

多效唑对东魁杨梅生长与结果的影响

陈方永, 倪海枝, 王引, 任正初

浙江省柑橘研究所, 黄岩 318020

摘要: 以东魁杨梅 (*Myrica rubra* cv. Dongkui) 为受试生物, 研究了中、高剂量和不同施用频率的多效唑 (paclobutrazol, 代号 PP₃₃₃) 处理对果树正常生长和结果的影响。实验设 4 个处理, 分别为无 PP₃₃₃ 施用记录、5 年前施用后停用、连续 5 年施用 300 mg·kg⁻¹ PP₃₃₃ 和连续 5 年施用 400 mg·kg⁻¹ PP₃₃₃。结果显示, 300 ~ 400 mg·kg⁻¹ PP₃₃₃ 处理使东魁杨梅叶片硬度增大, 叶片颜色加深, 反卷; 枝条纤维素含量增加, 断枝承受力降低; 果实单果重减小, 可溶性固形物含量降低。杨梅叶片和树皮细胞结构的检测结果表明, 300 ~ 400 mg·kg⁻¹ PP₃₃₃ 处理使叶片栅栏组织和海绵组织细胞紧缩, 细胞变小, 海绵组织增厚, 呈失水皱缩状; 树皮木质部的细胞大小和密度无明显变化, 但韧皮部的细胞密度变大, 细胞间空隙减小。连续施用 300 ~ 400 mg·kg⁻¹ 的 PP₃₃₃ 会导致杨梅叶片和土壤中 PP₃₃₃ 的残留和积累。研究表明, 中、高剂量的 PP₃₃₃ 对杨梅的生长和生殖均有不利影响。

关键词: 东魁杨梅; 多效唑 (PP₃₃₃); 过量施用

文章编号: 1673-5897(2011)6-661-06 **中图分类号:** S662.4 **文献标识码:** A

Effect of Paclobutrazol (PP₃₃₃) on Growth and Fruiting of Dongkui Bayberry (*Myrica rubra*)

Chen Fangyong, Ni Haizhi, Wang Yin, Ren Zhengchu

Zhejiang Citrus Research Institute, Huangyan 318020, China

Received 19 July 2011 **accepted** 29 August 2011

Abstract: To investigate the effect of paclobutrazol (PP₃₃₃) on growth and fruiting of Dongkui bayberry (*Myrica rubra*), four treatments were designed, including CK group in which PP₃₃₃ was never used, T1 treatment in which PP₃₃₃ was used five years ago and then stopped, T2 treatment in which 300 mg·kg⁻¹ PP₃₃₃ (middle dose) was applied consecutively for 5 years and T3 treatment in which 400 mg·kg⁻¹ (high dose) PP₃₃₃ was applied consecutively for 5 years. Results showed that application of 300 ~ 400 mg·kg⁻¹ PP₃₃₃ treatment led to the increase in leaf hardness and branch cellulose content, and the decrease in branch bearing capacity. Compared with the CK group, PP₃₃₃ treatment darkened leaf color and caused leaf curl, and decreased single fruit weight and its soluble solid content. Moreover, 300 ~ 400 mg·kg⁻¹ PP₃₃₃ treatment increased the thickness of spongy tissue, and made palisade and spongy cells smaller, tighter and appearing dehydrated. After PP₃₃₃ treatment, no significant change was found in number and size of xylem cells, whereas phloem cells appeared to be much smaller and tighter than that of CK. PP₃₃₃ residue was detected in soil and leaf of Dongkui bayberry in T2 and T3 treatments. It is concluded that PP₃₃₃ application with middle and high doses could exert adverse effect on growth and reproduction of Dongkui bayberry.

Keywords: Dongkui bayberry; paclobutrazol (PP₃₃₃); excessive application

收稿日期: 2011-07-19 录用日期: 2011-08-29

基金项目: 浙江省科技厅项目 (2010C32049); 浙江省台州市科技项目 (08KY05)

作者简介: 陈方永 (1965-), 男, 果树学硕士, 在读博士, 副研究员, 研究方向为杨梅、枇杷的遗传育种与有机生理栽培, E-mail: cfy17266@126.com

多效唑(multi-effect triazole, MET),又名氯丁唑,代号 PP₃₃₃,属含氮杂环化合物中的三唑类化合物,是一种高效低毒的植物生长调节剂农药,不仅具有高效的植物生长调节作用和广谱性杀菌效应,而且可提高植物的抗逆能力^[1]。从20世纪80年代后期起,PP₃₃₃在果树上的应用越来越普遍,其在抑制果树新梢的营养生长,促发短枝,促进成花上具有重要作用^[2]。但作为一种生长抑制剂,过量施用必然会造成树体衰弱,果实质量下降等诸多问题。目前,从生态毒理学角度研究 PP₃₃₃对果树生长和生殖影响未见文献报道,现有报道多以水生浮游生物为受试体。研究表明,高剂量的 PP₃₃₃会明显抑制羊角月牙藻(*Selenastrum capricornutum*)的生长^[3],降低大型溞的生殖能力^[4]。杨梅(*Myrica rubra*)是中国的特产果树,其中,东魁杨梅(*Myrica rubra* cv. Dongkui)是我国杨梅的四大良种之一,且种植面积居四大良种之首。施用 PP₃₃₃也是一种调节杨梅生长和结果的重要手段,但生产上高剂量 PP₃₃₃的施用会造成树体营养失调、早衰和果实质量差等问题^[5]。迄今,对于过量施用 PP₃₃₃对杨梅生长和结果的影响研究鲜有报道。本研究旨在探讨中、高剂量的 PP₃₃₃处理对杨梅叶片、枝条、树皮和果实的性状及细胞结构的影响,明确 PP₃₃₃在土壤、叶片和果实中的积累和残留情况,以期为 PP₃₃₃的合理使用提供理论指导。

1 材料与方法(Materials and methods)

1.1 仪器与试剂

仪器: T200 型邵氏 A 硬度计(上海六菱仪器厂); ATAGO H-80 阿贝折光仪(日本 ATAGO 公司); Olympus BX61 光学显微镜(日本 Olympus 公司); Waters 1525 高效液相色谱仪(美国 Waters 公司); Olympus DP 70 CCD 型相机拍照(日本 Olympus 公司)。

试剂: 15% 可湿性粉剂 PP₃₃₃购自世纪信联生化科技有限公司; 制作石蜡切片所用试剂包括伊红(上海如吉生物科技发展有限公司)、甲苯胺蓝(上海如吉生物科技发展有限公司)和二甲苯(青岛太辉化工有限公司)等均为分析纯; 所用甲醇、二氯甲烷和乙腈均为色谱纯(美国 Sigma 公司)。

1.2 实验材料

供试树为7年生东魁杨梅,4个取样点分别设置在浙江省柑橘研究所杨梅种质资源圃内东、南、西、北4区,每区选取10株树。所有供试树采用统一的栽培管理条件,土壤 pH 值为 5.5~5.8。采用

土施 15% 可湿性粉剂 PP₃₃₃对供试树进行处理。杨梅种质资源圃东区无 PP₃₃₃施用记录,设为对照(CK); 南区于5年前在每年的清明前和处暑前 10~15 d 各土施一次 PP₃₃₃,连续施用5年后停用,改用有机栽培,设为处理 1(T1); 西区连续5年施用 300 mg·kg⁻¹剂量的 PP₃₃₃,每年的清明前和处暑前 10~15 d 各土施一次,设为处理 2(T2); 北区连续5年施用 400 mg·kg⁻¹剂量的 PP₃₃₃,每年的清明前和处暑前 10~15 d 各土施一次,设为处理 3(T3)。T2 和 T3 处理剂量的设置参照文献[6-7]的方法。

1.3 指标测定

1.3.1 叶片硬度检测

取树冠外围2年生枝条,长40 cm,宽2.5~3 cm,摘取枝条第4轮叶片,每个取样点各50片。取样时间分别为2007年6月、2008年6月和2009年6月(下同)。用邵氏 A 硬度计检测叶片硬度。

1.3.2 断枝承重力测定

取树冠外围2年生枝条,用简易拉力器测定,每处理重复30次。

1.3.3 枝条纤维素含量测定

将上述用于断枝承受力检测的枝条用于测定纤维素含量,用酸消化(2 mol·L⁻¹盐酸)法进行前处理,碘量法测定^[8]。

1.3.4 单果重测量

于树冠的各个方向随机摘取杨梅,每株10颗,每处理10棵树,称取单果重,各处理取平均值。

1.3.5 果实可溶性固形物含量测定

各处理随机取10颗杨梅榨汁,ATAGO H-80 阿贝折射仪测量可溶性固形物含量,每处理重复3次。

1.3.6 土壤、叶片和果实中 PP₃₃₃ 含量测定

取施用 PP₃₃₃后10 cm 以下的土壤,干燥后用木槌碾碎,备用。叶片和果实的采集方法如 1.3.1 和 1.3.3 所述方法。PP₃₃₃的提取和检测参考 Mauk 等的方法^[9]。

1.3.7 叶片和树皮细胞结构检测

取2年生杨梅叶片和枝条,将枝条树皮剥下。叶片和树皮均切取5 mm×5 mm 的组织片(叶片避开主脉),用 FAA(V(福尔马林): V(醋酸): V(酒精)=1:1:1.8)固定液固定,常规方法制作石蜡切片^[10],番红-固绿双层染色,中性树胶封片。Olympus BX61 显微镜观察叶片和树皮的横切结构, Olympus DP 70 CCD 型相机拍照。

1.4 统计分析

采用统计软件 SAS 中的邓肯氏新复极差法对数据进行显著性分析,各数据均为 3 年测定值的平均值。

2 结果 (Results)

2.1 PP₃₃₃ 处理对杨梅叶片硬度和枝条质量的影响

无 PP₃₃₃ 施用记录的杨梅种质资源圃东区 (CK) 叶片的平均硬度最低,为 34.26 HA,随着施用频率和施用浓度的增加,叶片硬度呈上升趋势,其中,连续 5 年高剂量施用 PP₃₃₃ 的北区 (T3 处理) 达 58.2 HA,与 CK 相比有极显著的差异 (图 1A)。断枝承受力的测

定结果与叶片硬度相反,CK 枝条的柔韧性好,断枝承受力高,为 3.4 kg,而 T3 处理仅 2.6 kg (图 1B)。枝条纤维素含量的测定结果显示,CK 枝条的纤维素含量最低,为 14.58 mg·kg⁻¹,T3 处理枝条的纤维素含量最高,为 25.52 mg·kg⁻¹ (图 1C),这与叶片硬度测定结果的趋势大致相同。同时,观察到连续施用 PP₃₃₃ 使杨梅叶片颜色加深,叶片反卷 (图 2)。

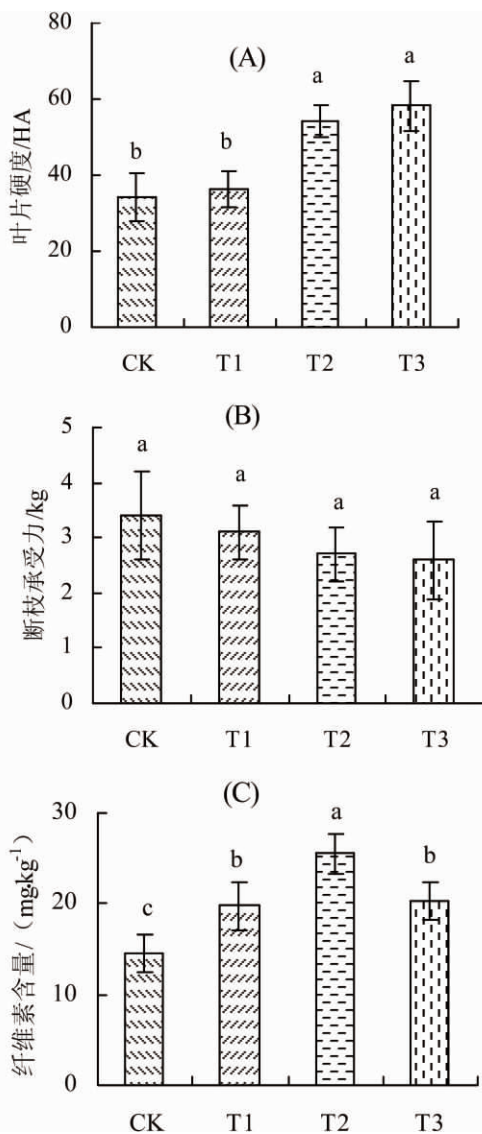


图 1 PP₃₃₃ 处理对东魁杨梅叶片硬度、枝条承受力和枝条纤维素含量的影响

Fig. 1 Effect of PP₃₃₃ treatment on leaf hardness, branch bearing capacity and branch cellulose content of Dongkui bayberry



图 2 PP₃₃₃ 处理对东魁杨梅叶片形态的影响

A, CK; B, T1 处理; C, T2 处理; D, T3 处理。

Fig. 2 Effect of PP₃₃₃ treatment on leaf morphology of Dongkui bayberry

2.2 PP₃₃₃ 处理对杨梅果实质量的影响

由图 3A 可见,5 年前曾施用过 PP₃₃₃,后改用有机栽培的 T1 处理中杨梅单果重最大,为 37.1 g,与其他处理相比,均有显著性差异;而施用 PP₃₃₃ 的杨梅单果重仅 18.2 g (T2 处理) 和 17.5 g (T3 处理),显著低于 CK 的 28.9 g。观察果实外观发现,未施用和 5 年前施用 PP₃₃₃ 的果实色泽紫红且着色均匀,肉柱圆钝;而连续施用 PP₃₃₃ 的果实着色红而不均,肉柱尖。果实可溶性固形物含量的测定结果显示,施用 PP₃₃₃ 使可溶性固形物含量降低,与 CK 的 13.2% 相比,施用 PP₃₃₃ 的 T2 和 T3 处理使果实可溶性固形物含量分别下降 1.7% 和 2.8% (图 3B)。

2.3 PP₃₃₃ 在杨梅叶片和果实及土壤中的残留和积累
CK 和 T1 处理的叶片和土壤中均未检测出 PP₃₃₃,

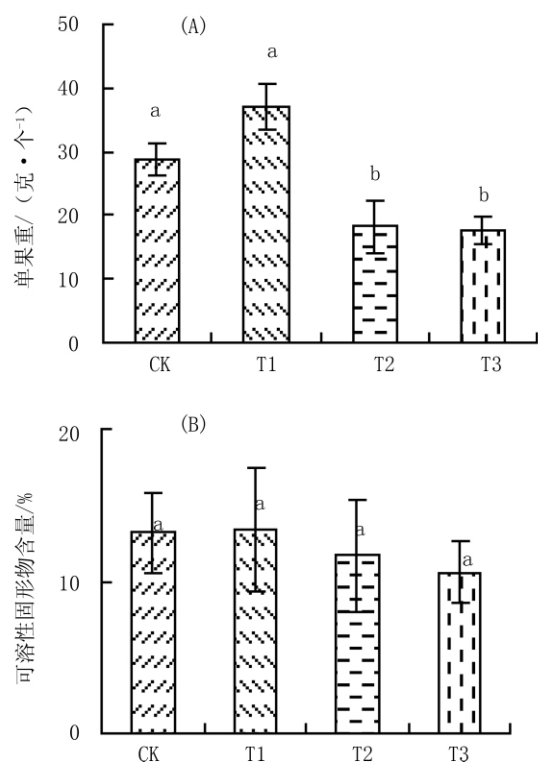


图3 PP_{333} 处理对东魁杨梅单果重(A)和果实可溶性固形物含量(B)的影响
Fig. 3 Effect of PP_{333} treatment on single fruit weight and soluble solids content of Dongkui bayberry

T2 和 T3 处理的叶片和土壤中有明显 PP_{333} 的残留和积累,且 PP_{333} 的残留和积累与施用量成正比(图4),各处理的果实中均未检出 PP_{333} 。

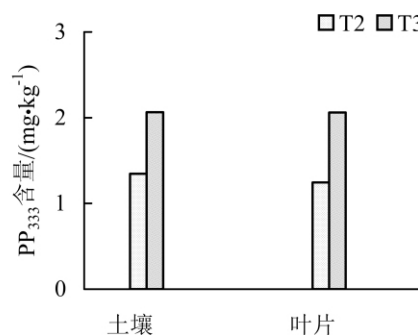


图4 东魁杨梅叶片和果实及土壤中的 PP_{333} 含量
Fig. 4 PP_{333} content in leaf and fruit of Dongkui bayberry and in soil

2.4 PP_{333} 处理对杨梅叶片和树皮细胞结构的影响

施用 PP_{333} 的叶片厚度变小,栅栏组织紧密程度降低,海绵组织细胞紧缩,海绵组织厚度和细胞密度明显增大,与正常细胞相比,呈失水皱缩状;正常细胞则较为饱满,且排列整齐。与 CK 相比,施用 PP_{333} 的树皮韧皮部细胞变小且紧缩,细胞间的空隙减小,而在树皮木质部的细胞大小、排列方式和紧密度方面,不同剂量的 PP_{333} 处理之间无明显差异。

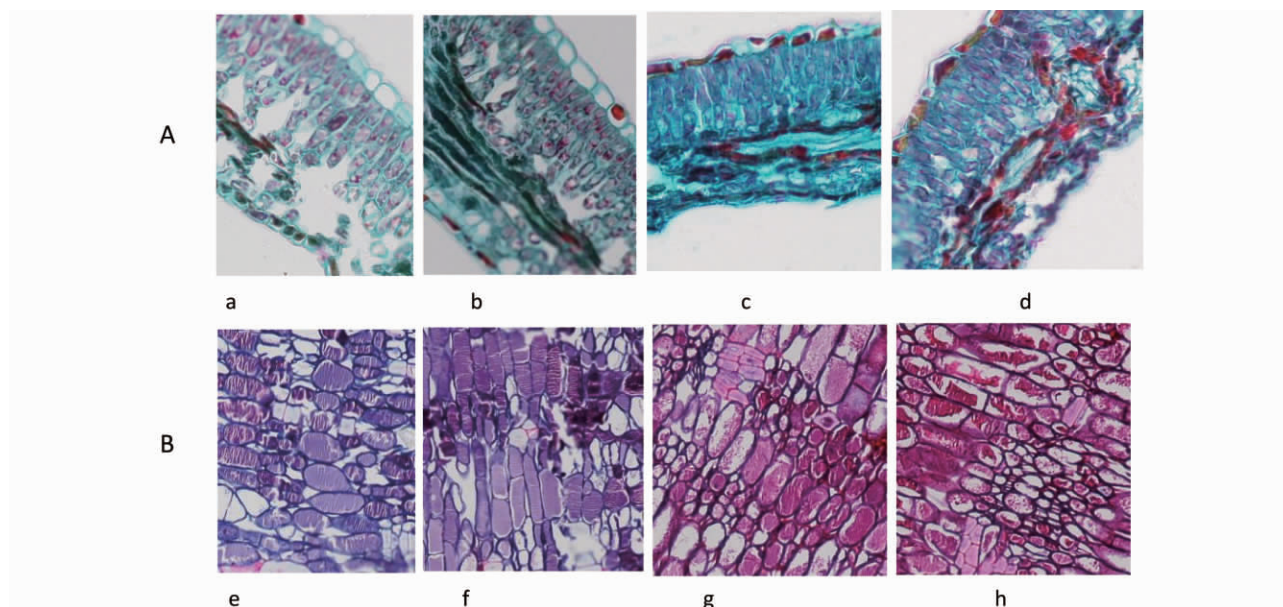


图5 PP_{333} 处理对东魁杨梅叶片和树皮细胞结构的影响

A 叶片细胞结构;B 树皮细胞结构 a, e:CK;b, f:T1 处理;c, g:T2 处理;d, h:T3 处理

Fig. 5 Effect of PP_{333} treatment on cellular structure of leaf and bark of Dongkui bayberry

3 讨论 (Discussion)

施用适量的 PP_{333} 对改善树体形态结构,减少徒长枝生长,缩短节间长度,促进侧枝和短果枝发育方面有一定的作用^[1]。然而,如果施用剂量过大,不仅使树体变弱,而且使果实质量变劣,甚至导致病害增加^[6]。关于喷施和土施 PP_{333} 对果树造成的副作用和毒害,国内外均有报导^[5,12-13]。本研究结果表明,连续5年施用 $300 \sim 400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1} PP_{333}$,可使东魁杨梅叶片硬度增大,这可能是由于叶片细胞壁的木质化引起,细胞壁的木质化会阻碍叶片的蒸腾作用,从而影响水分的运输和代谢。 PP_{333} 处理导致东魁杨梅枝条纤维素含量升高,断枝承受力降低,柔韧性下降,这将对挂果量产生不利影响,容易导致断枝和掉果的发生。 T_2 和 T_3 处理的结果表明,连续施用 PP_{333} 还会导致东魁杨梅单果重下降,畸形果增多,果实可溶性固形物含量降低,严重影响了果实的质量。

栅栏组织和海绵组织与植物的光合作用和抗逆性密切相关^[14]。本研究结果表明,施用 PP_{333} 使东魁杨梅叶片厚度减小,栅栏组织细胞的紧密程度降低,海绵组织细胞增多,从而使栅栏组织与海绵组织的比值降低。栅(栏)/海(绵)比的变化会影响叶片的上表皮、下表皮、栅栏组织和海绵组织的细胞结构,进而影响植物的光合作用和抗逆性^[15]。栅(栏)/海(绵)比减小会降低植物的光合作用速率和植物对水分的利用率,同时影响植物细胞的膨压,使之不能有效维持叶片气孔开度,致使植物更易受到因失水所导致的机械损伤,从而减弱了植物对环境胁迫的适应性^[14]。这可能是导致东魁杨梅对肉葱病和根腐病等抗性减弱的原因之一。同时,过量施用 PP_{333} 致使东魁杨梅的树皮内韧皮部细胞变小,使有机物运输受到阻碍,长期如此必然会导致树体衰弱。

PP_{333} 是一种低毒,但残效期长的生长抑制剂。对苹果叶面喷施 PP_{333} ,1年后土壤中的残留浓度是喷施浓度的50%^[17],杨梅土施 PP_{333} 的残效期一般为5~6年^[6]。本研究结果表明,连续施用 PP_{333} 会导致土壤和东魁杨梅叶片中 PP_{333} 的残留与积累,土壤中残留的 PP_{333} 会通过疏导组织运输到植物的茎和叶中,通过直接阻断植物激素——赤霉素(GA)的生物合成而抑制植物生长。土壤中残留的 PP_{333} 会不断地运输到植物组织中,长期地抑制营养生长,这是连续过量施用 PP_{333} 导致树体早衰,果实质量变差的一个重要原因。本研究结果表明, $300 \sim 400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 PP_{333} 施用剂量已在不同程度上对东魁杨梅

的生长和生殖产生了负面影响,而实际生产中的用药情况更加严重。目前农民的土施剂量为 $2 \sim 3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ^[18],叶面喷施剂量为 $1000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ^[11,19]。虽然本研究结果显示,杨梅果实中尚未检出残留的 PP_{333} ,但土壤和杨梅叶片中 PP_{333} 的残留明显,如果长期连续高剂量地施用 PP_{333} ,随着土壤和树体中 PP_{333} 含量的不断积累, PP_{333} 将很有可能通过输导组织传输至果实中,从而对杨梅的营养生长和生殖生长造成进一步的阻碍。同时,残留在土壤中的 PP_{333} 对土壤生态系统也会产生不利的影响。张健等^[20] 研究发现, PP_{333} 可显著抑制土壤放线菌的生长和繁殖,并导致土壤微生物群落结构的改变;袁志华等^[21] 的研究表明, $50 \sim 250 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 15% 的 PP_{333} 可湿性粉剂可降低土壤微生物含量,微生物多样性指数也呈下降趋势。因此,笔者希望从业人员和监管部门能够从生态农业、食品安全以及杨梅产业的可持续发展等角度出发,重视 PP_{333} 的合理使用和安全推广。

参考文献:

- [1] Swietlik D, Miller S S, Stephen S M. The effect of paclobutrazol on growth and response to water stress of apple seedlings [J]. Journal of the American Society of Horticultural Science, 1983, 108(6): 1076-1080
- [2] Bist L D. Influence of PP_{333} , Ajar, CCC and promalin of macronutrient status of pear leaf [J]. Acta Horticulturae, 1990, 274: 43-51
- [3] 蔡后建,周风帆,金琦,等. 多效唑对几种生物的毒性及植物超微结构效应的研究 [J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1994, 30(2): 274-280
- [4] Cai H J, Zhou F F, Jin Q, et al. Study of PP_{333} to toxicities to several aquatic organisms and effects on plant ultra-microstructures [J]. Journal of Nanjing University: Natural Science Edition, 1994, 30(2): 274-280 (in Chinese)
- [4] 尹大强,陆根法,孙爱龙,等. 农药多效唑对大型溞 (*Daphnia magna*) 繁殖和发育的影响 [J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1997, 33(4): 556-560
- [5] Yin D Q, Lu G F, Sun A L, et al. The chronic effects of pesticides of paclobutrazol and suniseven on reproduction, growth and survival in *Daphnia magna* [J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences, 1997, 33(4): 556-560 (in Chinese)
- [5] 杨丹. 多效唑对苹果梨生长和发育的影响 [D]. 延吉: 延边大学, 2008: 2-6
- [5] Yang D. The effect of paclobutrazol on growth and development of Pingguoli [D]. Yanji: Yanbian University, 2008: 2-6 (in Chinese)

- [6] 罗祖友, 黄吉华, 向天勇, 等. PP₃₃₃对东魁杨梅幼树生长和结果的影响 [J]. 湖北民族学院学报, 1997, 15(6): 13-16
Luo Z Y, Huang J H, Xiang T Y, et al. The influence of PP₃₃₃ on the growth and fruiting of young Dongkui arbutus trees [J]. Journal of Hubei Institute for Nationalities, 1997, 15(6): 13-16 (in Chinese)
- [7] 王东辉. 多效唑对杨梅不同类型结果枝的影响 [J]. 安徽农业科学, 2005, 33(6): 1037
Wang D H. Effect of chemical on the different fruit branches of red bayberry [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2005, 33(6): 1037 (in Chinese)
- [8] 李华, 孔新刚, 王俊. 秸秆饲料中纤维素、半纤维素和木质素的定量分析研究 [J]. 新疆农业大学学报, 2007, 30(3): 65-68
Li H, Kong X G, Wang J. Study on quantitative analysis of hemicellulose and cellulose and lignin in roughage of cereal straw [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2007, 30(3): 65-68 (in Chinese)
- [9] Mauk C S, Unrath C R, Blankenship S M, et al. Influence of method of application of paclobutrazol on soil residues and growth retardation in a 'Starkrimson-Delicious' apple orchard [J]. Plant Growth Regulation, 1990, 9(1): 27-35
- [10] 王艳. 设施条件下柑橘生物学特性及生理反应的初步研究 [J]. 武汉: 华中农业大学, 2007: 20
Wang Y. Preliminary study on biological characteristic and physiological reaction of citrus in protected cultivate conditions [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007: 20 (in Chinese)
- [11] 邱春莲, 齐国辉. 植物生长调节剂在果树生产中的应用 [J]. 河北果树, 2004, (4): 1-3
- [12] Blanco A. Effects of paclobutrazol and of ethephon on cropping and vegetative growth of 'Crimson Gold' nectarine trees [J]. Scientia Horticulturae, 1990, 42(1-2): 65-73
- [13] Burge G K, Spence C B, Broadbent N D. Effects of gibberellic acid and paclobutrazol on fruit size, shape, locule number and pedicel length of kiwifruit [J]. Scientia Horticulturae, 1990, 42(3): 243-249
- [14] Sun J, Nishio J N, Vogelmann T C. High light effect on CO₂ fixation gradients across leaves [J]. Plant Cell Environment, 1996, 19(11): 1261-1270
- [15] 黄海, 曹尚银. 北方主要落叶果树对在土壤中施用不同量的 PP₃₃₃ 的反应 [J]. 果树科学, 1989, 6(2): 66-72
Huang H, Cao S Y. Responses of some main deciduous fruit tree species to the soil applied PP₃₃₃ in different doses [J]. Journal of Fruit Science, 1989, 6(2): 66-72 (in Chinese)
- [16] 梁美霞, 戴洪义, 葛红娟. 组培和大田条件下苹果叶片结构和表皮特征的比较 [J]. 果树学报, 2009, 26(6): 781-785
Liang M X, Dai H Y, Ge H J. Comparison of leaf anatomical structures and epidermal features of apples grown *in vitro* and in field [J]. Journal of Fruit Science, 2009, 26(6): 781-785 (in Chinese)
- [17] Mauk C S, Bausher M G, Yelenosky G. Influence of growth regulator treatments on dry matter production, fruit abscission, and ¹⁴C-assimilate partitioning in *Citrus* [J]. Journal of Plant Growth Regulation, 1986, 5(2): 111-120
- [18] 杨伟福. 克服东魁杨梅大小年结果技术——看梢管理 [J]. 浙江柑橘, 2005, 22(2): 34
- [19] 刘部安. 多效唑在果树上的应用概况 [J]. 福建果树, 2001, (115): 20-22
- [20] 张健, 杜慧玲, 洪坚平. 苯磺隆、尿素、多效唑对土壤微生物的影响 [J]. 山西农业大学学报: 自然科学版, 2007, 27(1): 58-61
Zhang J, Du H L, Hong J P. Influence of HER, urea, tribenuron-methyl on soil microorganisms [J]. Journal of Shangxi Agricultural University: Natural Science Edition, 2007, 27(1): 58-61 (in Chinese)
- [21] 袁志华, 程波, 常玉海, 等. 15% 多效唑可湿性粉剂对土壤微生物多样性的影响研究 [J]. 农业环境科学学报, 2008, 27(5): 1848-1852
Yuan Z H, Cheng B, Chang Y H, et al. Influence of paclobutrazol on microbial diversity in soil [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(5): 1848-1852 (in Chinese)