

外源乙烯和 α -萘乙酸对三峡库区岸生植物 野古草和秋华柳茎通气组织形成的影响

陈 婷 曾 波* 罗芳丽 叶小齐 刘 焱

(三峡库区生态环境教育部重点实验室 重庆市三峡库区植物生态与资源重点实验室 西南大学生命科学学院 重庆 400715)

摘 要 为了探究乙烯和 α -萘乙酸 (α -NAA) 是否是水淹环境条件下植物体内通气组织形成的直接原因,对三峡库区岸生植物野古草 (*Arundinella anomala*) 和秋华柳 (*Salix variegata*) 在无水淹环境条件下施加乙烯利和 α -NAA 后茎中通气组织的形成情况进行了研究。实验分 3 种处理:单独用乙烯利溶液处理(浓度分别为 0、250 和 500 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)、单独用 α -NAA 溶液处理(浓度分别为 0、50 和 100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) 和二者混合处理(250 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙烯利溶液 + 50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ α -NAA 溶液)。处理 5 d 后,采用切片法制备其茎中部横切面切片,用 E80i Nikon 显微镜进行观察,并运用 ACT-2U 和 Simple PCI 软件分析野古草和秋华柳茎中通气组织的形成情况。结果显示,在这 3 种处理条件下,野古草和秋华柳茎中通气组织形成均有明显增强,并且较高浓度的乙烯利溶液促使茎通气组织形成更多,施加的 α -NAA 浓度越高,形成通气组织的能力越强,混合溶液处理与单独施加 250 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙烯利或单独施加 50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ α -NAA 的处理相比,对通气组织形成的增强效应无明显差异。研究表明,在水淹条件下植物体内通气组织的发生与乙烯和生长素含量的增加有直接关系。

关键词 野古草 通气组织 乙烯利 α -萘乙酸 秋华柳 三峡库区

EFFECTS OF EXOGENOUS ETHYLENE AND α -NAPHTHALENE ACETIC ACID ON AERENCHYMA FORMATION IN THE STEM OF TWO RIPARIAN PLANT SPECIES *ARUNDINELLA ANOMALA* AND *SALIX VARIEGATA* IN THE THREE GORGES RESERVOIR REGION OF CHINA

CHEN Ting, ZENG Bo*, LUO Fang-Li, YE Xiao-Qi, and LIU Dian

Key Laboratory of Eco-environments in Three Gorges Reservoir Region of Ministry of Education, Chongqing Key Laboratory of Plant Ecology and Resources Research in Three Gorges Reservoir Region, School of Life Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract Aims We investigated aerenchyma formation in stems of riparian plants *Arundinella anomala* and *Salix variegata* as affected by addition of ethylene and α -naphthalene acetic acid (α -NAA) under non-flooded conditions in order to ascertain whether phytohormone ethylene and auxin are direct stimuli for aerenchyma formation in flooded plants.

Methods Our experiment included treatments of ethylene (0, 250, 500 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), α -NAA (0, 50, 100 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) and joint addition of ethylene and α -NAA (250 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ + 50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) for *A. anomala* and *S. variegata* plants. Five days following hormone additions, we obtained transverse sections of mid-stems of *A. anomala* and *S. variegata* and analyzed aerenchyma formation using E80i Nikon microscope, ACT-2U and Simple PCI software.

Important findings Aerenchyma formation was enhanced when plants were irrigated with either ethylene or α -NAA. Moreover, aerenchyma formation increased with hormone concentration. Aerenchyma formation was enhanced when plants were irrigated with a mixture of ethylene (250 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) and α -NAA (50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$), but it did not differ from aerenchyma formation induced by either ethylene addition of 250 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ or α -NAA addition of 50 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Our work demonstrates that, in flooded environments, the aerenchyma formation in plant stems is directly related to increases of ethylene and auxin, and flooding may not be the direct stimulus for the formation of aerenchyma.

Key words *Arundinella anomala*, aerenchyma, ethylene, α -naphthalene acetic acid, *Salix variegata*, Three Gorges Reservoir Region

通气组织是植物体内一些气室或空腔的集合,通常形成于植物的茎、根和叶柄等部位(James *et al.*, 2005)。它的形成对减小气体在植物体内运输和扩散的阻力、改善低氧环境中植物体内的氧供给状况非常有利,是植物对低氧环境条件的主要适应策略之一(Colmer 2003)。

水淹作为常见的植物环境胁迫因子,常常发生在河流、湖泊、沼泽地区和一些地势低洼地区。水淹会影响植物根系甚至植株地上部分的通气条件,常使植物处于低氧环境。已有研究表明,水淹环境中对水淹具有很好耐受能力的植物在其茎或根中具有较发达的通气组织(初敬华等 2001)。水淹不仅使植物体内通气组织形成加强,而且还会导致植物体内的激素状况发生改变。Lidija(2003)研究发现,当水淹发生时,植物体内乙烯和生长素含量会增多,并且植物体内木葡聚糖内转移葡糖基酶(Xyloglucan endotransglycosylase, 此酶可水解细胞壁促进通气组织形成)的合成会增强。Kris等(2001)认为,木葡聚糖内转移葡糖基酶的合成是受乙烯诱导的。

为了探究乙烯和生长素是否是导致水淹条件下植物体内形成通气组织的直接原因,我们对非水淹条件下生长的野古草(*Arundinella anomala*)和秋华柳(*Salix variegata*)进行了乙烯利和 α -萘乙酸(α -NAA)施加实验,旨在回答以下问题:1)在非水淹条件下施加乙烯利或 α -NAA能否促进植物体内通气组织形成?乙烯利或 α -NAA施加量不同是否会影响通气组织发生程度?2)乙烯利和 α -NAA共同施加是否会对非水淹条件下植物体内通气组织的形成有累加效应?

1 材料和方法

1.1 实验材料

2006年5月,从三峡库区中重庆嘉陵江北碛段江岸采集野古草当年生分蘖苗和秋华柳一年生实生苗,移栽到内径为25 cm、高15 cm的实验盆中。栽培用土为壤土与腐殖土的混合土(壤土:腐殖土=4:1(体积比))。所有实验用植株在西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室实验研究基地内培养,培养期间进行正常的栽培管理。施加的乙烯利和 α -NAA购自四川国光农化有限公司,其有效成分含量分别为40%和20%。

1.2 实验方法

2006年6月,对野古草和秋华柳进行乙烯利和

α -NAA施加实验。对它们均进行3种方式和不同浓度水平的处理:单独用乙烯利溶液处理(浓度分别为0(对照)、250和500 mg·L⁻¹);单独用 α -NAA溶液处理(浓度分别为0(对照)、50和100 mg·L⁻¹);乙烯利和 α -NAA混合处理(250 mg·L⁻¹乙烯利溶液+50 mg·L⁻¹ α -NAA溶液)。单独激素处理和混合激素处理中的激素浓度均根据前期实验结果确定,保证所有的处理浓度对实验植株的正常生长不产生任何不良影响。实验处理采取植株根部浇灌方法。每个处理浓度水平取5株实验植株。

激素处理5 d后,采用徒手切片法(王明书等, 2003)制备茎横切面切片(图1),用E80i Nikon显微镜观察,并运用ACT-2U和Simple PCI软件进行图像捕捉,对茎横切面中通气组织面积($S_{\text{通气组织}}$)及茎横切面面积($S_{\text{横切面}}$)进行分析测定,茎通气组织大小以茎横切面中通气组织面积与茎横切面面积比率($S_{\text{通气组织}}/S_{\text{横切面}}$)来度量。采用 t 检验以及单因素方差分析和多重比较考察不同浓度激素处理后植株茎中通气组织大小差异(SPSS11.5)。

2 实验结果

用乙烯利溶液处理可促使野古草和秋华柳茎通气组织的形成增强,且较高浓度的乙烯利比低浓度的乙烯利对其茎通气组织形成有更大的促进作用(图2A、2B),施加 α -NAA溶液也同样促进了野古草和秋华柳茎通气组织的形成,较高浓度的 α -NAA比低浓度的 α -NAA对其茎通气组织形成具有更大的促进作用(图2A、2B)。用50 mg·L⁻¹ α -NAA和250 mg·L⁻¹乙烯利混合溶液处理过的野古草和秋华柳与其各自的对照相比,茎通气组织均明显增大,只是,与分别施加乙烯利溶液和 α -NAA溶液的处理相比,混合溶液处理后的野古草茎通气组织大小无明显变化(图2A),而秋华柳茎中的通气组织明显小于单独施加100 mg·L⁻¹ α -NAA溶液或500 mg·L⁻¹乙烯利溶液的植株(图2B)。

3 讨论

Morgan等(1997)及王文泉和张福锁(2001)曾研究指出:在乙烯的作用下,植物体内皮层细胞解体,促使通气组织形成。本实验得到了相似的结果,在无水淹环境条件下单独施加乙烯利溶液能促进野古草和秋华柳植株茎通气组织的形成(图2),由此推测,水淹环境并不是植物茎通气组织形成的直接原因。

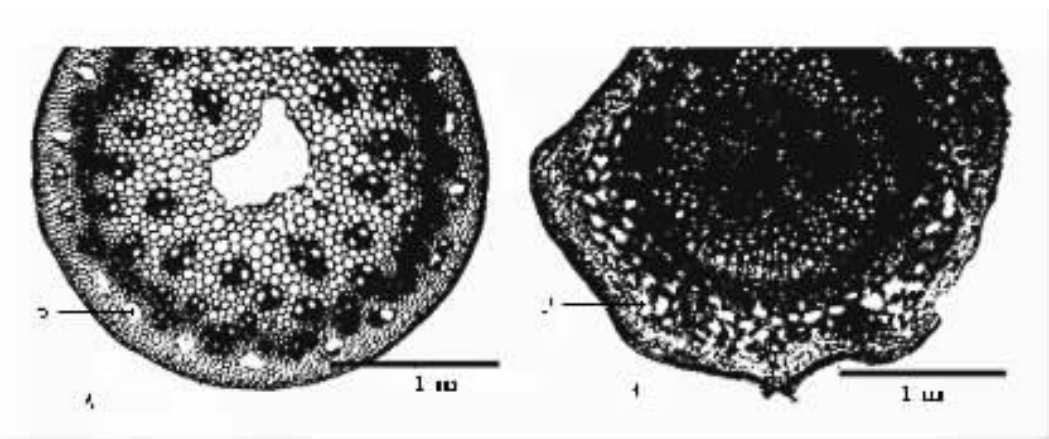
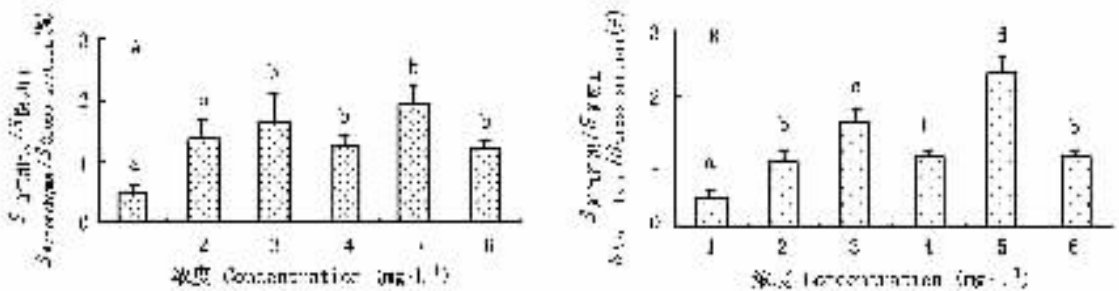


图1 野古草(A)和秋华柳(B)植株茎中部横切面

Fig. 1 Transverse sections of mid-stems of *Arundinella anomala* (A) and *Salix variegata* (B)
P: 通气组织 Aerenchyma图2 不同浓度乙烯利和 α -萘乙酸 (α -NAA) 处理后野古草(A)和秋华柳(B)茎中通气组织面积占横切面面积的百分数(Mean \pm SE)Fig. 2 Percentages of area occupied by aerenchyma (Mean \pm SE) in cross sections of mid-stems of *Arundinella anomala* (A) and *Salix variegata* (B) treated with ethylene and/or α -naphthalene acetic acid (α -NAA) solutions

1: 0 mg·L⁻¹ 对照 Control 2: 50 mg·L⁻¹ α -NAA 3: 100 mg·L⁻¹ α -NAA 4: 250 mg·L⁻¹ 乙烯利 Ethylene 5: 500 mg·L⁻¹ 乙烯利 Ethylene 6: 50 mg·L⁻¹ α -NAA + 250 mg·L⁻¹ 乙烯利 Ethylene

Hansen 和 Grossmann(2000)也曾经指出,在植物根部施加生长素溶液后,植株茎内 ACC 合成酶活性会增强,形成 ACC,可诱导植株茎中乙烯的生物合成,产生的乙烯能够促使植株茎通气组织的形成。本实验结果表明,在无水淹环境条件下,单独施加 α -NAA 溶液也能促进野古草和秋华柳植株茎通气组织的形成(图2),这与前人的研究结果相吻合。

在本实验中,同种激素(较低浓度下)相同浓度处理后,野古草茎中产生的通气组织比秋华柳的多,表明野古草对激素更为敏感,即野古草茎通气组织形成所需要的激素浓度比秋华柳的低,随着激素浓度的增加,秋华柳植株茎中通气组织的形成速度比野古草的更快(图2)。随着处理溶液浓度的增加,野古草和秋华柳茎通气组织的形成大小有所差异,这可能与它们的特性(草本和木本植物)有关。这种结果也很可能与它们的水淹耐受性相关,有待于进一步研究。

本实验结果表明,用乙烯利和 α -NAA 的混合溶液处理后,野古草和秋华柳茎通气组织大小与它们各自在低浓度的乙烯利(250 mg·L⁻¹)和 α -NAA(50 mg·L⁻¹)单独处理下的结果相似(图2)。我们推测,被混合溶液处理后的野古草和秋华柳植株很可能在短时间内只是直接利用了溶液中的乙烯作用于植物体内皮层细胞的解体,从而促使通气组织形成,而无需通过吸收 α -NAA 促使乙烯生成(樊荣等,2004),再利用此时生成的乙烯去形成通气组织这一相对复杂的过程,所以施加较低浓度的乙烯和 α -NAA 对非水淹条件下野古草和秋华柳植株体内通气组织形成的累加效应不明显,即乙烯促使植物体内通气组织的形成途径比生长素更为直接。

本实验间接证明了水淹与植物体内通气组织的形成无直接联系。在水淹环境下,植物体内的激素水平上升,诱导了乙烯的生物合成,而乙烯的作用导致了通气组织的形成。野古草和秋华柳茎通气组织

是在水淹缺氧环境下植株体内乙烯的增加而促成的 (Peeters *et al.*, 2002), 这是这两种植物适应河岸区水淹环境的对策之一, 有利于它们耐受水淹缺氧环境。

参 考 文 献

- Chu JH (初敬华), Gao CG (高晨光), Zhu QG (朱秋广), Ma XJ (马秀杰), Xing XQ (邢秀芹) (2001). A contrast anatomy study of nutrient organs of three types of hydrophyte. *Songliao Journal* (Natural Science Edition) (松辽学刊(自然科学版)), (2), 47–49. (in Chinese with English abstract)
- Colmer TD (2003). Aerenchyma and an inducible barrier to radial oxygen loss facilitate root aeration in upland, paddy and deep-water rice (*Oryza sativa* L.). *Annals of Botany*, 91, 301–309.
- Fan R (樊荣), Wan XR (万小荣), Zhang WT (张文涛), Wang SF (王淑芳), Wang Y (王勇), Zhu LJ (朱亮基), Wang NN (王宁宁), Shi MZ (施明哲), Chang YY (常怡雍), Yang XF (杨祥发) (2004). Promoter specificity of *LE-ACS6* gene in *LE-ACS6::GUS* transgenic *Arabidopsis* plants. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology* (植物生理与分子生物学学报), 30, 315–358. (in Chinese with English abstract)
- Hansen H, Grossmann K (2000). Auxin-induced ethylene triggers abscisic acid biosynthesis and growth inhibition. *Plant Physiology*, 124, 1437–1448.
- James LS, Leland CM, Kevin JS, Aleš S, Olga V, Daryl EE (2005). A re-examination of the root cortex in wetland flowering plants with respect to aerenchyma. *Annals of Botany*, 96, 565–579.
- Kris VB, Stephen CF, Jean-Pierre V (2001). Root hair initiation is coupled to a highly localized increase of xyloglucan endotransglycosylase action in *Arabidopsis* roots. *Plant Physiology*, 127, 1125–1135.
- Lidija HA (2003). Identification of indole-3-acetic acid producing freshwater wetland rhizosphere bacteria associated with *Juncus effusus* L. *Canadian Journal of Microbiology*, 49, 781–787.
- Morgan PW, Drew MC, Jordan WR, He CJ, Huang YF, Finlayson SA, Finkelstein DB, Wing TA (1997). Ethylene signal transduction and programmed cell death during aerenchyma formation in maize roots. *Plant Physiology*, 114, 31003.
- Peeters AJM, Cox MCH, Benschop JJ, Vreeburg RAM, Bou J, Voesenek LACJ (2002). Submergence research using *Rumex palustris* as a model; looking back and going forward. *Journal of Experimental Botany*, 53, 391–398.
- Wang MS (王明书), Sun M (孙敏), Bai ZC (白志川) (2003). *Experimental Guidance of Structural Botany* (结构植物学实验指导). Southwest China Normal University Publishing House, Chongqing, 4–5, 15–16. (in Chinese)
- Wang WQ (王文泉), Zhang FS (张福锁) (2001). The physiological and molecular mechanism of adaptation to anaerobiosis in higher plants. *Plant Physiology Communications* (植物生理学通讯), 37, 63–71. (in Chinese)

责任编辑:曹坤芳 责任编辑:姜联合 王 葳