

丛枝菌根真菌对植物耐铝性的影响

何 云^{1,2}, 曾 明¹

(1. 西南大学 园艺园林学院, 重庆 400716; 2. 南方山地园艺学教育部重点实验室, 重庆 400716)

摘 要:酸性土壤的一个特点是存在高水平的铝,通过抑制根细胞的伸长与分裂,对植物产生危害,引发的铝毒问题成为全球关注的环境科学热点问题。在陆地生态系统中,85%的维管植物都和丛枝菌根(AM)真菌有着共生关系。AM真菌产生低分子的分泌物、球囊霉素相关蛋白与铝的整合作用,真菌菌丝对铝的生物吸附,减少了铝的活动和其毒性,调节了植物和土壤铝元素之间的相互作用,增强植物的耐铝性。该研究主要综述了在自然生态系统中耐铝型AM真菌的种类和类型,以及AM真菌在植物缓解铝毒中所起的作用和内在机制。

关键词:丛枝菌根(AM)真菌;种类;分泌物;球囊霉素;生物吸附

中图分类号:Q 949.32 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)13-0181-05

1 铝对植物的危害

据估计,世界上40%左右的可耕地为酸性土壤,超过50%的潜在可耕地是酸性土壤^[1],非可耕地约70%为酸性土壤,共计39.5亿hm²,主要分布在热带、亚热带及温带地区,尤其是在发展中国家^[2]。在中国,酸性土壤遍布南方14个省区,总面积达2 030万hm²,约占耕地面积的21%^[3]。有6类耕作土壤属于酸性土壤,其中砖红壤、砖红壤性红壤、红壤和黄壤等4类属酸性矿质土壤,pH 4.5~5.5^[4]。土壤中大量铝的富集,是导致土壤呈强酸性反应的一个重要原因,同时也导致土壤养分有效性降低,种植在这类土壤中的农作物常受到铝毒的危害。

铝(Al)是自然界含量最高的金属元素,占地壳总重

量的7.45%。铝通常以难溶性的硅酸盐或氧化铝形式存在,但当土壤的pH值低于5.0时,铝的可溶性便会增强,对植物产生毒害作用^[5]。铝对作物的毒害是将根部土壤溶液中的活性铝吸收到植物体内而产生的,很多植物的根接触铝数小时甚至几十分钟后伸长便受抑制^[6],最明显的特征是铝抑制了植物根尖细胞伸长和细胞分裂,根系活力下降,质膜透性降低,严重影响植物吸收、运输养分,导致植物营养亏缺或失衡^[7]。研究表明,Al胁迫可诱导植物体内大量活性氧自由基的产生,引起氧化胁迫(如O₂⁻、H₂O₂和·OH等),改变植物体内保护系统中最重要抗氧化保护酶,如超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)的活性^[8]。在高浓度铝胁迫下,叶片的叶绿素a、b含量下降,光合作用降低,气孔导度下降^[9]。近年来,随着全球环境的日益恶化,许多地区已出现了酸雨危害。酸雨的频繁沉降,加速了土壤酸化,导致了土壤中Al的大量活化,严重制约植物的生长。在人口不断增长、耕地逐渐减少的情况下,开发治理富铝化土壤具有重要意义。

2 耐铝性丛枝菌根(Arbuscular mycorrhizal, AM)真菌的种类和生态型

AM真菌增强植物的耐铝性,促进植物对营养物质

第一作者简介:何云(1989-),女,四川南充人,硕士研究生,研究方向为果树生理生态与采后生理。E-mail:1070974915@qq.com.

责任作者:曾明(1963-),男,重庆北碚人,教授,硕士生导师,现主要从事果树生理生态和果树菌根技术等研究工作。E-mail:48925761@qq.com.

基金项目:国家梨产业技术体系重庆综合试验站资助项目(CARS-29-36);重庆市科委重大资助项目(jcsf121-2012-01-1)。

收稿日期:2015-01-26

Abstract: Vegetable is the main export agricultural product in Heilongjiang province. The export amount has been raised to number one of Heilongjiang agricultural products. The article analyzed the changes of vegetable export market structure of Heilongjiang province from 2005 to 2012, analyzed the status of vegetables export of agricultural product export in Heilongjiang and in China. Offered the development proposals and countermeasures after analyzed the existing problems of vegetable export in Heilongjiang province.

Keywords: Heilongjiang province; vegetable; export; current status; countermeasures

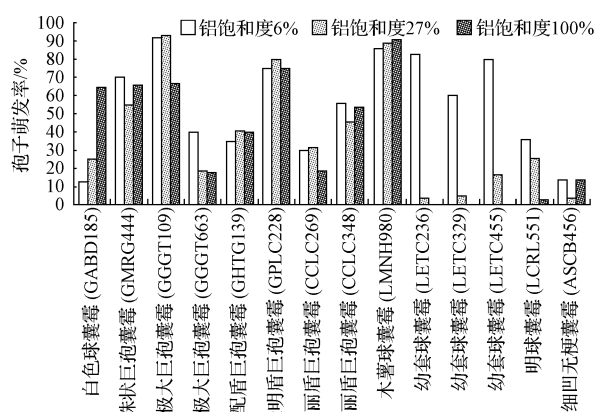
的吸收,从而增加植株的生长总量。但是不同种类的AM真菌对植株的作用是有差异的,这是AM真菌物种大量遗传变异的结果^[10]。AM真菌群体会随着土壤环境的变化而变化,对新环境的适应能力强,增加寄主植物在复杂自然生态系统中的生存力^[11]。通常情况下,AM真菌生活在pH 2.7~9.2的土壤中^[12],同一物种的AM真菌的不同隔离群在耐酸性方面有变化,而且大多数AM真菌隔离群适应的pH值和它们生活土壤的pH值很接近,这显然是自然选择的结果,选择出能够更好的适应土壤酸性的AM真菌生态型,淘汰竞争力相对小的AM真菌^[13]。在酸性土壤或者富含铝土壤中,AM真菌主要经历3个不同的生长阶段:孢子萌发、发芽管生长和菌丝生长。在酸性土壤或者富含铝土壤中,孢子萌发受到了铝的影响,发芽管和菌丝生长也会受到限制。

由图1、2可以看出,巨孢囊霉属(*Archaeospora*)比盾孢囊霉属(*Scutellospora*)的耐铝性强,幼套球囊霉(*Glomus etunicatum*)和明球囊霉(*G. clarum*)对铝的反应敏感,而细凹无梗囊霉(*Acaulospora scrobiculata*)和白色球囊霉(*G. albidum*)本身的耐铝性就比较弱。又在另一项铝对孢子萌发和胚管增长影响的评估研究中,Lambais等^[15]研究表明,在pH 4.5、铝含量为0~130 $\mu\text{mol/g}$ 的土壤里,大果球囊霉(*G. macrocarpum*)、珍珠巨孢囊霉(*Gigaspora margarita*)和红色盾孢囊霉(*S. erythropha*)的胚管生长受阻,珍珠巨孢囊霉(*Gigaspora margarita*)的孢子萌发没有被明显地影响,而大果球囊霉(*G. macrocarpum*)和红色盾孢囊霉(*S. erythropha*)的孢子萌发受到了显著地影响,尤其是大果球囊霉(*G. macrocarpum*)对铝害的反映极其敏感,在铝含量为90 $\mu\text{mol/g}$ 或者更高浓度的时候,孢子不萌发,胚管也不增长。最近,Klugh-Stewart等^[16]也研究发现,在100 $\mu\text{mol/g}$ 铝的影响下,明球囊霉属(*G. clarum*)的孢子萌发率受到了极大影响。在铝胁迫下,不仅是不同种类的AM真菌的孢子萌发率和菌丝长度有差别,甚至同一种类的AM真菌的不同隔离群的孢子萌发率和菌丝长度也不一致。这些差异可能反映了同种菌种的不同菌株也存在着基因型的差异,还有环境不同所带来的影响。

3 AM真菌植物耐铝性机理

3.1 扩大吸收面积,促进营养物质吸收

酸铝毒致使植物根系生长发育受阻,根尖细胞伸长和分裂受到抑制,进而导致根系质膜上 Mg^{2+} -ATP酶和 Ca^{2+} -ATP酶的活性下降,阻碍植物对P、Mg、Ca等矿物营养组分的吸收和转运, Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 吸收受阻是植物铝害的典型症状^[17]。菌根的菌丝直径(2~27 μm)很微小,可以伸展到一些植物细根及根毛(10~20 mm)无法伸展到的区域,增加根圈的面积,扩大根系吸收范围,增加根系对水分的吸收,促进根系对N、P、K、Ca、Mg等矿质元



注:数据来源于 Bartolome-Esteban H(1994)^[14],图2同。

Note: Data from Bartolome-Esteban H (1994)^[14], the same as Fig. 2.

图1 在不同的铝饱和度下AM真菌的孢子萌发率

Fig. 1 Spore germination rate of AM fungi under the different aluminium saturation

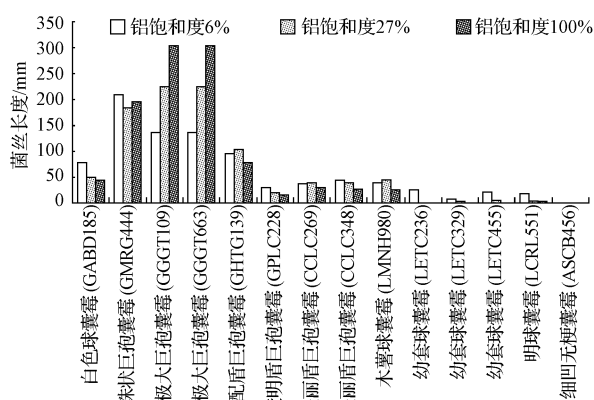


图2 在不同的铝饱和度下AM真菌的菌丝长度

Fig. 2 Length of hyphae of AM fungi under the different aluminium saturation

素的吸收,提高了植物从土壤溶液中吸收养料的吸收率,使得植物在贫瘠的土壤上生存力和竞争力更强。真菌共生体利用光合作用的产物来促进菌丝的生长,菌丝促进植株对磷酸基(Pi)的吸收,从而缓解了铝胁迫下植株对磷吸收的不足。Rufyikiri等^[18]研究了被根内球囊霉(*G. intraradices*)侵染的小果野芭蕉,在富含铝的土壤里,菌根化小果野芭蕉对水和营养物质的吸收明显高于非菌根化小果野芭蕉,特别是对P的吸收,并且延缓了植物叶片铝毒症状的出现。刘永俊^[19]指出,被AM菌根侵染的植物,也许是通过AM真菌的菌丝直接吸收这些元素,再将这些元素转移到寄主植物的,这个观点有待进一步验证。

3.2 菌丝对铝的吸附、吸收

热带土壤和及其酸性的环境中,菌根和植物形成的复合体扩大了植物忍受铝浓度最低临界值。AM真菌

产生大量菌丝,这些相互交错的菌丝形成网络状能够直接绑定铝^[20]。Lux 等^[21]对元素分析表明,被明球囊霉(*G. clarum*)和透光球囊霉(*G. diaphanum*)感染的鹅掌楸根系铝含量仅仅是未感染的鹅掌楸根系铝含量的 51%。Yano 等^[22]发现被珍珠巨孢囊霉(*Gigaspora margarita*)感染的甘薯比未感染的甘薯根际铝含量高 210%,Cuenca 等^[23]也发现被无梗囊霉属(*Acaulospora*)感染的野蔷薇根际铝含量比未感染的野蔷薇高了 210%。铝可能进入到 AM 真菌的细胞壁里面,也可能和多磷酸盐反应后被隔离到真菌液泡里^[24]。由此推出,菌根感染缓解铝引起的植物茎生长减少可能是由于菌根排斥、吸附或吸收了铝从而免除铝毒害的缘故。

3.3 有机酸和铝的络合

AM 真菌与植物建立共生关系后,不仅显著影响植物生长、代谢及根系形态变化,而且引起根分泌物的变化^[25]。其中能够和金属结合的化合物主要是有机酸,有机酸把铝络合并固持在细胞壁或细胞膜,保护植物不受铝的毒害。通过对 *L. tulipifera* 的研究表明,在根际,不同的羟基负离子与铝形成稳定的络合物,logKs 被称为稳定常数,通常指络合物的累积稳定常数,柠檬酸盐的 logKs 为 7.4~12.3,草酸盐为 6.1~7.3,苹果酸盐为 5.1~5.4,琥珀酸盐为 3.2~4.6,由此可见,与铝形成络合物最稳定的是柠檬酸^[26]。Hue 等^[27]指出糖酵解和三羧酸循环过程中分泌有机酸,特别是柠檬酸,柠檬酸和铝离子形成螯合物。Recorbet 等^[28]用根内球囊霉(*G. intraradices*)和摩西球囊霉(*G. mosseae*)感染蒺藜状苜蓿,发现在三羧酸循环和糖酵解过程中高效地产生了几种蛋白质,例如磷酸丙酮酸水合酶、苹果酸去氢酶,促进有机酸的生成。Campos-Soriano 等^[29]发现被根内球囊

霉(*G. intraradices*)感染的亚洲栽培稻也会通过三羧酸循环产生形成有机酸所必需的底物。

3.4 球囊霉素相关蛋白(Glomalin-related soil protein, GRSP)对铝离子螯合、封存和解毒

自 Wright 等^[30]发现球囊霉素以来,它的功能和地位一直是人们研究的热点,球囊霉素是 AM 产生的含金属离子的糖蛋白,不同土壤球囊霉素金属离子含量为 0.8%~8.8%。研究表明,球囊霉素是土壤有机库的重要来源和组织者,也是稳定土壤团粒结构的重要蛋白质,同时能够和多价阳离子形成稳定的化合物。Etcheverría^[31]指出,球囊霉素能够结合大量的金属,在温带森林的酸性土壤上,GRSP 能够隔绝 4.2%~7.5% 的铝元素。Aguilera 等^[32]最近也指出,GPRS 会把铝长时间地隔绝在球囊霉素微粒中,阻止了铝对植物的进一步毒害。球囊霉素的这种吸附金属阳离子的能力,是增强植物耐铝性的重要因素,是 AMF 进行酸铝土壤生物修复的重要生物稳定因子。

3.5 激素的拮抗

研究表明,在铝胁迫下,菌根化植物会表现出较强的耐铝性,同样是因为寄主植物体内的激素水平的改变引起的。闫明等^[33]研究了感染 AM 真菌的樟树幼苗激素水平对铝胁迫的响应,发现 AMF 菌根显著增加了玉米根部生长素和玉米核苷素的含量。Allen 等^[34]发现很多种类的 AMF 可以产生植物激素,如细胞生长素、细胞分裂素、赤霉素等,铝胁迫时,菌根真菌可能通过增加植物激素尤其是细胞分裂素的含量来增加宿主植物对铝的抗性。植物体内激素的增加,是 AM 真菌直接产生的还有由于 AM 真菌的感染使植物自身产生的,还需要进一步验证。

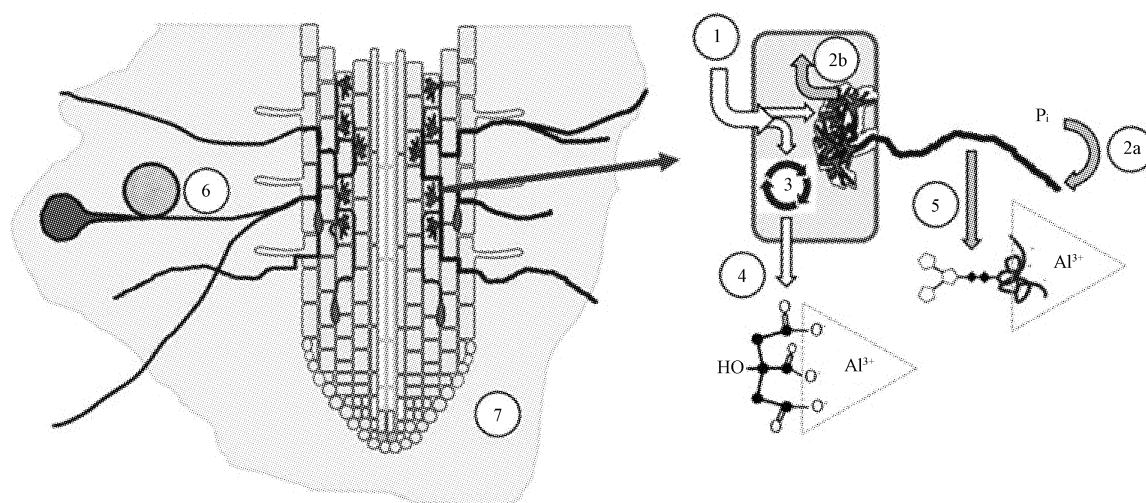


图3 菌根化植物耐铝性模型

Fig. 3 Aluminum resistance model of mycorrhizal plants

3.6 改变基因的表达

AM 真菌促进植物对 Pi 的吸收,诱导寄主植物基因和蛋白质的表达发生变化,这些变化相互作用、相互影响能够增强寄主植物的耐铝性^[35]。在前面已经讨论过,AM 种类或者隔离群不同,其诱导植株的耐铝性也不同,植物的新陈代谢也会发生相应的变化。目前关于这一方面的报道很少,其作用机理尚不明确。

综上所述,得出了 AM 真菌增强植株耐铝性的综合模型^[36]。菌根化植物耐铝性模拟模型:植物提供糖酵解和三羧酸循环的底物,供给 AM 真菌生存的营养物质(碳源和能源)。2a AM 真菌提高对 Pi 的吸收。2b 把 Pi 转移到寄主植株,克服铝胁迫下对 P 吸收的限制。通过糖酵解和三羧酸循环对 C 的处理、加工,增加有机酸和其它含 C 基质的含量。在植物根际有机酸分泌与铝形成螯合物。AM 真菌诱导分泌的球囊霉素长时间的隔绝铝。AM 真菌的结构,例如,孢子和菌丝,和根的代谢、物质分泌在一起构成了共生关系。在植株根际,铝被螯合和隔离。

4 总结

铝离子引发的铝毒问题成为全球关注的热点问题。人们越来越重视耐铝植物的资源调查、耐铝植物筛选利用,目前已经发现的耐铝植物有大麦、小麦、棉花、玉米、大豆等,多集中在农作物中^[37]。仅仅依靠这些耐铝作物对酸铝土壤的开发和利用以及修复是远远不够的,应该加强植物耐铝机制的探索和耐铝植物新品种的培育研究。

深化基础理论研究。就植物-微生物-逆境胁迫之间的共存关系而言,菌根化植物对铝的吸收、转运、耐受、富集和解毒机制的作用机理以及解铝毒有效性的影响因素等基础理论问题有待深入研究。利用分子生物技术进一步的研究 AM 真菌在缓解植株铝毒的过程中真正扮演的是一个什么样的角色,成果可为富铝土壤的植物修复工作提供理论支撑。

目前缓解作物的铝毒状况研究大多是有机物料的合理还田、施加钙镁磷肥、投放石灰石粉等方法,用 AM 真菌来缓解植物铝毒方面的研究甚少。在农业生态系统中,生产实践方法需要进行不断的改进和优化,石灰、石膏和磷肥的大量使用虽然会提高农产品的质量和产量,但是从可持续发展的角度来看是不科学的,因为石灰、石膏和磷肥的过渡滥用极易造成土壤酸化。为了改善酸性土壤上的农业生产状况,不仅应当栽植耐铝性强的作物,对 P 利用效率高的作物,还应该最大效率的利用 AM 真菌,通过接种本地 AM 真菌,提高酸性土壤上的农业生产。AM 真菌作为一种生物肥料,提高酸性土壤或富含铝土壤上的作物生产都极其重要。这样的话,不仅减少化肥的施入,而且能有效的改善酸性土壤的理化性质。

参考文献

- [1] Von Uexkull H R, Mutert E. Global extent, development and economic impact of acid soils. In plant-Soil Interactions at Low pH: Principles and Management[M]. Eds. Date RA, Grondon. NJ, raymet. GE, Probert ME. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1995:5-19.
- [2] Kochian L V. Cellular mechanisms of Aluminum toxicity and resistance in plants[J]. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecule Biology, 1995, 46:237-260.
- [3] 熊毅,李庆魁. 中国土壤[M]. 北京:科学出版社,1987.
- [4] 张福锁. 植物营养的生态生理学和遗传学[M]. 北京:中国科学技术出版社,1993:1248-2901.
- [5] 何龙飞,沈振国,刘友良. 植物铝毒害机理的研究[J]. 广西农业生物科学, 2001, 21(3):188-194.
- [6] 李德华,贺立源,刘武定. 耐铝和对铝敏感的玉米自交系根系的有机酸分泌[J]. 植物生理与分子生物学报, 2003, 29(2):114-120.
- [7] 王芳,刘鹏,范章月. 铝胁迫下荞麦根系生理特性的变化[J]. 浙江农业科学, 2005(4):289-293.
- [8] 于森,刘明慧,夏管,等. 铝胁迫条件下一氧化氮对大豆根伸长及抗氧化系统的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2012, 34(6):597-602.
- [9] Wong S C, Cowan I R, Farquhar G R. Stomatal conductance correlates with photosynthetic capacity [J]. Nature, 1979, 282:424-426.
- [10] Bever J D, Schultz P, Pringle A, et al. Arbuscular mycorrhizal fungi: more diverse than meets the eye, and the ecological tale of why[J]. Bioscience, 2001, 51:923-931.
- [11] Clark R B, Zeto S K, Zobel R W. Arbuscular mycorrhizal fungal isolate effectiveness on growth and root colonization of *Panicum virgatum* in acidic soil[J]. Soil Biol Biochem, 1999, 31:1757-1763.
- [12] Clark R. Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH[J]. Plant Soil, 1997, 192:15-22.
- [13] Ashen J, Goff L. Molecular and ecological evidence for species specificity and coevolution in a group of marine algal-bacterial symbiosis[J]. Appl Environ Microbiol, 2000, 66:3024-3030.
- [14] Bartolome-Esteban H, Schenck N C. Spore germination and hyphal growth of arbuscular mycorrhizal fungi in relation to soil aluminum saturation [J]. Mycologia, 1994, 86:217-226.
- [15] Lambais M R, Cardoso E. Germinacao de esporos e crescimento do tubo germinativo de fungos micorrizicos vesiculo-arbusculares em diferentes concentracoes de aluminio (Effects of aluminum on germination of spores and germ tube growth of VAM fungi) [J]. Rev Bras Cienc Solo, 1989, 13:151-

154.

[16] Klugh-Stewart K, Cumming J. Organic acid exudation by mycorrhizal *Andropogon virginicus* L. (broomsedge) roots in response to aluminum[J]. Soil Biol Biochem, 2009, 41: 367-373.

[17] 张帆, 罗承德, 张健. 植物铝胁迫发生机制及其内在缓解途径研究进展[J]. 四川环境, 2005(24): 64-69.

[18] Ruyikiri G, Dufey J E, Nootens D, et al. Effect of aluminium on bananas (*Musa* spp.) cultivated in acid solutions. I. Plant growth and chemical composition [J]. Fruits, 2000, 55: 367-379.

[19] 刘永俊. 丛枝菌根的生理生态功能[J]. 西北民族大学学报, 2008, 29(69): 54-59.

[20] Joner E, Briones R, Leyval C. Metal-binding capacity of arbuscularmycorrhizal mycelium[J]. Plant Soil, 2000, 226: 227-234.

[21] Lux H, Cumming J. Mycorrhizae confer aluminum resistance to tulip-poplar seedlings[J]. Can J For Res, 2001, 31: 694-702.

[22] Yano K, Takaki M. Mycorrhizal alleviation of acid soil stress in the sweet potato (*Ipomoea batatas*) [J]. Soil Biol Biochem, 2005, 37: 1569-1572.

[23] Cuenca G, Andrade Z, Meneses E. The presence of aluminum in arbuscular Mycorrhizas of *Clusia multiflora* exposed to increased acidity[J]. Plant soil, 2001, 231: 233-241.

[24] Gohre V, Paszkowski U. Contribution of the arbuscular mycorrhizal symbiosis to heavy metal phytoremediation[J]. Planta, 2006, 223: 1115-1122.

[25] 吴金平, 顾玉成. 丛枝菌根真菌(AMF)在土壤修复中的生态应用[J]. 中国农学通报, 2009, 25(7): 243-245.

[26] Klugh-Stewart K, Cumming J. Organic acid exudation by mycorrhizal *Andropogon virginicus* L. (broomsedge) roots in response to aluminum[J]. Soil Biol Biochem, 2009, 41: 367-373.

[27] Hue N V, Craddock G R, Adams F. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils[J]. Soil Sci Soc Am J, 1986, 50: 28-34.

[28] Recorbet G, Valot B, Robert F, et al. Identification of in planta-expressed arbuscular mycorrhizal fungal proteins up on comparison of the root proteomes

of *Medicago truncatula* colonised with two *Glomus species* [J]. Fungal Genet Biol, 2010, 47: 608-618.

[29] Campos-Soriano L, Garc -Garrido J M, San Segundo B. Activation of basal defense mechanisms of rice plants by *Glomus intraradices* does not affect the arbuscular mycorrhizal symbiosis [J]. New Phytol, 2010, 188: 597-614.

[30] Wright S F, Upadhyaya A. Extraction of an abundant and unusual protein from soil and comparison with hyphal protein of arbuscular mycorrhizal fungi [J]. Soil Science, 1996, 161: 575-586.

[31] Etcheverria P. Glomalin in evergreen forest associations, deciduous forest and a plantation of *Pseudotsuga menziesii* in the X Regi n [D]. Chile. Universidad de La Frontera, 2009.

[32] Aguilera P, Borie F, Seguel A, et al. Fluorescence detection of aluminum in arbuscular mycorrhizal fungal structures and glomalin using confocal laser scanning microscopy [J]. Soil Biol Biochem, 2011, 43: 2427-2431.

[33] 闫明, 钟章成. 铝胁迫对感染丛枝菌根真菌的樟树幼苗生长的影响 [J]. 林业科学, 2007, 43(4): 59-64.

[34] Allen M F, Moore T S, Christensen M. Phytohormone changes in *Bouteloua gracilis* infected by vesicular arbuscular mycorrhizae. I. Cytokinin increases in the host plant [J]. Can J Bot, 1980, 58: 371-374.

[35] Voiblet C, Duplessis S, Encelot N, et al. Identification of symbiosis-regulated genes in *Eucalyptus globules*, *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhiza by differential hybridization of arrayed cDNAs [J]. Plant Journal, 2001, 25(2): 181-191.

[36] Seguel A, Cumming J R, Kluegh-Stewart K, et al. The role of arbuscular mycorrhizas in decreasing aluminium phytotoxicity in acidic soils: a review [J]. Mycorrhiza, 2013, 23: 167-183.

[37] 吴强盛, 夏仁学. 新型果树生物肥料丛枝菌根的效应及机理 [J]. 中国农学通报, 2004, 20(2): 120-123.

[38] 田仁生, 刘厚田. 酸化土壤中铝及其植物毒性 [J]. 环境科学, 1990, 11(6): 41-46.

Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Plant Resistance to Aluminum

HE Yun^{1,2}, ZENG Ming¹

(1. College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400716; 2. Key Laboratory of Horticulture Science for Southern Mountainous Regions, Ministry of Education, Chongqing 400716)

Abstract: a feature of the acidic soil is a high Aluminum level, Aluminum is harmful to the plant by inhibiting the root cell elongation and division. Thus the Aluminum toxicity becomes the focus of environmental science in the world. In terrestrial ecosystems, 85% of the vascular plants had symbiotic relationship with arbuscular mycorrhizal (AM) fungi. AM fungi produced low molecular secretions and glomalin-related protein that chelated with Aluminum, Fungal hyphae biologically adsorbed Aluminum, reducing the activities of Aluminum and its toxicity, regulating the interaction between plants and Aluminum element of soil, enhancing the plant resistance to Aluminum. This paper reviewed categories and types of AM fungi with resistance to Aluminum, the role of AM fungi alleviated aluminum toxicity of plant and internal mechanism in the natural ecosystem.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal (AM) fungi; species; secretions; glomalin; biological adsorption