

· 研究报告 ·

砷在药用植物三七根部组织及其亚细胞分布特征

陈璐¹, 米艳华^{1*}, 万小铭², 袁志伟³, 尹本林¹, 和丽忠¹

¹云南省农业科学院质量标准与检测技术研究所, 昆明 650221; ²中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

³昆明医学院第二附属医院, 昆明 650101

摘要 采用同步辐射X射线荧光分析(SRXRF)与亚细胞分布研究相结合的方法, 从细胞组织微区及亚细胞分布层面首次揭示了药用植物三七(*Panax notoginseng*)受砷(As)的毒害作用。研究表明, 三七根部的As元素多集中在表皮组织中, 且有向维管束运转的趋势; 细胞液是As主要富集的亚细胞组分, 用20 mg·L⁻¹ As处理的三七细胞液中As含量约为不加As的200倍; 分析三七主根亚细胞组分的As含量与营养液As浓度的曲线拟合方程, 确定了营养液As浓度直接影响细胞液组分的As含量; 各组分所占比例从大到小表现为: 细胞液>细胞壁>细胞质, 20 mg·L⁻¹ As处理的细胞液中砷含量约占三组分总量的65.78%, 达到最高比例, 细胞壁和细胞器中则始终维持较低的砷浓度。

关键词 三七, 砷, 同步辐射X射线荧光分析, 亚细胞分布

陈璐, 米艳华, 万小铭, 袁志伟, 尹本林, 和丽忠 (2015). 砷在药用植物三七根部组织及其亚细胞分布特征. 植物学报 50, 591–597.

三七(*Panax notoginseng*)是五加科人参属多年生珍稀药用草本植物, 在我国中医药事业中占有重要地位, 其原产地及主产区位于云南省文山州境内, 已有400多年的栽培历史(王朝梁等, 2004)。同时文山矿产资源丰富, 李卫东(2004)对三七种植区环境质量调查结果显示, 砷的污染分担率为52.1%, 综合污染指数为0.67, 已逼近警戒线。环境污染已威胁到区域内种植三七的质量安全, 对三七的药用安全和出口贸易有很大影响。此后, 阎秀兰等(2011)指出土壤中砷含量会影响三七药用主根的安全品质及健康风险, 砷污染日益受到社会的广泛关注。

已有学者从中药材三七对土壤砷累积过程、耐性机理、含量测定及健康评价等方面进行了大量研究(冯光泉等, 2004; 阎秀兰等, 2011; Yan et al., 2012; Liu et al., 2013; 陈璐等, 2014), 但砷在三七细胞组织微区及亚细胞分布层面的研究较少。同步辐射X射线荧光分析(synchrotron radiation X-ray fluorescence, SRXRF)具有高灵敏度、低损伤、多元素同时检测及可以进行活体分析等优点, 是目前研究生物和环境样品中元素含量及微区分布的理想手段(陈同斌等,

2003; Wang et al., 2011; Lin et al., 2013), 有助于了解元素在细胞(或组织)水平上的运移途径和过程(Bhatia et al., 2003), 已广泛用于环境和生命科学等领域(Wang et al., 2013)。但由于受射线聚焦光斑大小的限制, 目前尚不能确定重金属在植物亚细胞水平上的分布(Zeng et al., 2010; Zheng et al., 2011)。本研究采用 μ -SRXRF和组织分离-差速离心相结合的方法, 对药用植物三七根系中砷元素的分布特征进行了探讨, 以期揭示药用植物三七对As的吸附特征及As对三七的毒害效应。

1 材料与方法

1.1 植物培养

选取实验基地生长环境良好、长势一致(株高、茎粗和叶面积等基本相同)并且健壮的一年生三七(*Panax notoginseng* (Burkill) F. H. Chen ex C. H. Chow)幼苗进行不同浓度As的水培实验, 添加砷化合物为Na₂HAsO₄·12H₂O。水培实验采用完全营养液配方(冯光泉等, 2003), 并结合三七生长特性进行适当调整,

收稿日期: 2014-07-16; 接受日期: 2014-12-23

基金项目: 国家自然科学基金(No.21267024)、云南省科技计划青年项目(No.2014FD063)和云南省创新人才培养计划项目(No.2014-HB059)

* 通讯作者。E-mail: zhouchu@163.com

配置营养液的试剂均为分析纯。在加As处理前10天进行预培养,期间每3天更换1次营养液。设置4个处理,分别为CK(不添加砷)、 $10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ As}$ 、 $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ As}$ 和 $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ As}$ 。各处理设3次重复,并放置于遮阴避光处,透光率为8%–12%,温湿度适宜且通风较好的环境中进行培养。

1.2 亚细胞组分的分离

培养10天后,分别剪取生长良好植株的根、茎和叶组织各2.00 g用于亚细胞组分分级实验。参照Weigel和Jäger (1980)及Pathore等(1972)建立的亚细胞分级方法,将预冷的匀浆液在玻璃匀浆器中匀浆。匀浆液组成: $0.25\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 蔗糖、 $50\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ Tris-HCl缓冲液(pH7.8)和 $1\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 赤藓糖醇,匀浆液pH为7.8。匀浆和分离过程温度均控制在 4°C 。具体步骤如下:将体积为15–20 mL的匀浆液及组织放入50 mL离心管中,组织匀浆液在高速冷冻离心机中于 $225\times g$ 离心10分钟,下部沉淀中底层碎片为细胞壁(F1)组分;上清液在 $18\ 450\times g$ 离心90分钟,底层碎片为细胞质(F2)组分,主要为各种细胞器的膜结构;上层清液为细胞液(F3)组分,包括细胞质和液泡内大分子有机物及无机离子(周卫等,1999)。将亚细胞组分F1、F2和F3转入陶瓷坩埚中, 70°C 烘干至恒重,加入10 mL HNO_3 和0.5 mL HClO_4 ,摇匀过夜,在电热板上缓慢加热煮沸至清亮,用超纯水定容至50 mL。样品中的As用电感耦合等离子体质谱仪(ELAN DRC-e)测定,植物样品分析中所用试剂均为优级纯,并采用国家标准参比物质(植物:GBW-07403)进行分析质量控制,分析误差均在允许的范围内。

1.3 X射线吸收光谱测定

选取新鲜三七幼苗的主根中部,进口包埋剂OCT(optimum cutting temperature compound)包埋后,用LEICA CM1950冷冻切片机 -20°C 下切片(Ager et al., 2002),切片厚度为 $10\ \mu\text{m}$ 。将冷冻切片黏附于迈拉膜固定在样品框上, -80°C 冷冻干燥后用于 $\mu\text{-SRXRF}$ 扫描。 $\mu\text{-SRXRF}$ 分析在北京正负电子对撞机同步辐射实验室(BSRF)4W1B应用微束光束线站进行。实验条件:储存环电子能量为2.5 GeV,束流强度为150–200 mA,调节水平和垂直两个狭缝,将入射白光的光斑限制在大小为 $20\ \mu\text{m}\times 20\ \mu\text{m}$,探测器

为Si(Li)固体探测器及能谱仪系列。样品与入射光线成 45° 角,扫描步长为 $200\ \mu\text{m}$,每个扫描点的时长为60秒。同步辐射X荧光射线微束激发三七样品的能量数据,使用软件PyMCA进行处理,用OriginPro8.0软件绘制三七主根As元素分布图。另取对应部位冷冻切片,用稀番红液(1%)快速染色,在OLYMPUS BH-2型显微镜下观察其结构。

2 结果与讨论

2.1 As在三七主根微区的分布特点

为了解As在三七根部的分布特征,本研究利用 $\mu\text{-SRXRF}$ 技术对4组实验处理的三七根部横切面上的元素进行了荧光光谱分析,结果见图1。图中绿色至红色依次表示检测到As区域浓度由低到高,图1E和F为低倍显微镜下检测区域的全景图。从总体上看,三七主根As元素分布多集中在表皮细胞组织中,随着处理营养液As浓度的提高,As元素在维管束组织中出现且含量增加。不添加As处理(对照)的主根横切面仍然可检测到少量的As(图1A),可能是由于化学试剂带入极微量的含As杂质,使该处理营养液中也含有极微量的As($5.0\times 10^{-4}\text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$),致使主根含有少量As元素。随着实验处理营养液As浓度的增加,检测出三七主根As区域和As含量都有增加,As含量随着实验设置浓度的增加而升高,最高值由 $49.80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (对照)上升至 $57.80\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ($20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ As}$) (图1C);而实验设置为10和 $40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ As}$ (图1B, D)处理时,检测出的As含量最高值相近,分别为 53.40 和 $54.4\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,As含量呈现先增加后降低趋势,且在 $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 实验设置(图1C)中检测值达到最高。这可能是由于微量或少量As有刺激植株生长的作用(Wang et al., 2008; 丁枫华等, 2010),促进了三七幼苗的生长,增加了植株的物质积累,导致As含量呈增加的趋势;当参试植株在高As($40\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ As}$)环境中培养10天后,与培养初期植株状态(图2A)和健康的根部(图2C)相比,表现出明显的As毒害症状,植株叶片边缘干枯、萎蔫死亡(图2B),须根组织逐渐坏死并呈腐烂状(图2D)。通过对其主根荧光扫描分析可以看出,维管束组织中As的检出区域明显多于其它低浓度As处理(图1D),说明As出现向维管束组织转运的趋势,但最高检出量却低于 $20\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}\text{ As}$ 处理。这可能是由

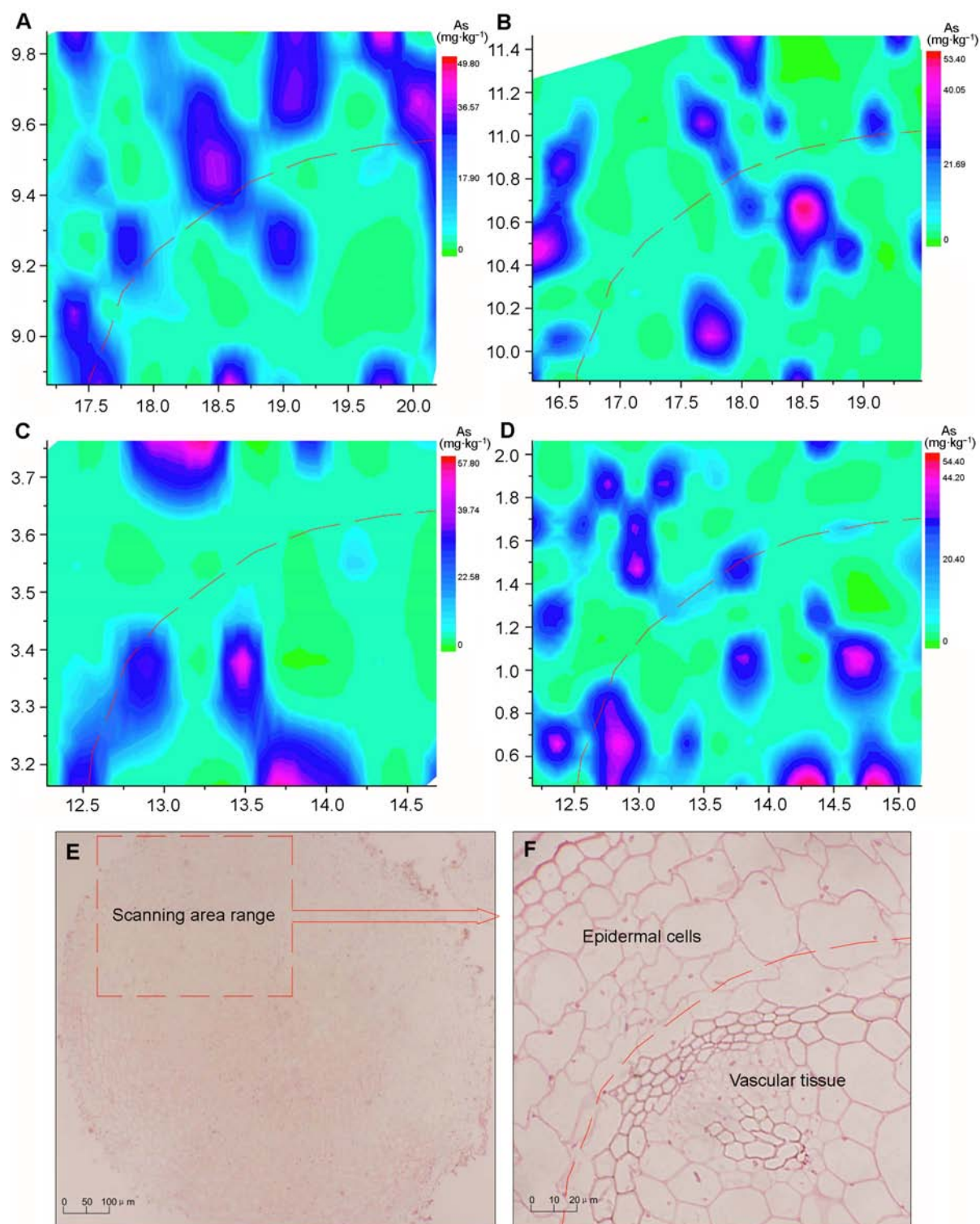


图1 不同处理三七主根横切片中As的分布及其同步辐射X射线荧光元素图

(A) 0 mg·L⁻¹ As; (B) 10 mg·L⁻¹ As; (C) 20 mg·L⁻¹ As; (D) 40 mg·L⁻¹ As; (E) 显微镜扫描区域图; (F) 区域放大图

Figure 1 The Arsenic distribution in cross sections and synchrotron X-ray fluorescence elemental maps for As of taproots of *Panax notoginseng*

(A) 0 mg·L⁻¹ As; (B) 10 mg·L⁻¹ As; (C) 20 mg·L⁻¹ As; (D) 40 mg·L⁻¹ As; (E) Microscope scanned bitmaps; (F) Regional enlargement

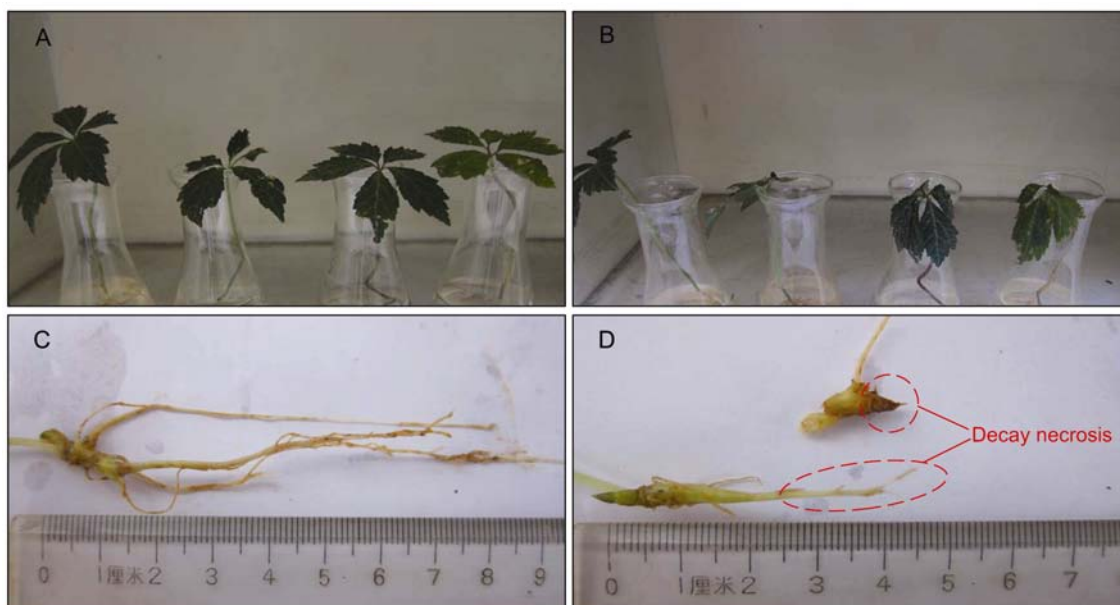


图2 三七植株的表型

(A) 水培实验初期 (B) 水培10天后; (C) 正常根系; (D) 腐烂根系(40 mg·L⁻¹ As处理)

Figure 2 The phenotype of *Panax notoginseng*

(A) The initial stage of hydroponics experiment; (B) 10-day later; (C) Normal root system; (D) Root-rots of 40 mg·L⁻¹ As

表1 不同浓度As处理对三七主根中As亚细胞分布的影响

Table 1 As concentration in subcellular fractions from *Panax notoginseng* taproots with different As levels

Arsenic concentration (mg·L ⁻¹)	Arsenic contents (mg·kg ⁻¹)		
	Cell wall	Cytoplasmic organelles	Cytoplasmic supernatant
0	0.723±0.136 Aa	2.640±0.000 Ab	0.354±0.264 Aa
10	18.910±4.709 Ba	19.870±3.691 Ba	48.425±6.640 Bb
20	17.120±0.000 Ba	19.715±3.670 Ba	70.795±1.633 Cb
40	26.747±1.701 Ca	28.237±3.808 Ba	64.255±0.544 Cb

不同大写字母表示相同组分不同浓度As处理间差异显著($P<0.05$); 不同小写字母表示相同浓度As处理下不同组分间As含量差异显著($P<0.05$)。

Different capital letters indicate significant difference between different concentrations of As ($P<0.05$); Different lowercase letters indicate significant difference in As content among different groups ($P<0.05$) at the same concentration of As.

于高浓度(40 mg·L⁻¹) As处理导致参试三七出现毒害症状, 抑制了根系活性, 阻碍了其吸收营养成分, 并抑制其向地上部输送水分及养分的能力(Bunzl et al., 2001)。这与陈同斌等(2003)研究超富集植物蜈蚣草(*Pteris vittata*)及田生科(2010)研究超积累植物东南景天(*Sedum alfredii*)时, 得出的As和Cd的运转趋势相似; 不同之处在于高浓度As对药用植物三七会产生根部腐烂、植株萎蔫直至死亡的毒害症状, 而超积累植物却仍能正常生长。

2.2 三七主根中As的亚细胞分布

三七主根亚细胞组分中As的分布情况如表1所示。不加As (对照)处理, 根部各组分的As浓度均很低, 除细胞质As含量(2.64 mg·kg⁻¹)高出1 mg·kg⁻¹外, 细胞壁和细胞液均低于1 mg·kg⁻¹。与对照相比, 所有处理各组分的As含量均明显增加, 其中细胞壁和细胞质组分均在40 mg·L⁻¹ As处理时As含量最高, 分别为26.747和28.237 mg·kg⁻¹, 显著高于低浓度As处理;

10和20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ As处理间无显著差异,但20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ As处理的细胞壁和细胞质组分中检测出As含量略低于10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ As处理。细胞液组分检测出在20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ As处理时As含量最高,约是对照处理的200倍,增幅最大;而高浓度(40 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) As处理时却出现As含量减少的现象。综合分析,随着营养液As浓度的不断升高,细胞壁和细胞质组分的As含量也明显增加,而细胞液组分中As含量在高浓度(40 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$) As处理时略有下降,最高As含量为20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ As处理。出现这种情况的原因是根部细胞液对As的耐受程度有限,超过其耐受限度之后出现抑制植株生长和萎蔫死亡的砷中毒症状,使植株减少或不再吸收As,从而导致高浓度As处理的三七植株As含量呈下降趋势。这与之前的研究结果一致,细胞液较细胞壁和细胞质中As元素浓度高(陈同斌等, 2003, 2005; Wang et al., 2008),可能是由于细胞液是新陈代谢的主要场所(郑国锷, 2000)及植物细胞代谢副产品和废物囤积的场所(汪良驹和刘友良, 1998)。詹宝等(2006)对原生质体的研究发现,蜈蚣草叶片体内的原生质体有明显的耐砷性,这可能是其自身缓解As毒害的机制之一,同时原生质体主要存在于细胞液中,三七是否也存在类似的原生质体还有待进一步研究。

分别对添加As浓度与细胞壁、细胞质及细胞液中As含量进行曲线拟合,结果表明亚细胞水平的As含量与实验设置营养液的As浓度呈显著二次相关(图3)。其中主根的细胞液As含量与营养液As浓度的相关性最好,说明营养液中As浓度直接影响细胞液中As含量。随着营养液中As浓度的增加,根系中细胞壁、细胞质和细胞液三组分中的As含量也不断增加,但当营养液达到一定As浓度时,三七主根亚细胞组分出现As含量下降的趋势,在细胞液中这种趋势尤为明显。其原因可能是三七体内相关酶因受As的毒害活性降低,植株生长受抑制或死亡,对As的吸收量减少所致。

2.3 各亚细胞组分中As分布的相对比例

图4显示三七根部不同亚细胞组分中As的相对分布比例(某一组分的As浓度占三组分As浓度之和的比例)。不同浓度As处理的各组分中As的相对比例表现为:细胞液>细胞壁>细胞质。各处理根部的亚细胞组分都以细胞液组分中As的相对比例最高,且随着营养液

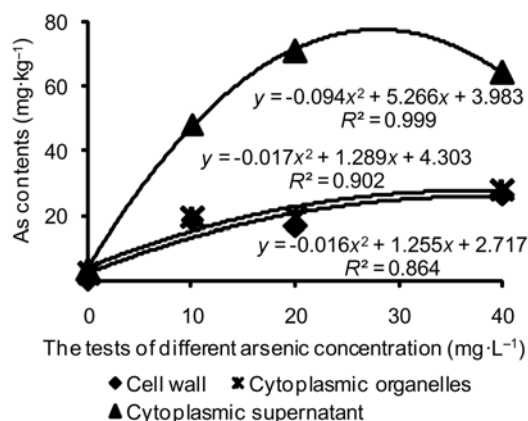


图3 不同As处理浓度与三七亚细胞组分间曲线相关性分析

Figure 3 Curve regression between different As concentration and subcellular fractions in *Panax notoginseng*

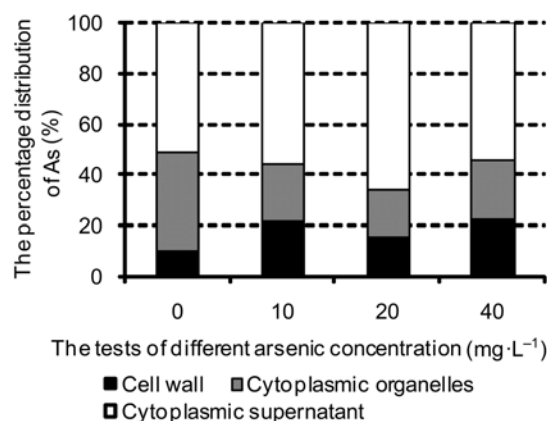


图4 不同As处理浓度的三七亚细胞组分间相对分布比例

Figure 4 Relative distribution ratio between different As concentration and subcellular fractions in *Panax notoginseng*

As浓度的增加,出现相对比例逐渐增加的趋势,40 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ As处理的细胞液组分中As所占比例却有所减少。As元素细胞壁组分的相对比例随着营养液中As浓度的升高呈现先增加后降低趋势,在As浓度为10、20和40 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 的实验处理中细胞壁组分中As相对含量比例分别为21.68%、15.91%和22.43%。由此可见,三七在含少量As的营养液中生长时,吸收的As主要富集在细胞壁上;当三七生长在高浓度As营养液中时,吸收的As主要富集在细胞液中。随着营养液As浓度的增加,细胞液中As含量也逐渐增加,20 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ As处理时达到最高,约占三组分总量的65.78%。各

处理(对照除外)中细胞质As所占的分布比例均低于细胞壁和细胞液;加As与不加As处理,细胞质中的As含量均较低,且加As处理低于不加As处理,20 mg·L⁻¹ As处理细胞质中As元素的相对分布比例最低,仅为18.23%,10与40 mg·L⁻¹ As处理的相对分布比例持平,分别为22.79%和23.68%,表明被吸收的As在细胞质中不易积累。因此,针对三七根部细胞液中As的转运机制和赋存形态进行深入研究,可以进一步揭示As对药用植物三七的毒害机理。

3 结论

三七根部细胞组织中As元素多集中在表皮细胞组织,随着营养液As浓度的升高,维管束组织中As的检出区域逐渐增加,表明As有向维管束组织转运的趋势且含量逐渐增加,但高浓度As处理最高检出量却低于20 mg·L⁻¹ As处理。三七主根检测出在20 mg·L⁻¹ As处理时,As浓度达到最高值57.8 mg·kg⁻¹,呈现先增加后降低趋势。

亚细胞组分重金属As的测定结果表明,根部细胞液是As的主要富集组分,随着营养液As浓度的增加,主根亚细胞组分中As含量均逐渐增加,其中细胞液组分增幅最明显,20 mg·L⁻¹ As处理细胞液组分中As含量约是对照的200倍,而细胞壁和细胞质与细胞液相比始终维持较低的As含量。

对营养液不同浓度As处理的细胞壁、细胞质和细胞液中As含量进行曲线拟合分析,结果表明亚细胞组分的As含量与实验设置的As浓度呈显著的二次相关。其中主根的细胞液As含量与营养液As浓度的相关性最好,说明营养液中As浓度可以直接影响细胞液中的As含量。

不同浓度As处理的各组分中As的相对比例表现为:细胞液>细胞壁>细胞质,以细胞液组分中As的相对比例最高,且随着营养液As浓度的增加而增加。20 mg·L⁻¹ As处理时As所占比例最高,约为三组分总量的65.78%;细胞质和细胞壁所占的分布比例均较低。

参考文献

陈璐,米艳华,林昕,刘大会,曾民,陈晓艳 (2014). 土壤-三七系统重金属污染调查及相关分析. 中国中药杂志 39,

- 2608–2613.
- 陈同斌,黄泽春,黄宇营,谢华,廖晓勇 (2003). 砷超富集植物中元素的微区分布及其与砷富集的关系. 科学通报 48, 1163–1168.
- 陈同斌,阎秀兰,廖晓勇,肖细元,黄泽春,谢华,翟丽梅 (2005). 蜈蚣草中砷的亚细胞分布与区隔化作用. 科学通报 50, 2739–2744.
- 丁枫华,刘术新,罗丹,王果,张娟 (2010). 基于水培毒性测试的砷对19种常见蔬菜的毒性. 环境化学 29, 439–443.
- 冯光泉,金航,陈中坚,段昌颜,崔秀明,孔令明 (2003). 不同营养元素对三七生长的影响研究. 现代中药研究与实践 17(增刊), 18–21.
- 冯光泉,张文斌,陈中坚,王勇,崔秀明 (2004). 三七及其栽培土壤中几种重金属元素含量的测定. 中草药 34, 1051–1054.
- 李卫东 (2004). 文山州三七GAP种植区环境质量状况调查. 云南环境科学 23, 168–170.
- 田生科 (2010). 超积累东南景天(*Sedum alfredii* Hance)对重金属(Zn/Cd/Pb)的解毒机制. 博士论文. 杭州:浙江大学. pp. 44–56.
- 王朝梁,陈中坚,崔秀明,孙玉琴 (2004). 文山三七的原产地域产品特征. 中国中药杂志 29, 511–514.
- 汪良驹,刘友良 (1998). 植物细胞中的液泡及其生理功能. 植物生理学通讯 34, 394–400.
- 阎秀兰,廖晓勇,于冰冰,张文斌 (2011). 药用植物三七对土壤中砷的累积特征及其健康风险. 环境科学 32, 880–885.
- 詹宝,徐文忠,麻密 (2006). 砷超富集植物蜈蚣草原生质体的分离及其抗砷性分析. 植物学通报 23, 363–367.
- 郑国锜 (2000). 细胞生物学(第2版). 北京:高等教育出版社. pp. 127–127.
- 周卫,汪洪,林葆 (1999). 镉胁迫下钙对镉在玉米细胞中分布及对叶绿体结构与酶活性的影响. 植物营养与肥料学报 5, 335–340.
- Ager FJ, Ynsa MD, Domínguez-Solís JR, Gotor C, Respalda MA, Romero LC (2002). Cadmium localization and quantification in the plant *Arabidopsis thaliana* using Micro-PIXE. *Nucl Instrum Methods Phys Res B* 189, 494–498.
- Bhatia NP, Orlic I, Siegele R, Ashwath N, Baker AJM, Walsh KB (2003). Elemental mapping using PIXE shows the main pathway of nickel movement is principally symplastic within the fruit of the hyperaccumulator *Stackhousia tryonii*. *New Phytol* 160, 479–488.
- Bunzl K, Trautmannsheimer M, Schramel P, Reifen-

- häuser W (2001). Availability of arsenic, copper, lead, thallium, and zinc to various vegetables grown in slag-contaminated soils. *J Environ Qual* **30**, 934–939.
- Lin HR, Chen GG, Zhu SH, Chen YX, Chen DL, Xu W, Yu XH, Shi JY (2013). The interaction of CuS and *Halothio-bacillus* HT1 biofilm in microscale using synchrotron radiation-based techniques. *Int J Mol Sci* **14**, 11113–11124.
- Liu XJ, Zhao QL, Sun GX, Williams P, Lu XJ, Cai JZ (2013). Arsenic speciation in Chinese herbal medicines and human health implication for inorganic arsenic. *Environ Pollut* **172**, 149–154.
- Pathore VS, Bajat YPS, Wittwer SH (1972). Subcellular localization of zinc and calcium in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) tissues. *Plant Physiol* **49**, 207–211.
- Wang J, Song SJ, Shi L, Zhu Q, Ma CC, Tan XQ, Ding Y, Niu ZY (2013). Temporal expression of pelp1 during proliferation and osteogenic differentiation of rat bone marrow mesenchymal stem cells. *PLoS One* **8**, e75477.
- Wang LH, Duan GL, Williams PN, Zhu YG (2008). Influences of phosphorus starvation on *OsACR2.1* expression and arsenic metabolism in rice seedlings. *Plant Soil* **313**, 129–139.
- Wang Y, Wang B, Zhu MT, Li M, Wang HJ, Wang M, Ouyang H, Chai ZF, Feng WY, Zhao YL (2011). Microglial activation, recruitment and phagocytosis as linked phenomena in ferric oxide nanoparticle exposure. *Toxicol Lett* **205**, 26–37.
- Weigel HJ, Jäger HJ (1980). Subcellular distribution and chemical form of cadmium in bean plants. *Plant Physiol* **46**, 480–482.
- Yan XL, Lin LY, Liao XY, Zhang WB (2012). Arsenic accumulation and resistance mechanism in *Panax notoginseng*, a traditional rare medicinal herb. *Chemosphere* **87**, 31–36.
- Zeng FR, Ali S, Qiu BY, Wu FB, Zhang GP (2010). Effects of chromium stress on the subcellular distribution and chemical form of Ca, Mg, Fe, and Zn in two rice genotypes. *J Plant Nutr Soil Sci* **173**, 135–148.
- Zheng MZ, Cai C, Hu Y, Sun GX, Williams PN, Cui HJ, Li G, Zhao FJ, Zhu YG (2011). Spatial distribution of arsenic and temporal variation of its concentration in rice. *New Phytol* **189**, 200–209.

Distribution Characteristics of Arsenic in Medicinal Plants *Panax notoginseng*'s Taproots Tissue and Subcellular Components

Lu Chen¹, Yanhua Mi^{1*}, Xiaoming Wan², Zhiwei Yuan³, Benlin Yin¹, Lizhong He¹

¹Agri-Food Quality Standard and Testing Technology Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650221, China; ²Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; ³The Second Affiliated Hospital of Kunming Medical University, Kunming 650101, China

Abstract We used synchrotron radiation X-ray fluorescence (SRXRF) and subcellular distribution research methods to study the characteristics of arsenic (As) in roots of *Panax notoginseng* and subcellular distribution. Arsenic distributed on the root epidermis of *P. notoginseng* and had a tendency to migrate to vascular bundle. Cytoplasmic supernatant represented the mainly concentration of subcellular components, and the cytoplasmic supernatant arsenic content of 20 mg·L⁻¹ was 200 times of CK. We analyzed the quadratic regression equation of arsenic content in subcellular constituents of *P. notoginseng* taproots and As concentrations in nutrient solution and found a direct relationship between As content in the subcellular constituents and the environment. The proportion of each constituent was in the order of cytoplasmic supernatant > cell wall > cytoplasmic organelles. The cytoplasmic supernatant content of 20 mg·L⁻¹ As was the highest, accounting for about 65.78%, and cytoplasmic organelles and the cell wall always maintained low levels of As.

Key words *Panax notoginseng*, arsenic, synchrotron radiation X-ray fluorescence (SRXRF), subcellular distribution

Chen L, Mi YH, Wan XM, Yuan ZW, Yin BL, He LZ (2015). Distribution characteristics of arsenic in medicinal plants *Panax notoginseng*'s taproots tissue and subcellular components. *Chin Bull Bot* **50**, 591–597.

* Author for correspondence. E-mail: zhoulmiqu@163.com