

多效唑的作用机制及其对中药材的影响

叶坤浩, 赵丹, 陈杰, 戴维, 赖强龙

(绵阳市农业科学研究院中药材研究所, 国家中药材产业技术体系绵阳综合试验站, 四川绵阳 621023)

摘要 多效唑是一类具有植物激素活性的三唑类化学物质。从多效唑的理化特性、对植物的影响途径等方面阐述了多效唑的作用机理, 并将其对中药材植株的影响归纳为提高产量、改变成分含量、调控生理形态三个方面。同时, 对多效唑在中药材质量、安全用药、残留限量等方面进行了探讨, 以期为科学施用多效唑及其他植物生长调节剂提供依据, 为促进中药材种植产业的健康发展、保障中药材安全生产提供参考。

关键词 多效唑; 植物生长调节剂; 作用机制; 中药材安全

中图分类号 S482.8 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2022)13-0027-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.13.008



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research Progress on the Mechanism of Action of Paclobutrazol and its Regulation on the Growth of Traditional Chinese Medicines

YE Kun-hao, ZHAO Dan, CHEN Jie et al (Institute of Chinese Medicinal Materials, Mianyang Academy of Agricultural Sciences, Comprehensive Experimental Station of Mianyang, Chinese Materia Medica of China Agriculture Research System, Mianyang, Sichuan 621023)

Abstract Paclobutrazol is a kind of synthetic triazole chemical with phytohormone activity. In this study, the mechanism of paclobutrazol was analyzed from the aspects of physicochemical properties of paclobutrazol and its influence on Chinese medicinal materials plants, which was summarized as three aspects: increasing yield, changing component content and regulating physiological morphology. At the same time, the effect of paclobutrazol on the quality, safe use and residue limit of traditional Chinese medicine were discussed in order to provide the basis for the scientific application of paclobutrazol and other plant growth regulators, and to promote the development of traditional Chinese medicine planting industry, ensuring the safe production of traditional Chinese medicine.

Key words Paclobutrazol; Plant growth regulator; Mechanism of action; Safety of Chinese medicinal materials

多效唑又名氯丁唑, 简称 PP₃₃₃, 是植物生长抑制剂和三唑类杀菌剂, 具有低毒、广谱等特点^[1-4], 是现代植物化控技术常用的外源调节物质, 可抑制植物生长、矮化植物、提高植物抗逆性^[5-7]。目前广泛应用于多种植物上, 创造了巨大的经济效益和社会效益^[8]。

近年来, 随着中药材人工种植面积增大, 多效唑在中药材生产中的使用也被广泛关注。该研究通过归纳多效唑对植物的作用机理以及在中药种植的应用现状, 分析多效唑的使用在中药材生产中的安全性及与环境之间的关系, 以期对多效唑在经济效益、生态效益、安全性问题等方面进行综合评估, 为中药材安全、规范生产提供参考。

1 多效唑的作用机制

1.1 多效唑的理化特性 多效唑 (2RS, 3RS)-1-(4-氯苯基)-4,4-二甲基-2-(1H-1,2,4-三唑-1-基)戊-3-醇, 为白色晶体, 不溶于水, 可溶于甲醇等有机溶剂, 性质较稳定, 具有 4 个光学异构体, 分别是 (2R, 3R)-多效唑、(2S, 3S)-多效唑、(2S, 3R)-多效唑和 (2R, 3S)-多效唑 (图 1), 以 (2S, 3S)-多效唑光学异构体对植物生长的抑制作用最强^[9]。多效唑商品药剂一般为 15% 可湿性粉剂或 25% 的悬浮剂。通常条件下, 多效唑在土壤中半衰期为 0.5~1.0 年, 常温 (20℃) 可储存 2 年以上^[10]。

1.2 多效唑对赤霉素生物合成的影响

多效唑是含氮杂环

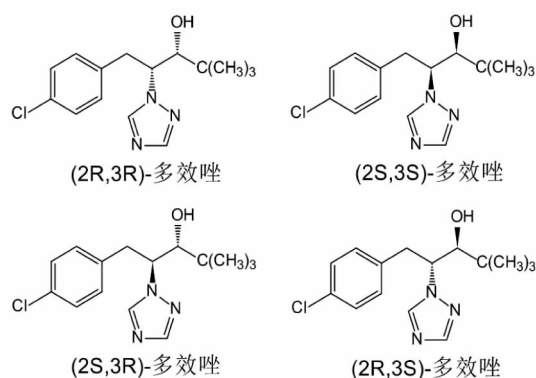


图 1 多效唑的化学结构式

Fig. 1 Chemical structure of paclobutrazol

化合物类植物生长调节剂, 其杂环上氮分子周围有一孤电子对, 可与靶标植物中的单加氧酶内的细胞色素 P450 (Cyt P450) 直接作用, 使单加氧酶失活^[11-12]。张石城^[13-14]研究表明, 赤霉素类 (GAs) 的生物合成过程中, 内-贝壳杉烯由内-贝壳杉烯氧化酶催化反应, 生成内-贝壳杉烯酸, 而多效唑起作用的靶酶正是贝壳杉烯氧化酶。通过作用靶酶, 多效唑能专一地抑制贝壳杉烯向贝壳杉烯醇的氧化, 从而抑制 GAs 的合成。

研究表明, 三唑类化合物 (多效唑、稀效唑、嘧啶醇等)^[15] 一般在低浓度时抑制细胞延长, 高浓度时抑制细胞分裂, 同时影响脱落酸 (ABA)、细胞分裂素、乙烯和多胺的代谢。

1.3 多效唑对吲哚乙酸和脱落酸的影响 多效唑的另一条调控途径则是通过提高吲哚乙酸 (IAA) 氧化酶的活性, 加速体内 IAA 的分解, 提高 ABA 的含量。ABA 和 GA 的合成

基金项目 四川省科技计划重点研发项目 (2019YFN0033); 四川省科技计划重点研发项目 (2019YFN0038); 四川省科技计划重点研发项目 (2021YFN0073)。

作者简介 叶坤浩 (1988—), 男, 四川绵阳人, 助理研究员, 在读博士, 从事药用植物病害研究。

收稿日期 2021-08-13

途径之间存在抑制效应,因此多效唑在抑制 GA 合成时,ABA 的含量也会提高,使植株的营养生长受到抑制,进而矮化。张大雷^[16]通过以广两优 558 研究为材料,发现水稻植株体内 IAA 含量明显降低,ABA 含量随之增加,水稻株高受到抑制;黄诚梅等^[17]在甘蔗品种“新台糖 22 号”植株叶片等生长部位,对 IAA、GA 激素含量变化进行分析,发现多效唑能提高 ABA 的含量,降低 IAA 含量,抑制甘蔗株高、增粗茎径。

2 多效唑对中药材的影响

2.1 提高收获部位产量 中药材种植经济价值高,目前多效唑在中药材的应用上以提高产量为主。多效唑可调节光合产物的分配,增加根类、花类和果实类的产量,因此多效唑用于根和根茎类、花果类中药材中的研究较多,林秋霞等^[18-19]研究发现,低剂量的多效唑能促进麦冬、湖北麦冬的生长发育,提高两者产量。李龙进^[20]研究表明,多效唑浸种也可以提高太子参的产量和质量。多效唑叶面喷施也能一定程度上提高中药材的产量,在当归、桔梗、甘草和黄花乌头等药材上已有广泛应用^[21-23]。施力军等^[24]发现,植物开花期使用多效唑还可以增加植物种子数量,蔓性千斤拔开花期使用多效唑后,种子数量显著提高。

2.2 改变成分含量 多效唑能通过抑制植株地上部分的营养生长,促进地下部分干物质积累,改变中药材有效成分含量,因此中药材种植中已有大量使用报道^[25-27]。研究发现,麦冬在施用多效唑后,黄酮类物质的含量明显升高。在地黄中施用多效唑能改变可溶性糖、蔗糖、醇溶物含量和氨基酸总量^[28-30]。辽藁本可通过使用不同浓度的多效唑调节挥发油的含量^[31]。桔梗叶面喷施多效唑可显著提高总皂苷含量^[32]。

2.3 调控生理形态 多效唑在忍冬第 3 茬花前喷施,可以控制忍冬的枝条旺长,减少长花枝的比例,增加中短枝比例,缩短长枝的节间长度,加快花蕾发育,增加首日开花量^[33]。在花分化前施用多效唑可增加五味子总花数,控制单株的五味子果实数量增减^[34-35]。在款冬花生长发育期对其喷施多效唑能通过提高款冬单株的开花数量^[36]。蒙爱东等^[37]发现通过多效唑浸根处理可控制石斛的有效分蘖率和珠芽的发生。朱霞等^[38]利用不同浓度的多效唑浸种调控决明子幼苗根系活力的变化。刘为军等^[39]则利用多效唑和氯化胆碱复配促进快繁何首乌的生根。何克勤等^[40]在甜叶菊离体保存中,通过多效唑的使用,使甜叶菊试管苗再生芽、根分化的数量增加,繁殖率提高。

3 多效唑的应用安全

3.1 多效唑的毒性 多效唑在世界卫生组织的农药危害分级标准规定中属于中等毒性,在我国的农药危害分级标准中则为低毒性。多效唑在土壤中的半衰期较长,有可能对非靶目标物产生危害,因此许多欧盟国家已经禁用^[41]。

研究表明,对大鼠口喂饲多效唑原药在 128.0 mg/(kg·d)和 421.2 mg/(kg·d)剂量时出现繁殖毒性,主要表现为雄性生殖器官损伤,子代体重和繁殖指数降低等^[42]。用 IBR 值评估多效唑、蝇毒磷、丙溴磷 3 种农药的神经毒性发现,多效唑引起雌鼠血清中神经递质浓度的改变持续期最久、偏离正常状态最大,对雌鼠的神经毒性由高到低依次为多效唑、蝇毒磷、丙溴磷^[43]。

日本、韩国、新西兰和澳大利亚等国均规定多效唑的最高残留限量为 1.00 mg/kg^[44-45]。《食品安全国家标准食品中农药最大残留限量》(GB 2763—2016)对多效唑残留量的规定及国外常见农产品多效唑最大残留限量值见表 1^[46]。

表 1 国内外常见农产品中多效唑最大残留限量值
Table 1 Maximum residue limits of paclobutrazol in common agricultural products at home and abroad mg/kg

农产品 Agricultural products	国际食品法典 委员会 CAC	中国 China	欧盟 EU	澳大利亚 Australia	美国 America	日本 Japan
稻谷 Rice	—	0.5	0.02	0.01	—	0.05
小麦 Wheat	—	0.5	0.02	0.01	—	—
油菜籽 Rapeseed	—	0.2	0.02	—	—	—
菜籽油 Rapeseed oil	—	0.5	—	—	—	—
花生仁 Peanut kernel	—	0.5	0.02	1.00	—	—
苹果 Apple	—	0.5	0.50	1.00	—	0.50
荔枝 Litchi	—	0.5	0.50	0.01	—	0.01
猕猴桃 Kiwi	—	—	0.50	0.01	—	0.01
梨 Pear	—	—	0.50	1.00	—	1.00
芒果 Mango	—	—	0.50	0.01	—	0.01
桃 Peach	—	—	0.50	0.01	—	0.20

3.2 多效唑的残留 多效唑在土壤中易被吸附且降解慢,50.0%的多效唑在 10~30 d 被降解,而剩下的 50.0%需 180~210 d 才能降解到一个相对较低的水平,残留时间长,还会破坏土壤中的微生物环境,其效应往往在施用后第 2 年表现出来^[47-49]。

4 结语

目前,多效唑及其他植物生长调节剂在中药材栽培上应

用较为广泛,针对使用效果、作用机制等方面也做了一些研究,解决了中药材种植中的一些难题,在打破种子休眠、控制植物生长、促进花芽分化、抑制病虫害、提高作物产量、延长花期等方面有重要作用。但因为缺乏相应的安全性研究数据、科学使用规范以及有效的监督管理,部分药农为提高药材产量增加收益,仍存在盲目滥用的行为,中药材用药安全存在巨大隐患,因此提出以下建议:

第一,加强多效唑以及其他植物生长调节剂对中药材品质、品相等因素影响的研究。多效唑等植物生长调节剂对中药材的性状特征、有效成分、临床效果等方面都有一定的影响。因此,应加强此类问题的研究,确保植物生长调节剂的合理使用、保障中药材产业健康发展。

第二,制定完善多效唑及其他植物生长调节剂在中药材上的登记和生产中的使用规范、残留限量标准。多效唑尚未在中药材生产上登记,又因其作用靶标特异,所以地区间、中药材品种间的差异,会对植物生长产生不同的影响,这种影响一方面可以提高作物产量帮助药农增收,另一方面则是改变中药材中次生代谢产物和导致残留、生态环境安全等隐患,因此该类药剂在中药材中的使用应尽快完善登记、严格要求使用。

第三,建立性价比高的多效唑及其他生长调节剂的快速检测方法。现有的检测方法多数是基于色谱的检测,该类方法虽准确但检测和成本要求较高、时间较长,难以在中药材市场中广泛使用,因此廉价的生长调节剂快检方法亟待开发。

参考文献

- [1] 游巍,汪天.多效唑作用及应用研究进展(综述)[J].亚热带植物科学,2013,42(4):361-366.
- [2] 王海山,孙红梅.植物生长延缓剂提高红茄抗旱性的研究[J].中国农学通报,2012,28(7):126-132.
- [3] ADDO-QUAYE A A, DANIELS R W, SCARISBRICK D H. The influence of paclobutrazol on the distribution and utilization of ^{14}C -labelled assimilate fixed at anthesis in oil-seed rape (*Brassica napus* L.) [J]. The journal of agricultural science, 1985, 105(2):365-373.
- [4] HANSSON E P, WEST C A. Properties of the system for the mixed function oxidation of kaurene and kaurene derivatives in microsomes of the immature seed of *Marah macrocarpus*: Electron transfer components [J]. Plant physiology, 1976, 58(4):479-484.
- [5] 陈品,陆建飞.长江中下游地区直播稻的生理生态特性及其栽培技术的研究进展[J].核农学报,2013,27(4):487-494.
- [6] MOG B, JANANI P, NAYAK M G, et al. Manipulation of vegetative growth and improvement of yield potential of cashew (*Anacardium occidentale* L.) by Paclobutrazol [J/OL]. Scientia horticulturae, 2019, 257 [2021-04-25]. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108748>.
- [7] 杨瑞斌.盆栽芭蕾苹果应用多效唑的矮化效果[J].果树实用技术与信息,2015(1):7.
- [8] VAZ F L, NETTO A M, ANTONINO A C D, et al. Modeling of the kinetics biodegradation of paclobutrazol in two soils of the semiarid northeast Brazil [J]. Química nova, 2011, 35(1):77-81.
- [9] ZENG H Y, XIE X J, HUANG Y J, et al. Enantioseparation and determination of triazole fungicides in vegetables and fruits by aqueous two-phase extraction coupled with online heart-cutting two-dimensional liquid chromatography [J/OL]. Food chemistry, 2019, 301 [2021-04-25]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125265>.
- [10] 朴蕾,侯智霞,孟晓庆.赤霉素和多效唑对榛子雌雄花数量的影响[J].中国农学通报,2012,28(4):32-35.
- [11] 张瑶.三唑类杀菌剂金属配合物的合成、表征、生物活性及缓释性能研究[D].西安:西北大学,2017.
- [12] 唐秀梅,刘超,钟瑞春,等.多效唑、缩节胺和矮壮素对花生化学调控效应的比较研究[J].南方农业学报,2011,42(6):603-605.
- [13] 张石城,刘祖祺.植物化学调控原理与技术[M].北京:中国农业出版社,1999:333-437.
- [14] 李节法,田义珂,王彩虹,等.梨贝壳烯氧化酶基因 *PpKO* 的克隆及生物信息学分析[J].园艺学报,2010,37(10):1575-1582.
- [15] 刘洪峰.植物生长延缓剂在药用植物栽培中的应用[J].农村实用技术,2018(12):48-49.
- [16] 张大雷.赤霉素和多效唑对直播水稻产量及倒伏性的影响研究[D].武汉:华中农业大学,2016.
- [17] 黄诚梅,班德宇,魏源文,等.赤霉素与多效唑对甘蔗愈伤再生苗植株内源激素含量的影响[J].热带农业科学,2019,39(4):41-47.
- [18] 林秋霞,李敏,罗远鸿,等.植物生长调节剂对川麦冬生长发育影响的研究[J].时珍国医国药,2014,25(8):1994-1996.
- [19] 兰宏昌.多效唑应用于湖北麦冬种植的实验研究[D].武汉:华中科技大学,2010.
- [20] 李龙进.播种量及多效唑浸种对3个太子参品种(系)农艺性状与质量的影响[D].贵阳:贵州大学,2018.
- [21] 翟宇瑶,郭宝林,程明.植物生长延缓剂在药用植物栽培中的应用[J].中国中药杂志,2013,38(17):2739-2744.
- [22] 谷小红,郭宝林,田景,等.植物生长调节剂在药用植物生长发育和栽培中的应用[J].中国现代中药,2017,19(2):295-305,310.
- [23] 冯雪,李赫男,肖凤艳.植物生长调节物质对黄花乌头性状及产量影响的研究[J].吉林农业科技学院学报,2011,20(2):7-10.
- [24] 施力军,马小军,冯世鑫,等.多效唑处理对蔓性千斤拔种子产量及质量的影响[J].种子,2011,30(12):94-97.
- [25] 凌征柱,赵维合,覃文流,等.多效唑对法比亚基部节间生长及干物质积累的影响[J].现代中药研究与实践,2010,24(3):11-13.
- [26] 巫鹏举,曹有龙,焦恩宁,等.多效唑和矮壮素对枸杞的矮化效应[J].北方园艺,2010(7):193-195.
- [27] 李瑞理.麦冬中农药残留风险评估及多效唑对其品质影响研究[D].北京:中国农业科学院,2020.
- [28] 陈明霞,李向武,李明军,等.多效唑对脱毒怀地黄生长发育、产量及品质的影响[J].北方园艺,2014(18):171-174.
- [29] 陈明霞,李敬敬,李明军,等.多效唑与膨大素组合对脱毒怀地黄生长发育和品质的影响[J].南方农业学报,2014,45(11):1947-1950.
- [30] 陈明霞,赵喜亭,李明军,等.多效唑对脱毒怀地黄光合生理和抗性生理的影响[J].北方园艺,2014(22):158-161.
- [31] 武晓林,赵伟,王大伟,等.不同浓度多效唑对辽藁本生长·产量和挥发油含量的影响[J].安徽农业科学,2009,37(35):17837-17839.
- [32] 张小斌.摘蕾打顶与多效唑处理对桔梗生长性状及总皂甙含量的影响[J].安徽农业科学,2008,36(11):4558,4572.
- [33] 崔志伟,王康才,郑晖.多效唑和缩节胺对现蕾前忍冬枝叶生长及花蕾性状和有效成分含量的影响[J].植物资源与环境学报,2014,23(1):99-103,112.
- [34] 陈春宇,张蕾,王秀全,等.生长调节剂对五味子成花及产量的影响[J].吉林农业大学学报,2011,33(4):360-363.
- [35] 赵权,程友剑.烯效唑和乙醇对五味子相关品质的影响[J].北方园艺,2010(5):188-190.
- [36] 颜永刚,刘毅.生长调节剂对款冬花产量和质量的影响[J].辽宁中医药大学学报,2011,13(1):64-66.
- [37] 蒙爱东,王东兰,胡东南,等.多效唑对铁皮石斛试管苗培养的影响[J].安徽农业科学,2009,37(15):6856-6857,6980.
- [38] 朱霞,胡勇,王晓丽,等.多效唑浸种对决明子种子萌发及幼苗生长的影响[J].安徽农业科学,2010,38(17):8980-8981.
- [39] 刘为军,张慧英,张静.氯化胆碱和多效唑在何首乌快繁中的应用[J].广西热带农业,2009(1):4-7.
- [40] 何克勤,李刘东,吕磊,等.甜叶菊离体保存技术研究[J].分子植物育种,2018,16(6):1929-1935.
- [41] SHALINI L, SHARMA D. Persistence and movement of paclobutrazol residues in a mango orchard soil [J]. Bulletin of environmental contamination and toxicology, 2006, 76(6):930-934.
- [42] CHEN R T, DENG Y Y, CHEN X Y. Study on the two-generation reproductive toxicity of paclobutrazol in SD rats [J]. Toxicology letters, 2008, 180:S165.
- [43] 徐萌萌.基于神经递质的三种典型农药的神经毒性研究[D].杭州:浙江大学,2018.
- [44] 史晓梅,金芬,黄玉婷,等.水果中常用植物生长调节剂的研究进展[J].食品工业科技,2012,33(4):417-422,426.
- [45] 朱杰丽,杨柳,柴振林,等.国内外植物生长调节剂限量标准分析研究[J].生物灾害科学,2013,36(2):232-236.
- [46] 国家卫生和计划生育委员会,农业部,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中农药最大残留限量:GB 2763—2016[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [47] SILVA C M M, VIEIRA R F, NICOLELLA G. Paclobutrazol effects on soil microorganisms [J]. Applied soil ecology, 2003, 22(1):79-86.
- [48] KUO J, WANG Y W, CHEN M, et al. The effect of paclobutrazol on soil bacterial composition across three consecutive flowering stages of mung bean [J]. Folia microbiologica, 2019, 64(2):197-205.
- [49] 王存.多效唑在植物生产上的应用现状[J].热带农业科学,2009,29(2):67-72.