

植物生长调节剂对美国山核桃生长的影响

朱海军¹, 李焕应², 杨新¹, 王荣永³

(1. 江苏省农业科学院, 江苏 南京 210014; 2. 安徽省广德县新杭镇农业农村发展局, 安徽 广德 242232;
3. 新沂市林特产科技服务中心, 江苏 新沂 221300)

摘要: 总结了不同国家美国山核桃 *Carya illinoensis* 生产中使用的植物生长调节剂种类和方法, 综述了不同植物生长调节剂对美国山核桃营养生长、抗性、果实质量和产量的影响, 以期对我国美国山核桃产业发展具有指导作用。

关键词: 美国山核桃; 植物生长调节剂; 研究进展

中图分类号: S664.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3776(2019)03-0082-06

Effect of Plant Growth Regulators on Pecan Growth

ZHU Hai-jun¹, LI Huan-ying², YANG Xin¹, WANG Rong-yong³

(1. Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Guangde Xinhang Agricultural and Rural Development Bureau of Anhui, Guangde 242232, China; 3. Xinyi Forestry Extension Center of Jiangsu, Xinyi 221300, China)

Abstract: Presentations were made on main kinds and method of application of plant regulator for *Carya illinoensis* in different countries. Reviews were carried out on effect of different plant regulators on pecan nutrition growth, resistance, and nut quality and yield.

Key words: *Carya illinoensis*; plant growth regulators; growth; nut

美国山核桃 *Carya illinoensis*, 胡桃科 Juglandaceae 山核桃属 *Carya* 中最具经济价值的树种, 原产北美, 也是最具价值的干果树种。2007 年前后, 世界 98% 以上的美国山核桃产自美国南部 15 个州和墨西哥北部^[1]。2000 年以来, 我国一直是世界最大的美国山核桃进口国, 2017 年进口量占美国总出口量的 51%^[2]。美国山核桃是著名的高价值干果树种、高档木本油料树种、优良的园林绿化树种和阔叶木材树种, 具有很大的开发潜力, 近年来在我国长江中下游地区和西南山区发展迅速, 截止 2017 年, 我国美国山核桃栽培面积约 4 万 hm^2 , 多数果园处于建园初期, 未进入丰产期。

美国山核桃树体高大、生长速度快、高度超过 25 m, 目前尚没有矮化砧木和矮化品种, 果园快速郁闭、大小年结果等问题突显, 而且增加了病虫害防治、果实收获及其它管理的难度和成本。果园郁闭带来结果部位上移、下部枝条逐渐死亡、树冠内膛湿度增加、病害控制难度加大、产量下降等一系列问题^[3]。大小年结果现象影响果实产量和质量, 降低经济效益。因此, 控制树体和树势成为美国山核桃生产中亟待解决的问题。实践表明, 仅利用修剪措施难以控制树体大小, 而植物生长调节剂可以很好地控制植物的营养生长并提高早实能力, 已经广泛应用于苹果 *Malus pumila*, 梨 *Pyrus* spp., 柑橘 *Citrus reticulata* 等果树生产, 为控制美国山核桃树体大小、提高早实能力提供了新的途径^[4-5]。本文系统总结了植物生长调节剂在美国山核桃上的研究应用, 以期对我国美国山核桃生产及科研提供思路和借鉴。

收稿日期: 2019-01-07 ; 修回日期: 2019-04-26

基金项目: 中央财政林业科技推广 (苏〔2018〕TG04)

作者简介: 朱海军, 副研究员, 博士, 从事美国山核桃栽培生理研究; E-mail: zhuhj81_@126.com。

1 植物生长调节剂主要种类及施用方式

1.1 主要种类

已有研究显示,应用于美国山核桃的植物生长调节剂有多效唑(paclobutrazol, PBZ)^[6-17]、烯效唑(uniconazole, UCZ)^[8,18]、调嗪醇(flurprimidol, FPD)^[8,15]、调吡酸(Dikegulac, DK)^[19-22]、缩节胺(mepiquat chloride, PIX)^[23-26]、苄基腺嘌呤(benzyladenine, BA)^[15,27-28]、脱落酸(abscisic acid, ABA)^[28]、赤霉素类(Gibberellic acid, GA₃, GA₄₊₇)^[15,27]、萘乙酸(naphthaleneacetic acid, NAA)^[29]、调环酸钙(prohexadione-calcium, P-Ca)^[3]、乙烯利(ethephon, ETH)^[3]、2,3,5-三碘苯甲酸(triiodobenzoic acid, TIBA)^[24]等,其中PBZ, UCZ, FPD, DK, PIX用于控制植株的营养生长,促进生殖生长,以PBZ应用最为普遍。除控制新梢生长外,DK对诱导侧芽分化、促进侧枝的形成有显著作用^[19-21];PIX还可以通过提高组织中胡桃醌和单宁的含量增强树体对疮痂病、斑点病等的抗性^[23-26];ABA和BA对提高美国山核桃的抗寒性有显著效果^[28];GA₃, GA₄₊₇, NAA具有抑制美国山核桃雌花的潜力,P-Ca, ETH和BA配合使用则有促进雌花分化的能力^[6];NAA、吲哚丁酸(3-Indolebutyric acid, IBA)能促进美国山核桃枝条生根^[28];GA₃对促进枝条伸长、PBZ促进枝条增粗及叶片碳氮代谢物积累有显著影响^[27]。

不同种类、不同形式植物生长调节剂对美国山核桃营养生长的影响不同,使用时应依据有效成分含量。研究发现50%可湿性粉剂,10 g L⁻¹(有效成分)PBZ,50 g L⁻¹PBZ浓度对美国山核桃营养生长的控制效果相当^[7]。在4年生‘Cheyenne’和‘Desirable’上开展的研究表明,施用1次PBZ,UCZ,FPD对新梢生长的抑制作用持续3 a,但相对效率有差异,由高到低依次是UCZ, PBZ, FPD^[8]。相对而言,PBZ的抑制作用当年就表现出来,而PIX对营养生长的影响有延迟效应,在40年生‘Van Deman’上喷施100 mg L⁻¹的PIX 4次显著减少了第2年新梢生长量;喷施1次1 800 mg L⁻¹的PIX仅显著降低当年新梢叶片质量和平均叶柄长,对新梢生长没有显著影响^[22]。

1.2 施用方式

植物生长调节剂在美国山核桃上的应用方式主要有叶面喷施、土壤喷施、土壤注射、树干涂抹、树干注射、根径浇灌等。树干涂抹是在树干上涂抹含有植物生长调节剂的粘着物;土壤注射是在根径处、距树干一定距离或沿树冠线几个点均匀注射植物生长调节剂溶液;根径浇灌是在根径位置浇灌植物生长调节剂溶液。

不同浓度和相对吸收面积决定了植物生长调节剂使用效果。与其它方式相比,根径浇灌和注射需要液体的量较少,因此浓度更高、且能直接作用于根系和根径,效果更显著、持续作用时间也最长,树皮能阻碍抑制剂进入次生木质部组织,因此树干涂抹效果最弱^[18];地面喷施1.5倍根径浇灌量的PBZ效果相当^[7];地面喷施1.6~6.0倍树干注射量的PBZ对新梢抑制效果差别不大^[9]。

2 植物生长调节剂对美国山核桃生长的影响

2.1 营养生长

由表1可知,施用PBZ可降低美国山核桃株高、总干物质质量、各器官干物质质量、节间长度、叶片厚度、叶面积、叶绿素含量,提高碳水化合物相对水平和净光合速率^[10]。

PBZ不同程度地抑制新梢生长,且抑制程度与使用量成线性或曲线相关,具有明显的浓度效应^[11];超过一定浓度后抑制作用不再显著,7 g 株⁻¹和14 g 株⁻¹PBZ对75年生‘Stuart’新梢抑制程度相当^[3,30],19 mg cm⁻²和152 mg cm⁻²PBZ处理对3年生‘Desirable’和‘Cheyenne’新梢的抑制差异不大,均可维持2 a比较理想的生长^[7];浓度过高对植株造成伤害,PBZ用量超过4 g 株⁻¹时,1年生幼苗中相对贮藏养分急剧下降^[10],3~6 g 株⁻¹PBZ严重抑制了5~15年生‘Mohawk’第2年的生长,节间缩短,出现深绿色簇生叶^[12]。相比柑橘^[31]和苹果^[32]等其它果树,美国山核桃对PBZ更为敏感。

表 1 美国山核桃对植物生长调节剂的响应
Table 1 Response of different pecan cultivars to different plant growth regulators

处理	试验材料		结果	换算后浓度 (mg cm^{-2})	参考文献
	树龄/a	品种			
DK 叶面喷施	5	‘Kernodle’、‘Wichita’	秋施延迟了次年春季萌芽时间；刺激枝条基部芽的萌发，显著增加侧枝数量；春施导致叶片褪绿坏死斑块	0.25% ~ 0.5%	[19,22]
PIX 叶面喷施	40	‘Van Deman’	新梢生长、小叶数、新梢叶片质量、新梢叶柄长均显著降低；叶片单宁含量仅第 3、6 周有显著提高；果实胡桃醌含量在生长季末有达到最高的趋势	$100 \sim 200 \text{ mg L}^{-1}$	[25]
PBZ 根径浇灌	1(容器苗)	种子‘Curtis’	降低株高、总干物质质量、各器官干质量、节间长、叶片厚度、叶面积、叶绿素含量；组织中碳水化合物相对水平增加，高浓度处理有提高净光合速率的趋势	$0.5 \sim 4.0 \text{ mg 株}^{-1}$	[10]
PIX 叶面喷施	40	‘Van Deman’	仅 $1\ 800 \text{ mg L}^{-1}$ 处理抑制当年新梢生长；所有处理对叶脉斑点病发生没有明显影响； $1\ 800 \text{ mg L}^{-1}$ 和上一年 200 mg L^{-1} 2 次处理后疮痂病发生率显著低于对照	$600 \sim 1\ 800 \text{ mg L}^{-1}$	[23]
PBZ/FPD 根径浇灌、叶面喷施	1(容器苗)	种子‘Western’	显著抑制了苗高、节间长、茎质量；提高了茎粗、茎干质量，降低了根冠比，诱导顶芽和侧芽的生长	$0.02 \sim 0.50 \text{ mg 株}^{-1}$	[15]
PBZ 根径浇灌	3	‘Cheyenne’	对新梢生长的抑制持续 2 a，PBZ 浓度与叶片相对水分含量成正相关，与叶面积成负相关；提高了当年单位长度枝条的侧枝数量	$50 \sim 2\ 600 \text{ mg cm}^{-2}$	[11]
PBZ 树干注射	75	‘Stuart’	对新梢生长的抑制持续 4 a，每株 7 g 接近最适用量。随着施用量增加出仁率有增加的趋势；随着施用量的增加第 3、第 4 年产量下降	$1 \sim 4 \text{ mg cm}^{-2}$	[30]
PBZ 根径浇灌	12	‘Cape Fear’ ‘Desirable’	显著减小了 Cape Fear 第 2 年的干径粗度和新梢生长量；Desirable 当年的产量随着处理浓度提高而下降，第 2 年出仁率显著下降	$8 \sim 30 \text{ mg cm}^{-2}$	[14]
PBZ 叶面喷施、土壤浇灌	5~15	‘Mohawk’	次年生长受严重抑制，产量大大增加；土施效果持续 3~4 a，叶施持续 2 ~ 3 a；果实质量、可食用果仁比例增加	10 mg cm^{-2}	[12]
PBZ 土壤浇灌，冬季高度修剪到一半	5~15	‘Delmas’	第 2、第 3 年新梢生长受到严重抑制；修剪和 PBZ 处理均提高坐果率和果实大小	6 mg cm^{-2}	
PBZ 土壤浇灌，冬季顶部修剪	5~15	‘Delmas’	3 a 后树形紧凑、分枝好。第 2 年高剂量处理产量增加，第 4 年低剂量处理产量增加。果实质量增加，可食用果仁比例有时下降，累积产量没有降低	4 mg cm^{-2}	
PBZ 根径浇灌	20	‘Desirable’、‘Western schley’ ‘Wichita’	抑制了新梢生长，不同品种之间有差异；对果实产量和质量没有影响	$0.2 \sim 0.4 \text{ mg cm}^{-2}$	[3]
PBZ 根径浇灌、树冠下喷施	3/10	‘Cheyenne’、‘Desirable’ /‘Shoshoni’、‘Desirable’、 ‘Cape Fear’	对新梢生长的抑制持续 3~4 a；不同形式的 PBZ 效果相当；对产量影响有品种差异	$19 \sim 152 \text{ mg cm}^{-2}$ 根灌； $52 \sim 208 \text{ mg cm}^{-2}$ 土喷	[7]
PBZ 树冠下喷施、树干注射	75	‘Stuart’	对新梢生长的抑制持续 4 a，叶面积减小。树干注射不影响果实体积和出仁率，注射量大的处理降低第 3、第 4 年产量；地面喷施增加第 2 年产量	$5.6 \sim 22 \text{ mg cm}^{-2}$ 土喷； $1 \sim 4 \text{ mg cm}^{-2}$ 注干	[9]
UCZ/PBZ/FPD 根径浇灌	4	‘Cheyenne’ ‘Desirable’	对新梢生长的抑制持续 3 a，相对效率由高到低依次是 UCZ、PBZ、FPD	$39 \sim 184 \text{ mg cm}^{-2}$	[8]
UCZ 树干涂抹、树冠线土壤注射、根径注射、根径浇灌	10	‘Wichita’	对新梢生长的抑制持续 3 年，根径注射和根径浇灌作用时间最长，当年以根径浇灌抑制效果最显著	6 mg cm^{-2}	[18]

1981 年首次发现 PIX 可以应用于美国山核桃， 100 mg L^{-1} 喷施 1 次可显著抑制 40 年生‘Van Deman’新梢生长^[24]；分别喷施 100 mg L^{-1} 的 PIX4 次、 200 mg L^{-1} PIX1 次和 2 次，美国山核桃新梢长、每片复叶的小叶数量、新梢叶质量及叶柄长均显著降低^[25]；进一步研究表明，喷施 600 mg L^{-1} 1~3 次、 $1\ 800 \text{ mg L}^{-1}$ 1 次 PIX，对美国山核桃当年新梢生长的抑制作用反而不显著，仅 $1\ 800 \text{ mg L}^{-1}$ 处理表现出抑制的趋势，同时，显著降低新梢叶片质量和平均叶柄长，说明除浓度外，使用时间可能起决定性作用^[23]。

比久（Daminozide，B9）可抑制美国山核桃新梢生长^[13,33]；萌芽后 3 周叶面喷施 DK 钠盐抑制新梢生长、诱导侧芽分化、促进侧枝生长^[19-20,22]；而在老树上应用 B9 或 DK 钠盐均不能抑制新梢生长^[21]。

由于施用不均匀、吸收不一致、或品种特性等原因，植物生长调节剂对枝条营养生长控制作用不完全一致，出现“跑条”和“偏冠”现象^[7,30]，通过修剪能调节枝条的分布和长势，配合植物生长调节剂可以获得理想的控制效果和更好的树形。重修剪增强了树势，需要更多的用量或更长的时间达到同样的控制效果，截冠（树高修

剪到 50%) 后施用 4 ~ 6 g 株⁻¹ PBZ, 仅 6 g 株⁻¹ 处理显著抑制了 5 ~ 15 年生 ‘Delmas’ 第 2、第 3 年新梢生长; 所有处理均显著抑制了对照树第 3 年的新梢生长; 截冠并使用 2 ~ 4 g 株⁻¹ PBZ, 3 年后可获得紧凑、分枝良好的树形^[12]。

2.2 抗性

胡桃醌和单宁是美国山核桃的化感物质, 离体条件下可抑制美国山核桃疮痂病原 *Cladosporium caryigenum* 的生长^[34-35], 喷施 100 mg L⁻¹ 的 PIX1 次可提高叶片和果实中胡桃醌水平^[23]。在 40 年生 ‘Van Deman’ 上喷施 100 mg L⁻¹ 的 PIX4 次和 200 mg L⁻¹ 的 PIX 2 次后第 3、第 6 周叶片单宁水平显著提高, 叶片胡桃醌水平有提高的趋势, 果实中胡桃醌水平在生长季末达到最高, 喷施次数比喷施浓度的影响更大^[24-25]; 浓度提高到 600 mg L⁻¹, 1 800 mg L⁻¹, 所有处理对叶脉斑点病发生没有明显影响, 200 mg L⁻¹ 的 PIX 2 次和 1 800 mg L⁻¹ 1 次的处理显著降低了疮痂病的发生率^[23]。其它研究表明, 植物生长调节剂可以提高美国山核桃的抗寒性^[27]。

2.3 果实质量及产量

适量的植物生长调节剂能提高美国山核桃光合效率和组织中相对碳水化合物的水平^[10]、座果率和果实大小^[12]; ‘Shoshoni’, ‘Desirable’ 和 ‘Cape Fear’ 在 52 ~ 104 mg cm⁻² PBZ 处理后第 2、第 3 年的产量提高^[7]; 75 年生 ‘Staurt’ 土壤喷施 76 g 株⁻¹ PBZ 后第 2 年产量提高^[9,30]。但过量使用会减少新梢叶片数量和叶面积, 当 60% 新梢生长量受到抑制时, 产量下降^[8]; 75 年生 ‘Staurt’ 树干注射 6.8 g 和 13.6 g PBZ 后第 3、第 4 年的产量下降^[3,30]; 根径浇灌 8 ~ 30 mg cm⁻² PBZ 降低了 12 年生 ‘Desirable’ 当年的产量和第二年的出仁率^[14]; 19 ~ 152 mg cm⁻² PBZ 处理后第 3 年 ‘Cheyenne’ 和 ‘Desirable’ 的产量降低; 3 年生 ‘Cheyenne’ 经 50 ~ 260 mg cm⁻² PBZ 处理后第 2 年的果仁质量不受影响^[11]。叶面喷施 100 ~ 200 mg L⁻¹ (1 ~ 4 次) PIX, 对 40 年生 ‘Van Deman’ 的座果率、果实大小和果实质量没有显著影响^[25]。B9 可以提高幼树的出仁率、果实大小、产量、早实能力并延缓成熟^[13,33]。

修剪可以促进营养生长、增加叶面积, 一定程度上抵消植物生长调节剂对减小叶面积的负面作用; 分别对 ‘Delmas’ 进行截冠、重剪、使用 PBZ, 均不同程度提高了单株产量^[12]。

美国山核桃不同品种生长、结实特性差异很大, 对植物生长调节剂和修剪的响应也不同。‘Wichita’ 和 ‘Western Schley’ 多在内膛枝条结果, 适合于利用修剪措施控制营养生长; ‘Desirable’ 内膛和外围枝条均结果, 修剪会去掉部分结果枝降低产量, 因此更适于使用植物生长调节剂控制营养生长; ‘Wichita’ 生长势弱于 ‘Desirable’ 和 ‘Western Schley’, 需要更少的植物生长调节剂达到相同的控制效果^[3]。‘Cheyenne’ 早实能力比 ‘Desirable’ 强, 相同的植物生长调节剂处理下前者能获得更高的产量^[7]。

植物生长调节剂通过抑制植物营养生长、促进能量物质向生殖生长转化提高果实质量和产量, 但过量后导致光合面积减小而降低果实产量和质量, 同时, 还与树龄、树势、品种特性密切相关, 因此, 使用植物生长调节剂应结合品种特性以提高使用效率。

3 PBZ 使用的安全性

植物生长调节剂使用的安全性一直是人们关注的热点, 而相对于其它植物生长调节剂, PBZ 在美国山核桃上应用最为普遍, 因此, 本文重点介绍 PBZ 使用的安全性。在全球化学品统一分类和标签制度 (GHS) 中, PBZ 属于第四类, 对人类具有中度危害。口服的半数致死量为 300 ~ 2 000 mg kg⁻¹ 体重, 皮肤途径的半数致死量为 1 000 ~ 2 000 mg kg⁻¹ 体重; 皮肤刺激试验表明 PBZ 对皮肤和眼睛刺激程度为中等, 不是皮肤致敏物。另外, 在母体毒性剂量水平下并没有发现 PBZ 具有遗传毒性、致癌性及发育毒性^[16]。自 1985 年登记后, PBZ 在农作物、园艺作物中得到了广泛应用, 目前已经被澳大利亚、新西兰、南非、印度、菲律宾、越南、加南大、美国、芬兰、匈牙利、希腊、丹麦、荷兰等国家允许在食用作物上应用^[36]。很多国家也制定了残留限量, 欧盟为 0.5 mg kg⁻¹、日本 0.2 mg kg⁻¹。

PBZ 在大气中的半衰期不超过 2 d, 因此通过大气大范围挥发扩散的可能性极小^[37]。PBZ 在土壤中的降解率较低, 但因土壤类型、土层深度、有机质含量、酸碱度等不同而有较大差异。美国果园土壤中半衰期为 450 ~

950 d, 农业土壤中为 175 ~ 252 d^[16]; 史晓梅研究显示, PBZ 在桃果实中和土壤中消解速率较快, 果实中半衰期为 5.39 ~ 8.65 d, 土壤中半衰期为 14.84 ~ 22.95 d^[38]。多年生果树中应用较多的是芒果 *Mangifera indica*^[39], 研究发现 PBZ 并没有转运到芒果果实中^[40]; Sharma 等发现连续使用 3 年 5 ~ 10 g 株⁻¹ PBZ 后未成熟芒果中 PBZ 残留为 0.05 mg L⁻¹, 果实成熟时降为 0.001 mg kg⁻¹^[41]。

4 总结与讨论

美国山核桃幼树营养生长旺盛, 随着树龄的增加营养生长和生殖生长逐渐趋于平衡, 因此要控制营养生长所需要的植物生长调节剂的量逐渐减少。2012 年美国国家环境保护局对 PBZ 2SC 应用进行了规定, 按美国山核桃胸径 (cm) 1.5 倍 (g) 有效成分使用, 并按照每 g 有效成分用 68 倍水 (mL) 稀释^[17]。研究主要集中在控制美国山核桃营养生长及提高早实能力方面, 且以 PBZ 应用最为普遍, 实际生产中推荐的使用浓度为, 1 年生幼苗 0.1 ~ 4.0 mg 株⁻¹; 3 ~ 10 年生幼树 50 ~ 200 mg cm⁻² (根径浇灌); 70 年以上树 5 ~ 20 mg cm⁻² (土壤喷施)、1 ~ 4 mg cm⁻² (树干注射)。

美国山核桃大小年结果、树体过大等问题降低了产量、增加了管理成本, 特别是为适栽的长江中下游地区的生产管理带来了挑战。PBZ 在提高美国山核桃幼树早实能力、控制过旺树势等方面具有很好的效果和潜力, 但如果过量使用可能对植物本身、土壤微生物等造成伤害; 为最大程度地降低风险和提高使用效率, 应结合当地气候及土壤条件、树龄、品种特性, 进一步研究优化使用时间、方式、剂量、间隔和地点; 研究其在美国山核桃果园土壤和果实中的残留量和半衰期; 同时研究树干注射、树皮涂抹等利用率高、污染面小、残留量低的更加安全的使用技术; 研究同时具有提高抗性的植物生长调节剂的使用技术。

参考文献:

- [1] Stein L A, McEachern G R. Texas Pecan Handbook[M]. College Station: Texas A & M University, 2007, 164.
- [2] Zhu H J. Challenges for the expanding pecan industry in China[J]. Pecan S, 2018, 51 (9): 16 - 23.
- [3] Worley R E, Mullinix B G, Daniel J W. Selective limb pruning, tree removal, and paclobutrazol growth retardant for crowding pecan trees[J]. Sci Hort, 1996, 67 (1 - 2): 79 - 85.
- [4] Jaynes R A. Nut tree culture in North America[M]. Hamden Connecticut: Northern Nut Growers Association, 1979: 211 - 239.
- [5] Marini R P. Growth and cropping of 'Redhaven' peach trees following soil application of paclobutrazol[J]. J Am Soc Hort Sci, 1987, 112: 18 - 21.
- [6] Wood B W. Influence of plant bioregulators on pecan flowering and implications for regulation of pistillate flower initiation[J]. Hort Sci, 2011, 46 (6): 870 - 877.
- [7] Wood B W. Paclobutrazol suppresses shoot growth and influences nut quality and yield of young pecan trees[J]. J Am Soc Hort Sci, 1988, 113: 374 - 377.
- [8] Wood B W. Paclobutrazol, uniconazol, and flurprimidol influence shoot growth and nut yield of young pecan trees[J]. Hort Sci, 1988, 23: 1026 - 1028.
- [9] Wood B W. Paclobutrazol suppresses vegetative growth of large pecan trees[J]. Hort Sci, 1988, 23: 341 - 343.
- [10] Wood B W. Influence of paclobutrazol on selected growth and chemical characteristics of young pecan seedlings[J]. Hort Sci, 1984, 19: 837 - 839.
- [11] Andersen P C, Aldrich J H. Effect of soil-applied paclobutrazol on 'Cheyenne' pecans[J]. Hort Sci, 1987, 22: 79 - 81.
- [12] Gash D, David I. Paclobutrazol effect on growth and cropping of pecan trees[J]. Acta Hort, 1989, 239: 301 - 304.
- [13] Storey J B, Madden G D, Garza-Falcon G. Influence of pruning and growth regulators on pecans[G]. Texas Agr Exp Stat Bull, 1970, 2709 - 2722: 5 - 12.
- [14] Andersen P C. Vegetative and reproductive effects of Cultar applied to 'Cape Fear' and 'Desirable' pecan trees[C]. Proceeding of Florida State Horticultural Society, 1988, 101: 254 - 256.
- [15] Marquard R D. Chemical growth regulation of pecan seedlings[J]. Hort Sci, 1985, 20: 919 - 921.
- [16] United States Environmental Protection Agency (USEPA). Paclobutrazol summary document: Registration review[R]. Docket number EPA-HQ-EPA-2006-0109, Washington DC. 2007.
- [17] Patrick M. Plant growth regulator for turfgrass, trees, and seed treatment[R]. Washington D.C.: United States Environmental Protection Agency, 2012.
- [18] Graham C J, Storey J B. Method of application of uniconazol affects vegetative growth of pecan[J]. Hort Sci, 2000, 35 (7): 1199 - 1201.

- [19] Malstrom H L, Mcmeans J L. Chemical pruning young pecan trees[J]. Pecan Quarter, 1978, 12 (1) : 23 – 24, 26, 28.
- [20] Worley R E. Effect of dikegulac on pecan shuck dehiscence and number of spring shoots[J]. Hort Sci, 1980, 15: 180.
- [21] Arnold C E, Crocker T E, Aldrich J H. Rejuvenation of a mature pecan orchard by dehorning and subsequent chemical applications[J]. Pecan Quarter. 1981, 15 (3) : 11, 13 – 15, 18.
- [22] Malstrom H L, Mcmeans J L. A chemical method of pruning young pecan, *Carya illinoensis*, trees [J]. Hort Sci, 1977, 12 (1) : 68 – 69.
- [23] Laird D W. Studies with growth retardants for compacting pecan trees, and the influence of these on disease resistance [C]. Proceedings of the annual convention-Southeastern Pecan Growers Association. 1985: 103 – 111.
- [24] Borazjani A. Occurrence of juglone among walnuts and hickory: seasonal variation, presence among tissues, translocation, and the influence of growth regulators on concentrations[D]. Starkville, Mississippi State University, 1981: 68.
- [25] Graves C H, Borazjani H, Hedin P A, et al. The potential of growth retardants for compacting tree size and influencing disease and insect resistance of mature pecan trees [C]. Santerre C R. Proceeding of Southeastern Pecan Growers Association, Mobile, Southeastern Pecan Growers Association, 1983: 87 – 93.
- [26] Hedin P A, Jenkins J H, Mccarty J C, et al. Effects of 1, 1-dimethylpiperidinium chloride on the pest and allelochemicals of cotton and pecan [J]. Am Chem Soc, 1984, 257: 171 – 191.
- [27] 冯刚, 李小飞, 邓秋菊, 等. 植物生长调节剂对薄壳山核桃品种‘波尼’枝条生长和叶片氮碳代谢物积累的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2018, 27 (3) : 49 – 55.
- [28] Khan L A. Effects of growth regulators on cold hardiness of pecan *carya illinoinsis*(wangenh.)C. Koch at various temperatures[D]. Starkville, Mississippi State University, 1998: 60 – 61.
- [29] 黄有军, 王正加, 郑炳松, 等. 植物生长调节剂对薄壳山核桃硬枝扦插生根的影响[J]. 西南林学院学报, 2006, 26 (5) : 42 – 44, 49.
- [30] Wood B W. Control of pecan tree size by bioregulating chemicals[C]. Santerre C R. Proceedings of Southeastern Pecan Growers Association, Biloxi, Southeastern Pecan Growers Association, 1987: 40 – 45.
- [31] Bausher M G, Yelenosky G, Mauk C S. Uptake by roots and translocation of ¹⁴C-paclobutrazol in citrus[J]. Hort Sci, 1985, 20: 595.
- [32] Quinlan J D, Richardson P J. Effect of paclobutrazol on apple shoot growth[J]. Acta Hort, 1984, 146: 105 – 111.
- [33] Hooks R F, Storey J B. Effect of succinic acid-2, 2-dimethyl-hydrazide (SADH) and heading-back on pecans[J]. Hort Sci, 1971, 6: 237 – 238.
- [34] Laird D W, Borazjani H, Graves C H, et al. Growth inhibition of *Cladosporium caryigenum* by condensed tannin from pecan[J]. Phytopathology, 1984, 74: 629.
- [35] Langhans V E, Hedin P A, Graves C H. Fungitoxic chemicals in pecan tissue[J]. Plant Dis Rep, 1978, 62 (10) : 894 – 898.
- [36] Davis T, Curry E. Chemical regulation of vegetative growth[J]. Crit Rev Plant Sci, 1991, 10: 204 – 216.
- [37] European Food Safety Authority (EFSA). Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance paclobutrazol[R]. Parma, Italy. 2010.
- [38] 史晓梅. 多效唑等 5 种植物生长调节剂检测技术及多效唑在桃上的残留研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 2012: 46.
- [39] Kishore K, Singh H S, Kurian R M. Paclobutrazol use in perennial fruit crops and its residual effects: A review[J]. Ind J Agric Sci, 2015, 85 (7) : 863 – 872.
- [40] Costa M A, Torres N H, Vilca F Z, et al. Residue of ¹⁴C paclobutrazol in mango[J]. IOSR J Eng, 2012, 2: 1165 – 1167.
- [41] Sharma D, Awasthi M D. Uptake of soil paclobutrazol in mango (*Mangifera indica* L.) and its persistence in fruit and soil[J]. Chemosphere 2005, 60: 164 – 169.