

木醋液的植物生长调节剂特性的分子机理研究

丰明晓, 廉玉姬*, 张 华

临沂大学生命科学学院, 临沂 276000

摘要: 木醋液(wood vinegar, WV)是一种农业生产上广泛应用的植物生长调节剂类似物,但对其分子水平调节机制研究的缺乏严重限制了它的更进一步应用。试验以模式生物拟南芥为材料,通过半定量 PCR(Semi-quantitative PCR, SQ-PCR)和条件控制培养,研究了不同浓度、不同时间的木醋液、生长素吲哚乙酸(IAA)处理对生长素诱导基因表达和形态学变化的影响。结果表明,木醋液可调节拟南芥生长素诱导基因 *Aux/IAA1*、*Aux/IAA5*、*Aux/IAA19*、*ARF19* 和 *SAUR-AC1* 的表达。通过 *Aux/IAA* 和 *ARF* 蛋白相互作用,木醋液调节途径中存在与生长素类似的负反馈。在形态学方面,木醋液、生长素 IAA 均可抑制叶片数量和叶片伸展,促进主根伸长和侧根形成。这表明木醋液不但以与生长素 IAA 相似的途径促进植物生长,且以自身的调节方式促进植物生长发育。

关键词: 木醋液; IAA; 调节途径; 分子机理

中图分类号: R257

文献标识码: A

Study on Molecular Mechanism of Wood Vinegar's Plant Growth Regulator-like Character

FENG Ming-xiao, LIAN Yu-ji*, ZHANG Hua

College of Life Science, Linyi University, Shandong Linyi 276000, China

Abstract: Wood vinegar (WV) is an important plant growth regulator-like substance used in agriculture worldwide, but little known on its mechanism at molecular level restricted its wider and further application. In this study, the effects of WV and auxin on the growth of *Arabidopsis thaliana* were compared at both genetic and morphologic level through semi-quantitative PCR (SQ-PCR) and condition-controlled culturing. The results showed that WV can regulate auxin-inducible genes like *Aux/IAA1*, *Aux/IAA5*, *Aux/IAA19*, *ARF19* and *SAUR-AC1* expression. Through interaction between *Aux/IAAs* and *ARFs*, WV had a negative feedback in its regulation pathway, similar to the homolog of auxin IAA's. In addition, the morphologic comparison results showed that WV and auxin IAA both repressed leaf number and its expansion but promoted main root elongation and lateral root formation. These results indicated that the regulation effect of WV was similar but not identical to that of auxin. The results presented in this study will contribute to the wider and more precise usage of WV in agriculture.

Key words: wood vinegar; IAA; regulation pathway; molecular mechanism

木醋液(Wood vinegar),又称木醋酸或焦木酸,是木材及木材加工剩余物碳化或干馏过程中产生的烟气,经冷凝回收分离获得的有机混合物,含有有机酸(超过50%)、醛、酮、醇、酚及其衍生物以及一些含Ca、Mg、Na、Fe等的碱性物质^[1]。在农业生产中,木醋液广泛应用于促进植物的根、茎、叶、花和果实的生长,以提高番茄的株高、茎粗,并增大其叶面积;促进马铃薯的光合作用^[2];提高帝王花种子的发芽

率^[3];促进茄子中可溶性蛋白和维生素C等的增加^[4];促进孔雀草花期等^[5]。

Auxin/indole-3-acetic acid (IAA) 基因(*Aux/IAA* 基因)为最早被详细阐述的生长素诱导基因,编码核内在蛋白,可调控植物叶片的形态、根的伸长及侧根的形成等^[6]。*ARF* 蛋白,被生长素诱导,都可与编码响应生长素基因序列上游的被称为 *AuxRE* (auxin responsive cis-elements) 的 TGTCTC 序列结合;*Aux/IAA* 蛋白可与 DNA 结合的 *ARF* 蛋白结合,抑制 *ARF* 活性,但生长素存在时, *Aux/IAA* 蛋白可被泛素化降解,从而解除对 *ARF* 蛋白的抑制^[7]。

木醋液作为一种植物生长调节物质在农业生产

收稿日期: 2013-07-01 接受日期: 2013-12-12

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目(31201273); 国家大学生创新创业项目(2012110452006)

* 通讯作者 Tel: 86-539-8766301; E-mail: lianyuji@lyu.edu.cn

中的应用越来越广泛,国外,对木醋液的研究已经逐步发展到探讨其对免疫反应中依赖 TRIF(toll-interleukin-1 receptor domain-containing adaptor inducing interferon- β)的信号转导的抑制作用^[8]等的分子水平;但国内,仍局限于其对植物生长发育等表观影响的宏观应用^[2-5],在基因水平上研究其作用机理的报告甚少。因此,试验以模式生物拟南芥为材料,研究不同浓度、不同时间的木醋液和 IAA 处理对拟南芥幼苗期的生长素诱导基因的表达和形态学变化的影响,旨在初步揭示木醋液促进植物生长的分子调节机理。

1 材料与方法

1.1 植物材料

拟南芥(*Arabidopsis thaliana*, Columbia ecotype)种子用添加 0.1% Tween-20 的 0.2% 次氯酸钠表面消毒 10 min, 无菌水清洗 5 次^[9], 接种到添加 3% 蔗糖和 0.8% 琼脂的 MS 培养基^[10]上。培养条件为温度 25 °C, 光周期 16 h, 84 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$, 白色荧光。发芽后 14 d 的幼苗, 分别用 0.1126 mg/L IAA、0.2250 mg/L IAA、500 $\mu\text{L}/\text{L}$ 木醋液、1000 $\mu\text{L}/\text{L}$ 木醋液进行处理。每一处理时间分别为 5、15、30、45 和 60 min。

1.2 总 RNA 提取与半定量 PCR

植物总 RNA 根据 RNeasy 试剂盒(Qiagen, Germany)的方法从“1.1”项处理的拟南芥幼苗中提取。以 oligo (dT)₁₈ 为引物, 利用 Moloney murine leukemia virus reverse transcriptase (Promega, China) 反转录酶合成 cDNA 链。

以合成的 cDNA 为模板进行半定量 PCR 扩增, 反应体系为 50 μL 。PCR 扩增的程序为: 94 °C 30 s, 55 ~ 65 °C 30 s 和 72 °C 30 s, 28 个循环。各基因的引物序列为: *Aux/IAA1* (Gene accession At4g14560): (+) 5'-CGG AGC ACA AGA ACA AC-3' 和 (-) 5'-ATG GAA CAT CAC CGA CCA AC-3'; *Aux/IAA5* (Gene accession At1g15580): (+) 5'-AAG AGT CAA GTT GTG GGT TGG C-3' 和 (-) 5'-AAT GCA GCT CCA TCT ACA CTC ACT-3'; *Aux/IAA19* (Gene accession At3g15540): (+) 5'-GAG CAT GGA TGG TGT GCC TTA T-3' 和 (-) 5'-TTC GCAGTT GTC ACC ATC TTT C-3'; *ARF19* (Gene accession At1g19220): (+) 5'-ACA AAG GTT CAA AAA CGA GGG TCA-3' 和 (-) 5'-CGA TGG CCC

TCG AAT GAT AAT GTA A-3'; *SAUR-AC1* (Gene accession At4g38850): (+) 5'-TCC GAG TTT GAA GAG GCT ACA AC-3' 和 (-) 5'-AAT CAG ATG TGG ATC TCT AAG GCA-3'。以 (+) 5'-TC-CGAGTTTGAAGAGGCTACAAC-3' 和 (-) 5'-AAT-CAGATGTGGATCTCTAAGGCA-3' 为引物扩增 *Actin8* 基因, 调平 cDNA 浓度。

PCR 产物用 2% 的琼脂糖凝胶电泳分离, 溴化乙锭 (Ethidium bromide, EB) 染色, GelDoc-It Imaging System (3UV Transilluminator, LMS-26E, Upland, Ca, USA) 凝胶成像系统成像并分析。

1.3 形态学特征比较

将消毒处理后的拟南芥种子播种在添加 0.1126 mg/L IAA、0.2250 mg/L IAA、500 $\mu\text{L}/\text{L}$ 木醋液和 1000 $\mu\text{L}/\text{L}$ 木醋液的 MS 培养基中。萌发 14 d 后, 调查其叶片数、平均生根数、平均根长等, 进行形态学特征比较。数据采用 SAS 软件进行方差分析和多重比较分析 (Duncan's 法)。

2 实验结果

2.1 木醋液、IAA 对生长素诱导基因表达的影响

Aux/IAAs 和 *SAUR* (*small-auxin-up RNA*)s 为两类对生长素起反应的基因^[11]。通常拟南芥 *ARF* 基因对生长素不反应^[7], 但有报道称拟南芥 *ARF19* 基因可被外源生长素诱导表达^[12]。如木醋液有类似生长素的作用效果, 且可通过类似生长素的调节途径来调节植株的生长代谢, 其亦能调节生长素诱导基因的转录。因此选择 *Aux/IAA1*、*Aux/IAA5*、*Aux/IAA19*、*ARF19*、*SAUR-AC1* 三类基因为代表来探究木醋液对其表达的影响。

2.1.1 不同时间木醋液、IAA 处理对生长素诱导基因表达的影响

不同时间木醋液和 IAA 处理拟南芥幼苗后, 生长素诱导基因 *Aux/IAA1*、*Aux/IAA5*、*Aux/IAA19*、*ARF19* 和 *SAUR-AC1* 的基因表达发生变化 (图 1)。木醋液处理 5、30、45 和 60 min 时, *Aux/IAA1* 和 *ARF19* 基因表达量比 IAA 处理的高 (图 1A、D); 15、45 min 时, *Aux/IAA5* 和 *SAUR-AC1* 基因表达量高于 IAA 处理的 (图 1B、E), 且木醋液促进 *SAUR-AC1* 转录的时间比 IAA 更长 (图 1E); 5、15 和 30 min 时, *Aux/IAA19* 基因的表达量高于 IAA 处理的 (图 1C)。结果表明 60 min 内, 木醋液可促进生长素诱导基因表达, 且其促进效果比 IAA 强。

不同时间木醋液和 IAA 处理对生长素诱导基因表达的影响具相似性。两者处理 5、15、30 和 45 min 时, *Aux/IAA1*、*Aux/IAA5* 和 *ARF19* 基因的表达量均逐渐增加;45 min 时,表达量最高;60 min 时,基因表达量均减少(图 1A、B、D)。而 *Aux/IAA19* 和 *SAUR-AC1* 基因在两者处理 5、15 和 30 min 时,其表达量均逐渐增加;30 min 时,其表达量最高;45、60 min 时,基因表达量均减少(图 1C、E)。

此外,45、60 min 时,I2、WT 处理中 *Aux/IAA1* 基因均无表达(图 1A)。这可能是由于木醋液比 IAA 对 *Aux/IAA1* 的调节效果更加强烈;在某一时间段内 *Aux/IAA1* 沉默可能为拟南芥内在的一种特性,拟南芥可利用这种特性在某一时间段内摆脱 *Aux/IAA1* 的影响,进行一些无需 *Aux/IAA1* 干扰的代谢活动。外源 IAA 可将这一现象推迟一段时间,而木醋液由于比 IAA 效果更强烈,因此可推迟更久。I2 处理的 IAA 浓度过高,引起负反馈,进而致使其调节效果弱于 I1 处理。依据这一假设,*Aux/IAA1* 的暂时性沉默现象可能在 60 min 后会出现在 I1、W1 和

W2 处理中;这一现象可能由基因间的相互作用、*Aux/IAA1* 的自身抑制或调节因子之间的交叉影响引起,这些有待进一步探究。

2.1.2 不同浓度木醋液、IAA 对生长素诱导基因表达的影响

不同浓度木醋液和 IAA 处理影响生长素诱导基因表达量(图 1)。低浓度木醋液、IAA 处理时, *Aux/IAA1*、*Aux/IAA19* 基因表达量比高浓度处理的高;高浓度 IAA 和低浓度木醋液的处理时, *Aux/IAA5* 和 *SAUR-AC1* 基因的表达量高;高浓度 IAA 和木醋液处理时, *ARF19* 基因表达量比低浓度处理的高。*Aux/IAA5*、*Aux/IAA19*、*ARF19* 和 *SAUR-AC1* 的条带在 I1、I2、W1 和 W2 处理中基因表达量的增加或减少的趋势基本一致(图 1B、C、D 和 E)。但 5、60 min 处理(图 1B、C)和 15 min 处理(图 1E)时 *Aux/IAA1*、*Aux/IAA19* 和 *SAUR-AC1* 基因的表达模式与 IAA 处理不同。因此,木醋液对拟南芥生长素诱导基因表达的影响与 IAA 相似,但并不完全相同。

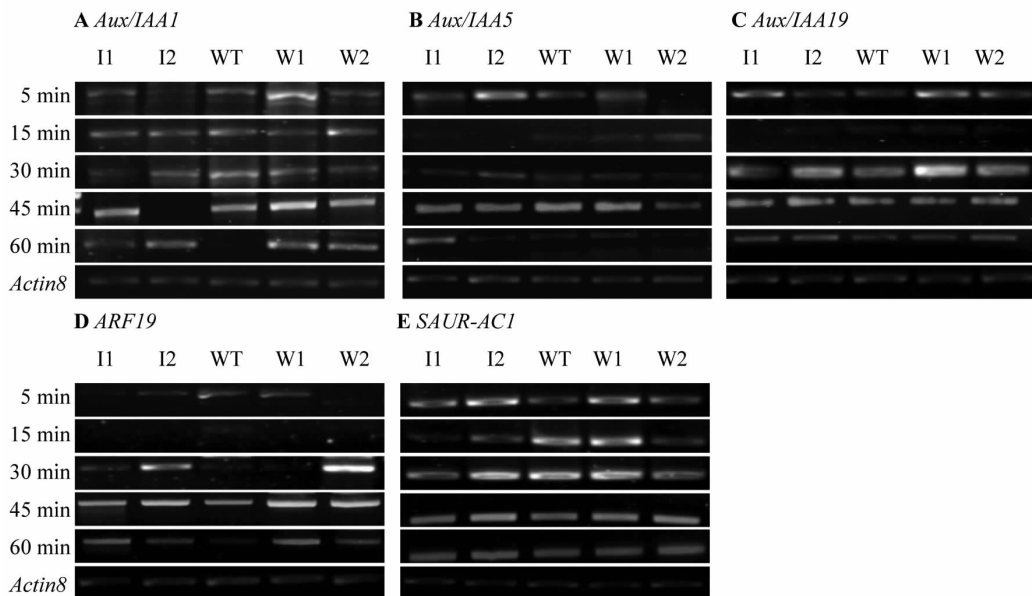


图 1 木醋液和生长素不同时间处理对生长素诱导的基因表达的影响

Fig. 1 Effects of WV and IAA treatment on auxin-related genes expression

在木醋液和 IAA 处理 5~60 min 时, *Aux/IAA1* (A)、*Aux/IAA5* (B)、*Aux/IAA19* (C)、*ARF19*、*SAUR-AC1* (E) 基因表达量的比较;I1:IAA(0.1126 mg/L);I2:IAA(0.2250 mg/L);WT:对照;W1:木醋液(500 μ L/L);W2:木醋液(1000 μ L/L)

Comparison of *Aux/IAA1* (A), *Aux/IAA5* (B), *Aux/IAA19* (C), *ARF19* (D) and *SAUR-AC1* (E) gene expression patterns after WV and IAA treatment. I1:0.1126 mg/L IAA;I2:0.2250 mg/L IAA;WT:Control;W1:500 μ L/L wood vinegar;W2:1000 μ L/L wood vinegar

2.2 木醋液、IAA 对拟南芥形态建成的影响

生长素是一种重要的植物激素,影响植物形态的许多方面,包括细胞分裂、细胞伸长、分化、向性运

动、顶端优势、衰老、叶或果实的脱落以及成花。如果木醋液有着类似于生长素的效果,它不止会调节对生长素起反应的基因,也会像生长素那样调节植

物的形态发育。

2.2.1 对叶片的影响

叶片形态上, IAA 处理的(I1、I2, 即图 2A、B) 和木醋液处理(W1、W2, 即图 2D、E) 的无显著差异, 但 WT 处理的比其它 4 个处理的叶片稍宽大、伸展; 叶片数量上, I1 处理(图 2A)、I2 处理(图 2B)、W1 处理(图 2D) 和 W2 处理(图 2E) 差异不显著, 但 WT 处理(图 2C) 的比其它 4 个处理的稍多(图 2)。

2.2.2 对根系生长的影响

不同处理, 植株的主根长度不同。野生型的主根长度较短, IAA 和木醋液处理的主根较长, 且 IAA

处理的主根长度比木醋液处理的长(表 1); I1 处理的主根长度比 I2 处理的长, W1 处理的比 W2 处理的长, WT 处理的主根最短(图 2, 表 1)。

侧根数目上, I1、I2、W1 和 W2 处理的侧根数目差异不显著, 但 WT 处理的侧根数目较多(图 2)。

侧根发生的部位不同。木醋液处理的(W1、W2 处理), 植株的侧根从根的形态学下端发生; 而在 IAA 的处理的(I1), 从根的形态学上端发生(图 2A、D、E 中箭头所指部位)。

以上结果表明木醋液具有与 IAA 相似的促进拟南芥形态建成的作用, 但又有所不同。

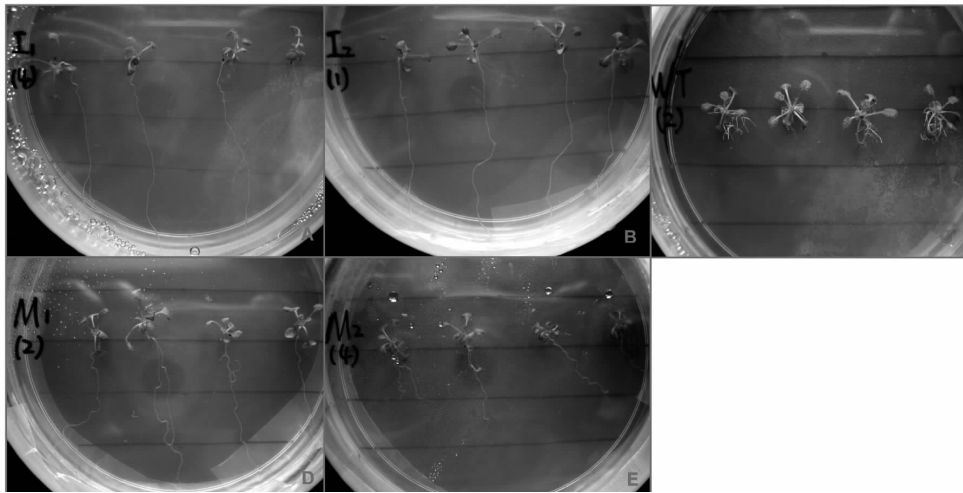


图 2 木醋液和 IAA 处理对拟南芥形态影响的比较

Fig. 2 Comparison of morphology of *A. thalianas* after wood vinegar and IAA treatment

A、B、C、D 和 E 分别表示受到 IAA(0.1126 mg/L)、IAA(0.2250 mg/L)、对照、木醋液(500 μ L/L) 和木醋液(1000 μ L/L) 处理的 14 d 拟南芥幼苗的形态学特征。箭头所指处为侧根形成部位。

A, B, C, D and E showed *A. thalianas* seedlings treated with IAA (0.1126 mg/L), IAA (0.2250 mg/L), sterile water (control group), WV (500 μ L/L), WV (1000 μ L/L) respectively after 14 d of germination. Arrows point to places where lateral roots developed.

表 1 拟南芥幼苗的叶片数和主根长度的生长记录

Table 1 Records of leaf number and primary root length of *A. thalianas* seedlings

	处理 Treatment				
	I1	I2	WT	W1	W2
Leaf Number (7d) 叶片数量	3.82 ^b	3.33 ^c	4.12 ^a	3.90 ^b	3.93 ^b
Leaf Number (12 d) 叶片数量	5.73 ^b	4.67 ^c	6.41 ^a	5.81 ^b	5.80 ^b
Primary Root Length (7 d, cm) 主根长度	2.59 ^a	1.95 ^a	0.55 ^d	1.74 ^b	1.08 ^c
Primary Root Length (12 d, cm) 主根长度	4.02 ^a	3.82 ^b	0.82 ^d	3.20 ^c	2.62 ^c

注: 每一处理中的数据均来自于 16 株拟南芥幼苗测量值的平均数; 表中同列数据后不同上标小写字母表示差异达 5% 显著水平。

Note: results of each group were mean values from 16 seedlings; Different superscript letters in a column indicated significantly difference at the 5% level.

3 讨论

3.1 木醋液、IAA 对生长素诱导基因表达的影响

Aux/IAA1 抑制自身合成的同时抑制 *Aux/IAA5*

(也许还有其它一些受生长素调节的基因) 的转录^[3]。试验表明 *Aux/IAA1* 具自我抑制(图 1A), 特别是 W1 处理, 5 min 时, 条带最明亮, 但 15 min 时, 条带最暗; *Aux/IAA1* 抑制 *Aux/IAA5* 转录(图 1A、

B), I1、I2 处理,处理 5、15 和 45 min 时, *Aux/IAA1* 的转录水平提高,但 *Aux/IAA5* 的转录水平下降;但木醋液在不同的处理时间 5、15、30、45 和 60 min (图 1A、B) 显示极高的相似性,这表明木醋液比 IAA 能更有效地激活 *Aux/IAA5* 或降解 *Aux/IAA1*, 因此,施加木醋液 60 min 内, 26s 蛋白酶体在 SCFTIR1 的协助下快速降解 *Aux/IAA1*, *Aux/IAA5* 的转录未受显著影响。60 min 后, W1、W2 处理的 *Aux/IAA1* 可能会显示被抑制,这有待进一步探究。

Aux/IAA1 可与 *ARF7* 相互作用,相互作用后 *ARF7* 激活 *Aux/IAA19* 的转录^[12], *Aux/IAA19* 基因具有 3 个 AuxRE 位点^[13];同时, *Aux/IAA19* 抑制 *ARF7* 的活性^[12], 这与试验中的 5 min 时,图 1A、图 1C 的结果相似,但与处理 30、45 和 60 min 的结果不一致,由此推测 *Aux/IAA1* 可能通过抑制或调节 *ARF7* 来抑制或调节 *Aux/IAA19*, 因此,木醋液、IAA 效果不同(图 1C)。IAA 处理 5 min 时, I1、I2 处理显示较高相似性(图 1A、图 1C), 这可能是因为 5 min 时或 5 min 之前, IAA 可快速降解 *Aux/IAA1*, 或 *Aux/*

IAA19 基因比 *Aux/IAA5* 对 IAA 更敏感;但 15 min 时, IAA 可能通过与 *ARF7* 相互作用的 *Aux/IAA1* 开始抑制 *Aux/IAA19* 的转录,同时 *Aux/IAA1* 蛋白的积累量超过蛋白酶体所能够降解的;30、45 min 时, IAA 诱导 *Aux/IAA19* 表达,可能是此时 *Aux/IAA1* 开始抑制自身的合成。但木醋液对 *Aux/IAA19* 转录的诱导效果比 IAA 更强, 15 min 时, W1、W2 处理中 *Aux/IAA1* 开始抑制 *Aux/IAA19* 转录,但与 I1、I2 处理相比不明显,这表明 W1、W2 处理的“开始抑制点”可能要比 I1、I2 处理的要晚,同时说明 *Aux/IAA19* 对 IAA/木醋液比 *Aux/IAA5* 更敏感,这与 Nakamura 等在 2003 年的报道是一致的: *Aux/IAA5* 有 1 个假定的 AuxRE 区域可以结合 ARF 蛋白而 *Aux/IAA19* 有 3 个^[13];但 *Aux/IAA1* 是否通过与 ARF 蛋白的相互作用抑制 *Aux/IAA5* 的转录,有待进一步探究。

但在图 1A 中的两个不表达时间点,在图 1B、图 1C 中并没有相对应的“转录暴增点”(尽管在图 1BWT 处理 45 min 和图 1C I2 处理 60 min 时可观察到少量的“转录暴增”),这可能是基因之间相互作用

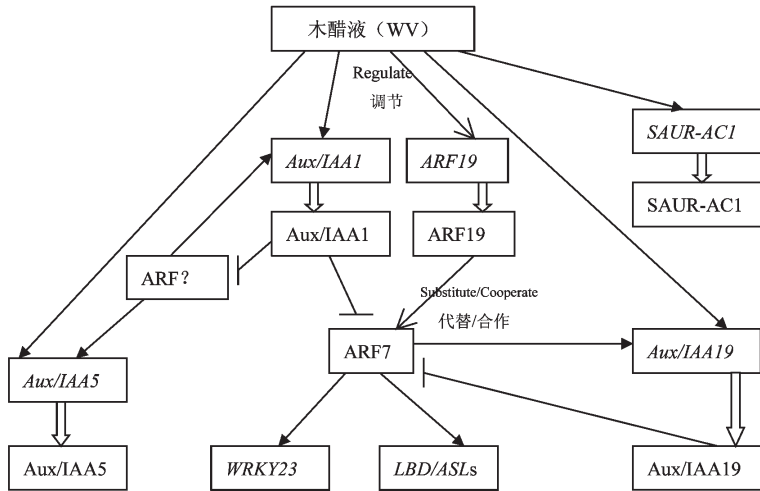


图 3 木醋液类似于生长素 IAA 的调节途径

Fig. 3 WV's auxin/IAA-like regulation pathway

木醋液调节基因 *Aux/IAA1* 和 *ARF19* 的转录,而 *Aux/IAA1* 和 *ARF19* 蛋白分别对 *ARF7* 起抑制和代替/合作的作用。*ARF7* 和 *ARF19* 可通过调节 *WRKY23* 和 *LBD/ASLs* 来分别调节生长素分布和侧根形成。*ARF7* 同样也可通过促进 *Aux/IAA19* 的转录来抑制自身基因的表达。木醋液的调节途径中存在负反馈循环,即木醋液可通过促进 *Aux/IAA19* 的合成来抑制 *ARF7*,也可通过 *Aux/IAA1* 来抑制 *Aux/IAA1* 和 *Aux/IAA5*, 而 *Aux/IAA1* 和 *Aux/IAA5* 的转录可被木醋液促进。*SAUR-AC1* 的转录同样也可被木醋液促进,但它的作用对于 *Aux/IAA-ARF* 系统而言相对独立。

WV regulates the transcription of *Aux/IAA1* and *ARF19*. Their respective products *Aux/IAA1* and *ARF19* can repress and substitute/cooperate with *ARF7*, respectively. *ARF7* (together with *ARF19*) can regulate auxin distribution and lateral root formation through the regulation of *WRKY23* and *LBD/ASLs*. *ARF7* can also repress its own effect through promoting *Aux/IAA19*'s transcription, the protein product of which had the ability to repress *ARF7*. WV had a negative feedback pathway: on one hand through promoting *Aux/IAA19* synthesis to repress *ARF7*, and on the other hand through *Aux/IAA1* repressing *Aux/IAA1* and *Aux/IAA5*, the transcription of which can be activated by WV. *SAUR-AC1*, the transcription of which can also be activated by WV, seems relatively independent to the *Aux/IAA-ARF* system.

用的结果,其它一些基因也参与抑制 *Aux/IAA5* 和 *Aux/IAA19*,而拟南芥可能利用这种机制来暂时摆脱 *Aux/IAA1* 的影响,同时使其它基因不受影响。

ARF7 是最接近 ARF19 的同源蛋白质^[4], ARF19 的一些功能与 ARF7 相重叠,可在蛋白质水平上补充/替代 ARF7,而且 ARF19 也能识别 ARF7 的目标序列^[2],这表明 ARF19 可能激活 *Aux/IAA19*(图 1C、D)。I1、I2 处理,30、45 min 时,有着极高的相似性(图 1C、D);5 min 和 60 min 时,无相似性,可能是因为 *Aux/IAA1* 被降解或 *Aux/IAA19* 通过 ARF7 自我抑制。W1、W2 处理,5 min 时,有极高的相似性(图 1C、D);30 min 时和 30 min 后,无相似性,可能是因为 *Aux/IAA19* 通过 ARF7 自我抑制;与 I1 处理和 I2 处理不同,W1 处理和 W2 处理在显示相似性之前未显示不相似性,且在 5 min 前不相似阶段已结束,将第二个不相似阶段提前了约 30 min,这表明了木醋液对与 IAA 相关的基因的调节效果比 IAA 更强。

除调节 *Aux/IAA* 基因外,ARF 蛋白还有其它的功能。ARF7 和 ARF19 直接激活拟南芥 *LBD/ASL* 基因调节侧根形成^[14];Grunewald 等发现 ARF7 和 ARF19 可调节 *WRKY23*,*WRKY23* 通过局部控制黄酮醇的合成促进生长素的分布^[15]。

木醋液具类似 IAA 的调节途径和负反馈调节(图 3),对可被 IAA 诱导的基因的调节效果与 IAA 相似,但并不相同(图 1),其完整的调节机理,有待进一步的研究。

3.2 木醋液对拟南芥的形态建成的影响

Aux/IAA1 影响细胞增大与分裂、叶片的形态、根的伸长和侧根形成^[3]; *Aux/IAA5* 和 *Aux/IAA19* 影响细胞伸长、细胞壁形成和叶片的伸展^[4,5];而 *Aux/IAA19* 可独自影响根的伸长^[6]; ARF19 促进叶片伸展、侧根形成和生长素分布^[4],而生长素分布可调节顶端优势,决定侧根形成的位置。木醋液可调节 *AuxIAA1*、*Aux/IAA5*、*Aux/IAA19*、*ARF19* 和 *SAUR-AC1*(图 1 和图 2)的表达,与 IAA 相似;对植株进行形态学比较发现木醋液和 IAA 都可抑制叶片伸展(图 2)、减少叶片数量、促进根的伸长(图 2、表 1)并抑制侧根形成(图 2),因此对植物形态建成的影响可能与生长素相似。

木醋液对 *AuxIAA1*、*Aux/IAA5*、*Aux/IAA19*、*ARF19* 和 *SAUR-AC1* 的调节效果与 IAA 相类似但不同(图 1),对植株形态的影响也与 IAA 相似但不同。

木醋液、IAA 对叶片的伸展、数量,根的数量、长度影响无显著差异;木醋液促进侧根在主根的形态学上端形成,IAA 促进侧根在主根的形态学下端形成(图 1A、C、D),这表明木醋液与 IAA 的作用相似但不同,这种差异及侧根形成可能受 *Aux/IAA1* 和 *ARF19* 两种基因表达的影响^[3,4],或由木醋液、IAA 诱导下营养代谢途径不同所造成,这有待进一步探究。

4 结论

木醋液含多种物质,其调节机制较复杂,试验表明木醋液具类似生长素 IAA 的调节机制,可调节受生长素诱导的 *Aux/IAA1*、*Aux/IAA5*、*Aux/IAA19*、*ARF19* 和 *SAUR-AC1* 等基因的表达,且对拟南芥的形态建成有类似 IAA 的诱导效果;但与 IAA 相比又有所不同。研究初步揭示了木醋液促进植物生长的调节机理,为农业生产中更对更广泛、精确地应用木醋液提供了参考,但其调节机制有待进一步深究。

参考文献

- Kim YH, Kim SK, Kim KS, *et al.* Composition of constituents of commercial wood vinegar liquor in Korea. *J Korean Soc Agric Chem Biotechnol*, 2001, 44: 262-268.
- Liu HC(刘慧超), Li JX(李建欣), Huang W(黄文), *et al.* The effect of Wood vinegar on the yield and quality of potato under drip fertigation. *Chin Hortic Abs* (中国园艺文摘), 2011, 9: 22-23.
- Liu YM(刘艳梅), Wang XX(王晓旭), Wang XF(汪晓峰), *et al.* Effect of pyroligneous acids on seed germination of *Protea cynaroides*. *J Zhejiang For Sci Tech* (浙江林业科技), 2012, 32: 51-53.
- Zhou C(周超), Zhou CY(周传余), Xu T(徐婷), *et al.* Effect of wood vinegar on eggplant in greenhouse. *Heilongjiang Agr Sci* (黑龙江农业科学), 2013, 4: 34-36.
- Yu ZM(于志民), Sun L(孙磊). Study on the effects of spraying wood vinegar on maidenhair. *Terri Nat Res Study* (国土与自然资源研究), 2013, 1: 84-85.
- Abel S, Oeller PW, Theologis A. Early auxin-induced genes encode short-lived nuclear proteins. *Proc Nat Acad Sci USA*, 1994, 91: 326-330.
- Yang X, Lee S, So JH, *et al.* The IAA1 protein is encoded by *AXR5* and is a substrate of SCF^{TRIM1}. *Plant J*, 2004, 40: 772-782.
- Ulmasov T, Hagen G, Guilfoyle TJ. ARF1, a transcription factor that binds to auxin response elements. *Science*, 1997, 276: 1865-1868.