 浓度的增加,青蒿素含量又逐渐下降,其中高浓度组显著低于低浓度组( $P < 0.05$ )<sup>[27]</sup>,证明小计量 Cd 对青蒿素积累有刺激作用。其他

类似的报道并不少见,这些研究为药用植物次生代谢产物积累的 Hormesis 现象的普遍性提供了证据。

### 3 Hormesis 在药用植物研究的应用

**3.1 提高次生代谢产物** 药用植物的活性成分是其所含的次生代谢产物,如生物碱、黄酮、萜类、蒽醌、香豆素、木质素等。环境胁迫(如重金属、干旱、严寒、伤害、高温等)下,植物通过向外界环境释放次生代谢产物(释放到环境中的次生代谢产物又被称为化感物质)来抑制其他植物的生长,以提高自身的竞争能力。随着人们对环境胁迫下植物次生代谢产物积累增加,以及由此引发的双向剂量效应的认识,人们认识到,作为植物保护素的次生代谢产物似乎比生物体的其他性状或机能对环境胁迫更敏感。因此,研究环境胁迫下次生代谢产物的适应性反应规律及机制的意义也就更大。

中药材生产中,在明确次生代谢产物积累与环境胁迫因子(如重金属、干旱、严寒、伤害、高温等)的剂量效应曲线,明确较低强度(小剂量)胁迫刺激次生代谢产物积累的 Hormesis 的特征和规律的基础上,充分利用药用植物生长发育与次生代谢产物积累的平衡点,来实现产量质量双丰收。这一点,在药用植物的组织培养中其实已被广泛应用,人们通常在组织培养的初期让组织或细胞快速增长,当生物量达到一定值,组织细胞增长接近平台期时,添加某些诱导子(例如重金属或微生物等)或改变培养条件(通常造成胁迫)来刺激次生代谢产物的积累。Hormesis 的理论使组织细胞培养中的这一做法有了更深刻的认识。在药用中药材栽培中,特别是一些珍贵药材进行设施栽培时,可以根据 Hormesis 的原理,找到最适宜生长及次生代谢产物积累的环境因子范围,借鉴组织细胞培养的做法,来实现中药材的高产优质生产。

**3.2 指导中药材适生地的选择** Hormesis 现象的发现对环境毒理学的最大贡献是让人们改变了对环境毒物的理解,人们开始重新考虑环境毒物对人类的风险及环境毒物治理的成本。这一点在环境重金属风险评估中表现的尤为突出,重金属作为自然界原有的一种毒性元素,其浓度达到什么程度才会通过植物及相关食物链上的生物对人类健康造成危害、人类应该把环境中的重金属控制到什么程度、如何在减少环境重金属对人类健康的危害和重金属治理的成本的综合考虑中取得最优方案等。

在中药材生产中,环境质量、尤其是土壤环境质量是中药材栽培地选择的关键因子。不少中药材都产在土壤并不肥沃的山地或荒漠,如果使用大量肥沃的农田来进行中药材栽培,一方面造成药粮争田的局面,另一方面造成中药材栽培成本增加。更重要的是,不少研究表明,肥沃的土地在造成中药材产量增加的同时,却造成了药材质量的下降。Hormesis 效应对这一现象有了全新的认识,在中药材栽培地选择中,要充分考虑以次生代谢积累为目标的中药生产与粮食等作物生产的不同特性,在中药材基地选择中不要一味追求环境因子的最适宜,而是要适当地保留环境胁迫因子的存



在,以此实现中药材高效优质生产。甚至,在一些特定情况下,人们甚至可以选择那些受到重金属污染的土地栽培中药材。例如根据韩晓丽等的研究报道,低浓度 Cd 可刺激黄花蒿中青蒿素积累的显著增加。由于黄花蒿的药用主要以提取其中的青蒿素,因此,在黄花蒿栽培地选择中,那些不被农作物生产看好的 Cd 稍稍超标的土壤,其实可以被看做是黄花蒿栽培的首选地,这样不但充分利用了土地,降低了成本,还可提供青蒿素产量<sup>[27]</sup>。

**3.3 指导中药材生产管理** Hormesis 在中药材生产管理中的应用主要体现在农药、除草剂的使用上。近年来,减少农药使用甚至全面禁止农药使用的呼声越来越高。但事实证明,片面追求农药的减少并不总是有利于害虫防治,甚至可能会加重害虫的发生。研究发现,低剂量氟虫氰处理小菜蛾,在一定范围内能够增强试虫其后耐高温的能力<sup>[28]</sup>。低浓度有机磷农药对赤潮微藻的促进作用较为明显。草甘磷对中肋骨条藻、草甘磷对赤潮异弯藻、乐果对赤潮异弯藻、敌百虫对亚心形扁藻,具有明显的低浓度促进、高浓度抑制作用<sup>[29]</sup>等。可见,低浓度的农药可能不但不能从根本上消灭病原微生物,导致病原微生物的抗药性,而且可能刺激病原微生物的活力增加。因此,中药生产中使用农药、除草剂时,应避免片面追求减少农药、除草剂用量的做法,应当尽量选择低毒农药及除草剂,但每次施药时一定要保证农药及除草剂用量达到够量标准,防止因为用量不足引起的病原微生物或杂草的 Hormesis 效应。

**3.4 提高植物整体抗逆性** 研究证实,小剂量胁迫引起的 Hormesis,对提高生物在其后遭遇的各种胁迫具有预防作用。黄璐琦等<sup>[3]</sup>提出了环境胁迫下利用植物整体抗逆性研究道地药材的策略。Calabrese<sup>[1]</sup>总结了 Hormesis 研究中毒物浓度(胁迫强度)设定、Hormesis 效应评价及 Hormesis 曲线制作的基本常识和规律。在药用植物生产实践中,把整体抗逆性和 Hormesis 研究相结合,利用 Hormesis 对生物的保护与修复能力,对提高植物的整体抗逆性具有很好的指导意义。例如,在中药材种子发芽或育苗期间,利用小剂量环境胁迫对中药材进行预胁迫处理,有望提高中药材在生长发育过程中对各种环境胁迫的抗性,减少环境胁迫对中药材造成的伤害。

#### 【参考文献】

[1] Calabrese E J, Baldwin L A. Hormesis as a biological hypothesis [J]. Environ Health Perspect, 1998, 106(supplement 1): 357.  
[2] Calabrese E J, Baldwin L A. Toxicology rethinks its central belief [J]. Nature, 2003, 421: 691.  
[3] 黄璐琦, 郭兰萍. 环境胁迫下次生代谢产物的积累及道地药材的形成[J]. 中国中药杂志, 2007, 32(4): 278.  
[4] Southam C M, Ehrlich J. Effects of extracts of western redcedar heartwood on certain wood-decaying fungi in culture [J]. Phytopathology, 1943, 33: 517.  
[5] Stebbing A R D. Hormesis the stimulation of growth by low level

of inhibitors [J]. Sci Total Envir, 1982, 22: 213.  
[6] 让欧艳, 让蔚清. 低剂量兴奋效应及其医学应用 [J]. 实用预防医学, 2009(1): 329.  
[7] 许苏凌, 邢承华, 方勇. 镉胁迫对紫花苜蓿生长及植株镉含量的影响 [J]. 广东微量元素科学, 2008, 15(3): 23.  
[8] 涂俊芳, 王兴明, 刘登义, 等. 不同浓度铜对紫背萍和青萍色素含量及抗氧化酶系统的影响 [J]. 应用生态学报, 2006, 17(3): 502.  
[9] 王泽港, 骆剑锋, 刘冲. 单一重金属污染对水稻叶片光合特性的影响 [J]. 上海环境科学, 2004, 23(6): 240.  
[10] 张峰, 刘洪伟, 宋志东. 几种重金属对刺参体腔细胞超氧阴离子(O<sup>2-</sup>)产生的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2006, 25(21): 100.  
[11] 韩善华. Hg<sup>2+</sup>胁迫对植物细胞结构的影响及其机制 [J]. 中国微生态学杂志, 2009(5): 480.  
[12] 龚春梅, 庄志雄. 浅议毒物兴奋效应 [J]. 中山大学研究生学刊: 自然科学与医学版, 2007, 28(4): 24.  
[13] Sagan L A. What is Hormesis and why haven't we heard about it before [J]. Health Physics, 1987, 52(5): 521.  
[14] 祭美菊, 冯虎元, 安黎哲, 等. 增强的 UV-B 辐射对植物影响的研究 [J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 359.  
[15] 武征, 郭巧生, 王庆亚, 等. 夏枯草内在品质及生长特性对铅、铜、镉胁迫的响应 [J]. 中国中药杂志, 2010, 35(3): 263.  
[16] 薛建平, 张爱民, 方中明, 等. 水杨酸对半夏植株生长的影响 [J]. 中国中药杂志, 2007, 23(12): 1134.  
[17] Olisson L C, Veit M, Weissenbock G, et al. Differential flavonoid response to enhanced UV-B radiation in *Brassica napus* [J]. Photochemistry, 1998, 49: 1021.  
[18] 张长平, 李春, 元英进. 真菌诱导子对悬浮培养南方红豆杉细胞次生代谢的影响 [J]. 化工学报, 2002, 53(5): 498.  
[19] Wu J Y, Wang C G, Mei X G. Stimulation of taxol production and excretion in *Taxus* spp cell culture by rare earth chemical lanthanum [J]. J Biotechnol, 2001, 85: 67.  
[20] 鲁宽科, 常振站, 裴德清. 稀土元素 Eu 对大黄愈伤组织生长及蒽醌类成分的影响 [J]. 西北药学杂志, 1998, 13(5): 199.  
[21] 李家儒, 管志勇, 刘曼西, 等. Cu<sup>2+</sup> 对红豆杉培养中紫杉醇形成的影响 [J]. 华中农业大学学报, 1999, 18(2): 117.  
[22] 黄璐琦, 陈美兰, 肖培根. 中药材道地性研究的现代生物学基础及模式假说 [J]. 中国中药杂志, 2004, 29(6): 494.  
[23] 郭巧生, 吴友根, 林尤奋. 广藿香苗期生长及其抗氧化酶活性对盐胁迫的响应 [J]. 中国中药杂志, 2009, 34(5): 530.  
[24] 赵平, 孙谷畴, 曾小平. 增补 UV-B 辐射下南亚热带森林建群树种叶片对 UV-B 辐射的防护 [J]. 应用与环境生物学报, 2008, 14(3): 308.  
[25] 陈光登, 黎云祥, 张浩, 等. 盐胁迫对两种淫羊藿属植物生长及各器官总黄酮含量的影响 [J]. 西北植物学报, 2008(10): 2047.  
[26] 薛建平, 张爱民, 方中明, 等. 水杨酸对半夏植株生长的影响 [J]. 中国中药杂志, 2007, 23(12): 1134.  
[27] 韩晓丽. 土壤重金属污染及其化学修复对青蒿生长及青蒿素



- 含量的影响[D]. 开封:河南大学,2008.
- [28] 曹广春. 小菜蛾 *Plutellaxylostella* (L.) 对虫酰肼的抗性及其机制研究[D]. 南京:南京农业大学,2007.
- [29] 蔡卓平. 有机磷农药对海洋微藻的毒物兴奋效应及其机制研究[D]. 广州:暨南大学,2009.

## Hormesis and its application in medicinal plant growing

GUO Lanping<sup>1</sup>, ZHANG Xiaobo<sup>1</sup>, YANG Guang<sup>1</sup>, HUANG Luqi<sup>1\*</sup>, MA Jiong<sup>2</sup>

(1. Institute of Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medicinal Sciences, Beijing 100700, China;

2. School of Environment and Energy Peking University, Shenzhen 518055, China)

[Abstract] Hormesis describes the low-dose stimulation and high-dose inhibition phenomena for all kind lives under toxicity environment. This paper generalized hormesis of medicinal plant on grow and metabolite after introducing the concept and study state of hormesis and analyzing hormesis mechanism and its significance. It points out that hormesis can be well used for medicinal plants growth, including increasing the metabolise, giving a dereaction for cultivated field chosen, guiding the agriculture management during the cultivation and improving the anti-stress.

[Key words] Hormesis; stress; medicinal plant; growing

doi:10.4268/cjcmm20110501

[责任编辑 吕冬梅]

### 《中国中药杂志》征订启事

《中国中药杂志》创刊于1955年7月,是由中国科学技术协会主管,中国药学会主办,中国中医科学院中药研究所承办的综合性中药学术期刊,全面反映我国中药与天然药物学科领域最新进展与研究动态,是中医药最高科研学术水平的交流平台之一。主要报道该领域新成果、新技术、新方法与新思路,内容包括栽培、资源与鉴定、炮制、药剂、化学、药理、不良反应、临床等。设有专论、综述、研究论文、研究报告、临床、学术探讨、药事管理、经验交流、信息等栏目。主要读者对象为各级管理部门、科研院所、大专院校、工厂企业以及医院等从事中医药科研、管理、生产、医院制剂及临床等方面的人员。本刊现为半月刊,144页,每期定价30元,全年定价720元。国内刊号11-2272/R,国际刊号1101-5302。

《中国中药杂志》在国际国内医药学领域内具有广泛影响。被美国 Medline 数据库、《化学文摘》(CA)、《国际药学文摘》(IPA)、《毒物学文摘》(ToxFile)、俄罗斯《文摘杂志》(AJ)、波兰《哥白尼索引》(IC)、WHO 西太平洋地区医学索引(WPRIM)等16家权威性专业文摘收录;国内为“中国科学引文数据库”、“中国学术期刊综合评价数据库”来源期刊,中国自然科学核心期刊,中国中文核心期刊,中国科技核心期刊,并被《中国学术期刊文摘》中、英文版收录。曾荣获第三届国家期刊奖百种重点期刊、历届国家中医药管理局全国优秀中医药期刊评比一等奖,并获得中国科学技术协会精品科技期刊工程项目B类资助。

地址:北京市东直门内南小街16号;邮编:100700;http://www.cjcmm.com.cn;E-mail:cjcmm2006@188.com;联系电话详见本刊网站。