

葡萄糖、根浸出液对丛枝菌根真菌吸收 不同外源氮产生精氨酸的影响

田萌萌 吉春龙 刘洁 刘静 金海如*

(浙江师范大学化学与生命科学学院 浙江 金华 321004)

摘要: 以大葱(*Allium fistulosum*)为宿主植物, 接种丛枝菌根(Arbuscular mycorrhizal, AM)真菌 *Glomus intraradices*, 采用三室隔离盆栽培养系统, 在菌丝室施加浓度为 4 mmol/L 的不同形态外源氮、1%葡萄糖及根浸出液, 通过测定根外菌丝(Extraradical mycelium, ERM)和菌根中精氨酸的含量, 探究葡萄糖、根浸出液对 AM 真菌吸收不同形式外源氮产生精氨酸的影响。结果表明, 不同外源氮对 ERM 中精氨酸含量的影响为尿素>Gln>NH₄NO₃>Arg/Gly>NH₄Cl>KNO₃, 对菌根中精氨酸含量的影响为 Arg>Gln>尿素>NH₄NO₃>Gly>NH₄Cl>KNO₃; 施加葡萄糖和根浸出液在不同程度上提高 ERM 干重和菌丝室孢子数量, 但使 ERM 和菌根中的精氨酸含量降低。说明 AM 真菌吸收同化不同外源氮产生精氨酸的能力不同, 葡萄糖和根浸出液降低 AM 真菌吸收同化外源氮产精氨酸的能力。

关键词: 丛枝菌根真菌, 氮, 精氨酸, 葡萄糖, 根浸出液

Effects of glucose, root exudates on the assimilation of different forms of nitrogen and production of arginine by Arbuscular mycorrhizal fungus

TIAN Meng-Meng JI Chun-Long LIU Jie LIU Jing JIN Hai-Ru*

(College of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua, Zhejiang 321004, China)

Abstract: Arbuscular mycorrhizal (AM) fungus (*Glomus intraradices*) was inoculated to the host plant (*Allium fistulosum*) and grown in three-part pot culture system, with addition of 4 mmol/L different forms of exogenous nitrogen, 1% glucose and root exudates into the mycelium compartment, effects of glucose and root exudates on the assimilation of different forms of nitrogen and production of arginine by arbuscular mycorrhizal fungus were examined by measuring arginine contents of the extraradical mycelium (ERM) and mycorrhizal roots. The results showed that the absorption capacity of ERM to

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 30970101); 浙江省科技厅计划资助项目(No. 2006C22009)

* 通讯作者: Tel: 86-579-82291360; ✉: hrjin@zjnu.cn

收稿日期: 2010-08-24; 接受日期: 2010-11-01

different forms of exogenous nitrogen and produce arginine is ranked in order of Urea>Gln>NH₄NO₃>Arg/Gly>NH₄Cl>KNO₃; The capability of arginine formation in mycorrhizal roots was ranked in order of Arg>Gln>Urea>NH₄NO₃>Gly>NH₄Cl>KNO₃. Glucose and root exudates increased the dry weight of ERM and spore amount, but reduced arginine concentration in ERM and mycorrhizal roots. These results indicated that the capacity of assimilation of different forms of exogenous nitrogen by AM fungus were different, glucose and root exudates reduced the capacity of assimilation of exogenous nitrogen and production of arginine by AM fungus.

Keywords: Arbuscular mycorrhizal fungus, Nitrogen, Arginine, Glucose, Root exudates

丛枝菌根(Arbuscular mycorrhiza, AM)真菌是自然界中普遍存在的一类内生菌根真菌, 地球上约90%的维管束植物都能与其形成丛枝菌根^[1]。Amess等人^[2]早在1983年通过¹⁵N标记实验就已经证明AM真菌的根外菌丝(Extraradical mycelium, ERM)能够从根外数厘米远的土壤中吸收NH₄⁺, 并运输到宿主植物中。到目前很多文献报道AM真菌的ERM可以从周围环境中吸收和同化各种形态N源(如NH₄⁺、NO₃⁻、尿素、氨基酸)^[3-5]; 在这些不同形态N源中, NH₄⁺是AM真菌吸收同化的主要N素形态^[5-6]。菌根真菌吸收同化的N大多数被整合入氨基酸中^[7], AM真菌ERM吸收的N则整合入精氨酸(Arginine, Arg)中, 并且把完整的Arg运转给根内菌丝体(Intraradical mycelium, IRM)^[8-9]; IRM中Arg通过精氨酸酶的作用可分解为鸟氨酸(Ornithine, Orn)和尿素, 从Arg释放出的N则用于合成植物生长所需要的其他氨基酸和核苷酸。从而Arg的生物合成涉及AM真菌菌丝体中N的吸收、运输和分解代谢。每个Arg分子含有4个N原子所以Arg是植物和真菌主要的N储存物, Arg和Orn被认为是球囊霉属菌根组织中的重要氨基酸库组成成分^[9], Arg具有沿着AM菌丝运输N的作用^[8,10]。有研究表明^[11]N不仅能以Arg的形式从ERM转运到IRM, 并进而转运到植物根系, 也可以从植物根系转运到ERM中; 当菌根组织能从环境中吸收大量的N, 则以Arg形式向氮匮乏的ERM运送N。所以在一定范围内, ERM和菌根中Arg含量与AM真菌吸收转运N的能力有着紧密的联系。

由于AM真菌是专性共生菌, 只有与宿主植物共生在一起才能正常生长繁殖, 根浸出液里含有从

根内渗透出来的糖类、自由氨基酸等物质成分, 这些成分可以促进AM真菌菌丝伸长和分支^[12]。葡萄糖是宿主植物供给AM真菌的主要营养, AM真菌孢子可以直接从环境中吸收葡萄糖作为碳源^[13]。本研究采用三室隔离盆栽培养方法, 在菌丝室加入不同形态外源氮、葡萄糖和根浸出液, 通过测定ERM和菌根中Arg含量来分析比较AM真菌吸收同化不同外源氮产生Arg及葡萄糖和根浸出液对其产量的影响。

1 材料与方法

1.1 材料

供试菌种: AM真菌 *Glomus intraradices*, 接种菌剂由浙江师范大学微生物与发酵工程实验室提供。*Glomus intraradices* 采用分割培养皿方法^[14]培养在无菌培养皿中, 将整个培养皿中的培养物放入搅拌机中搅碎, 倾筛出菌根、菌丝体和孢子的混合物, 再与无菌去离子水混合制成菌剂。菌剂中菌根、菌丝体和孢子都具有繁殖能力, 1 mL菌剂约含有200个孢子。

供试宿主植物: 大葱 *Allium fistulosum* (金长3号葱), 由上海惠和种业有限公司提供。

根浸出液的制备: Ri T-DNA转化的胡萝卜根培养在含有M固体培养基的培养皿中, 小心将根移到含有3%蔗糖的液体培养基中, 24℃生长4周, 无菌环境下用去离子水清洗2次, 随后在无菌去离子水中24℃生长1周, 收集根浸出液。

培养基质: 育苗的培养基质为灭过菌的蛭石。第一、二阶段的培养基质为直径1 mm-3 mm的河沙, 河沙用自来水反复冲洗, 再用去离子水漂洗干净,

<http://journals.im.ac.cn/wswxtbcn>

1×10^5 Pa 灭菌 2 h, 晾干备用。

培养容器: 第一阶段的培养容器为底部有孔的锥形杯。大小为 $6.0 \text{ cm} \times 1.1 \text{ cm} \times 22.5 \text{ cm}$ (上口直径 \times 下口直径 \times 高), 锥型杯用不生锈的白铁皮做成, 杯子底部深且镂空, 这样有利于菌根根系向下生长繁殖, 底部的孔用医用棉花堵住。第二阶段的培养容器为三室隔离培养盒(图 1), 培养盒用不生锈的白铁皮做成, 两层孔径大小为 $38 \mu\text{m}$ 的尼龙网将培养盒分成菌根室、隔离室和菌丝室; 菌根室大小为 $3 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$, 隔离室大小为 $1 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$, 菌丝室大小为 $5 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 13 \text{ cm}$; 尼龙网只允许菌丝通过而不允许植物根通过, 巧妙的将菌根和菌丝分开; 菌根室比菌丝室高出 3 cm, 这样是为了降低菌丝室营养渗透到菌根室中的程度。

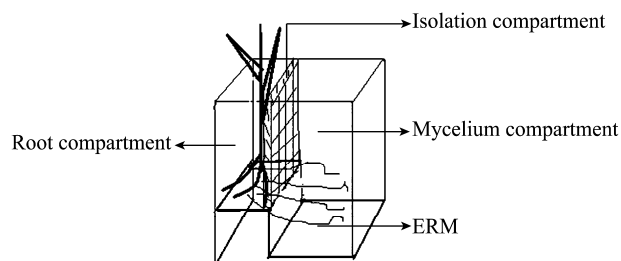


图 1 三室隔离培养盒

Fig. 1 A three-parts pot for plant cultivation

1.2 方法

育苗: 选取饱满的葱种子, 用 5% 的 H_2O_2 浸泡 60 min, 去离子水漂洗干净, 播种于蛭石中, 放置在智能光照培养箱中育苗。

第一培养阶段: 菌根的形成。将育好的葱苗移栽到锥形杯中, 一个杯中 3 颗葱苗, 培养基质为河沙。同时在每杯的葱根部施加 2 mL 的液体菌剂(约 600 个孢子), 每 5 d 加 1 次 Hoagland 营养液 2 mL, 智能光照培养箱中培养 45 d 使菌根的侵染率平均达到 60% 以上。

第二培养阶段: 将锥形杯中的葱移栽到三室隔离培养盒的菌根室中, 菌根室和菌丝室均采用河沙为培养基质。每 5 d 加 1 次 Hoagland 营养液 2 mL 到菌根室中, 菌丝室只加水保持湿润。25 d 后待菌丝伸展到菌丝室, 在菌丝室中加入 4 mmol/L 不同形

态的外源氮 [NH_4Cl 、 NH_4NO_3 、 KNO_3 、尿素、甘氨酸(Gly)、Arg、谷氨酰胺(Gln)], 每 5 d 加 1 次, 1 次加 3 mL; 同时在菌丝室分别加入 1% 葡萄糖和根浸出液, 每 7 d 加 1 次, 1 次加 2 mL。此时菌根室和菌丝室供应的营养液均为 Hoagland 限氮营养液[不含 KNO_3 和 NH_4NO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 用 CaCl_2 代替]。不加葡萄糖和根浸出液的为对照组, 每个处理重复 3 次, 共 72 盆($8 \times 3 \times 3$), 培养 30 d 收获。

1.3 测定项目

ERM 干重: 预留小部分菌丝室河沙, 收集剩下的河沙采用湿筛倾析技术^[1]将 ERM 筛选出来, 用去离子水反复冲洗, 收集到离心管中, -55°C , 真空度 10.5 Pa 下冷冻干燥 24 h, 称量其干重。

孢子数量: 将预留的菌丝室河沙自然风干, 均匀称取 50 g 河沙, 采用湿筛倾析技术^[1]筛选出河沙中的孢子, 在体视显微镜下计数, 计算 1 g 河沙中的孢子数量。

菌根侵染率: 根上部和根系分别收获。根系用去离子水洗净, 均匀取一部分根剪成 1 cm 左右的根段, 采用曲利苯蓝染色-方格交叉法测定菌根侵染率。根上部的茎叶和剩下的根分别装进离心管中, 冷冻干燥后备用。

Arg 含量: 取冷冻干燥后的 ERM 0.01 g, 菌根 0.05 g, 将样品剪碎, 加入 50% 乙醇浸泡 2 h, 用研钵充分研磨, 再用超声波振荡提取, 离心后取上清液, 将上清液 45°C 真空干燥 12 h, 干燥后重新溶解在去离子水中, 用甲萘酚-双乙酰法^[15]定量 ERM 和菌根中的 Arg 含量。

茎叶中氮含量: 分别取干燥后的茎叶 0.1 g, 加入消化剂进行消化, 再用凯氏定氮法测定茎叶中的总氮含量。

2 结果

2.1 ERM 干重、孢子数量和菌根侵染率

葡萄糖和根浸出液都提高了菌丝室的 ERM 干重, 特别是根浸出液效果极其显著; 当菌丝室施加根浸出液, 以 Arg 为氮源时平均每个培养盒中的 ERM 干重达到 227.93 mg; 有机氮源(Gly、Arg 和

Gln)下的 ERM 干重比较高, 而 NH_4Cl 和 KNO_3 氮源条件下 ERM 干重相对较低(表 1)。葡萄糖和根浸出液都显著提高了菌丝室的孢子数量; 施加葡萄糖使 KNO_3 、Arg 和 Gln 外源氮下孢子数量比较高, 而根浸出液使 NH_4Cl 和尿素为外源氮时的孢子数量较高; 与空白(菌丝室不加任何外源氮)相比, 不同形态的外源氮均能提高菌丝室孢子产量(表 1)。菌丝室施加不同形式外源氮及根浸出液对菌根侵染率无显著影响, 菌丝室施加葡萄糖使菌根侵染率比对照组平均下降 12.22%, 有机氮源下降得尤为明显

(表 1)。

2.2 ERM 和菌根中 Arg 的含量

ERM 吸收外源氮合成 Arg 并以 Arg 形式将氮沿着 AM 真菌菌丝输运到菌根中的 IRM。以尿素、Gln 和 NH_4NO_3 为氮源时 ERM 中 Arg 含量较高, 分别为 1.47、1.45 和 1.38 mg/g; 不同形式的外源氮对 ERM 中 Arg 含量的影响表现为 尿素>Gln> NH_4NO_3 >Arg/Gly> NH_4Cl > KNO_3 (图 2)。

菌根中 Arg 含量比 ERM 中高得多, 对照组菌根中 Arg 含量平均是 ERM 中的 1.7 倍。不同形式外源

表 1 葡萄糖、根浸出液和不同形式外源氮对 ERM 干重、孢子数量和菌根侵染率的影响
Table 1 The effects of glucose, root exudates and different forms nitrogen on dry weight of ERM, spores amount and root infection

氮源 Nitrogen sources	ERM 干重 Dry weight of ERM (mg)			孢子数量 Spores amount			菌根侵染率 Rate of root infection (%)		
	对照 CK	葡萄糖 Glucose	根浸出液 Root exudates	对照 CK	葡萄糖 Glucose	根浸出液 Root exudates	对照 CK	葡萄糖 Glucose	根浸出液 Root exudates
—	19.70c	43.78bc	191.10a	30cd	98e	138c	82.42a	77.50ab	82.00c
NH_4Cl	16.18c	47.00b	104.93b	33cd	109de	199a	85.85a	78.48ab	91.75b
NH_4NO_3	24.75ab	49.65b	131.15b	44b	130c	177b	84.11a	77.91ab	87.91bc
KNO_3	15.77c	39.21c	107.35b	41b	176a	155c	83.04a	72.32b	81.46c
Urea	23.60ab	48.00b	112.75b	36c	120cd	194a	85.08a	82.27a	95.75a
Gly	25.50ab	43.90bc	206.90a	64a	157b	142c	83.70a	62.55c	82.42c
Arg	27.88a	59.68a	227.93a	37c	190a	120d	85.27a	63.90c	85.25bc
Gln	30.09a	57.10a	215.60a	59a	178a	140c	83.55a	63.25c	83.50c

注: 同一列的不同字母表示在 $P=0.05$ 水平差异显著。

Note: Values with different letters are significantly different at $P=0.05$.

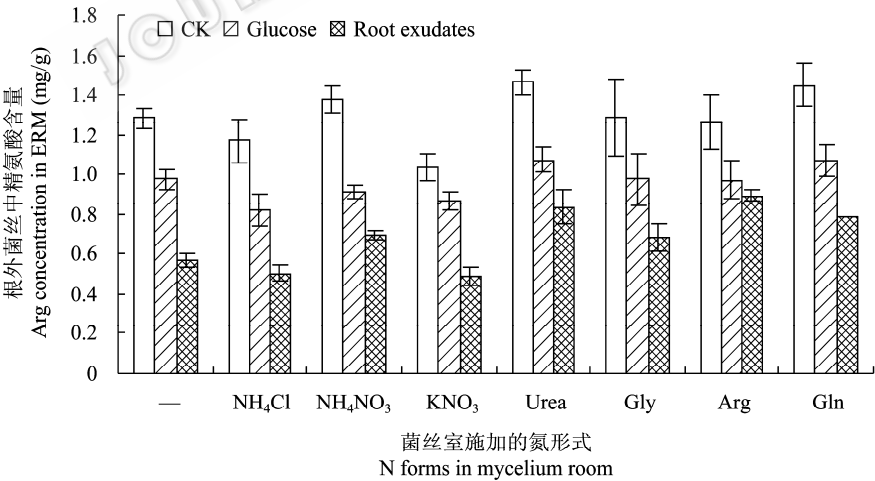


图 2 葡萄糖、根浸出液和不同外源氮对 ERM 中 Arg 含量的影响
Fig. 2 The effects of glucose, root exudates and different forms nitrogen on Arg concentration in ERM

<http://journals.im.ac.cn/wwxtbcn>

氮下菌根中的 Arg 含量均高于空白; 以 Arg 为氮源时菌根中 Arg 含量最高为 4.29 mg/g; 以 KNO_3 为氮源时菌根中 Arg 含量最低为 2.27 mg/g; 不同形式外源氮对菌根中 Arg 含量的影响表现为 $\text{Arg} > \text{Gln} > \text{尿素} > \text{NH}_4\text{NO}_3 > \text{Gly} > \text{NH}_4\text{Cl} > \text{KNO}_3$ (图 3)。

菌丝室施加葡萄糖和根浸出液都在不同程度上降低了 ERM 和菌根中 Arg 含量, 特别是根浸出液使 ERM 和菌根中 Arg 含量比对照组分别下降了 47.62% 和 31.47%。

2.3 葱茎叶中氮含量

当 Arg 从 ERM 运转至菌根组织后, 它通过尿素循环的精氨酸酶作用转化成鸟氨酸和尿素, 从 Arg 释放的 N 传递给寄主植物而 Arg 的 C 骨架继续留在 IRM^[10], 进而为 AM 真菌共生系统提供 C、N 供体。在以 NH_4NO_3 为氮源时葱茎叶中的含氮总量最高为 39.81 g/kg, Gln 和尿素次之; KNO_3 为氮源时茎叶中总氮含量最低为 30.13 g/kg。施加葡萄糖和根浸出液也在不同程度上降低葱茎叶中的总氮含量(图 4)。

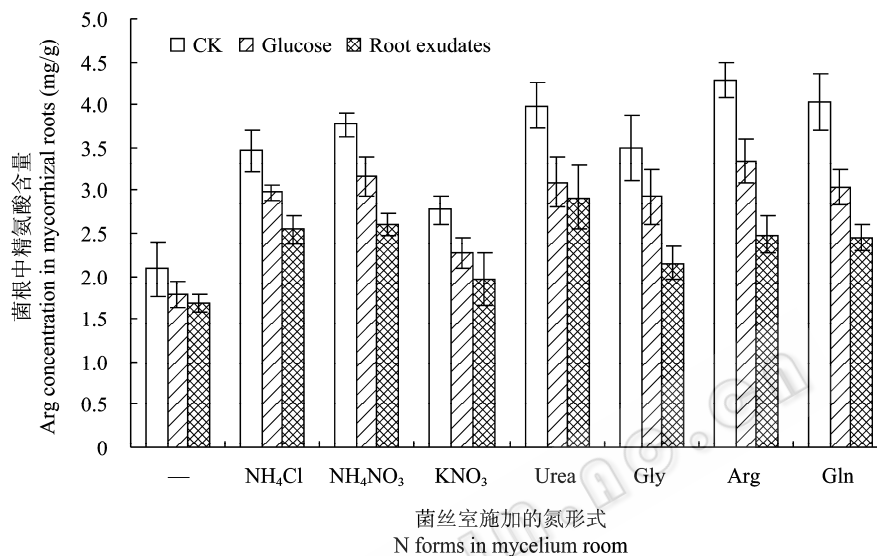


图 3 葡萄糖、根浸出液和不同外源氮对菌根中 Arg 含量的影响

Fig. 3 The effects of glucose, root exudates and different forms nitrogen on Arg concentration in mycorrhizal roots

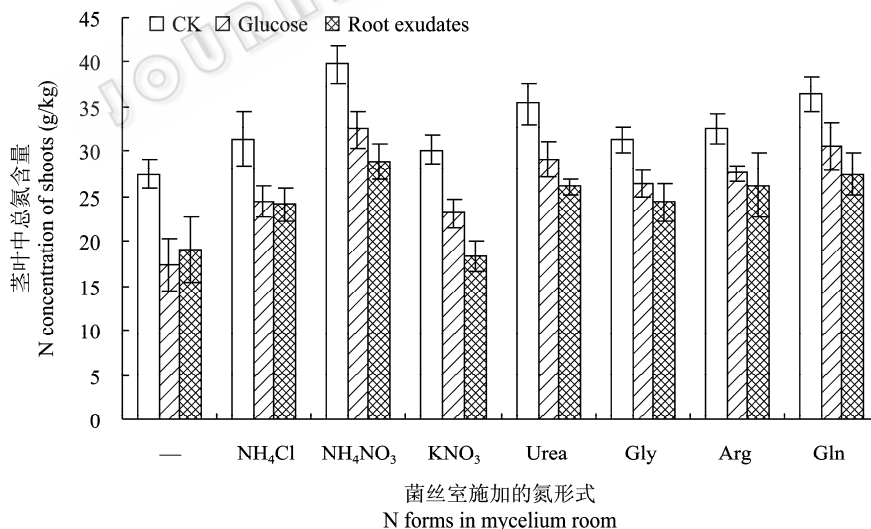


图 4 葡萄糖、根浸出液和不同外源氮对茎叶中氮含量的影响

Fig. 4 The effects of glucose, root exudates and different forms nitrogen on N concentration of shoots

<http://journals.im.ac.cn/wwxtbcn>

3 讨论

AM 真菌与植物根系共生形成菌根后, IRM 先在菌根内形成, ERM 是 IRM 的延续, 也是形成孢子的结构基础。本项研究中大葱菌根侵染率都达到 60% 以上, ERM 干重和孢子数量均反应 AM 真菌处在良好生命活动状态中, 这些基础条件保证了 AM 真菌 ERM 有效地吸收运转外源氮。

3.1 AM 真菌吸收不同形式外源氮产生 Arg

以尿素为氮源时 ERM 中 Arg 含量最高, 以 NH_4Cl 为氮源时 ERM 中 Arg 含量比以 KNO_3 为氮源时高, 表明 AM 真菌 ERM 吸收尿素和 NH_4^+ 的能力比 NO_3^- 的强, 此结果与其他研究报道一致^[3,6]。与 Arg 和 Gly 相比 ERM 更容易吸收 NH_4NO_3 合成 Arg, 但是与 NH_4Cl 相比 ERM 更容易吸收 Gln、Arg 和 Gly, 这与人 ERM 吸收 NH_4^+ 能力比氨基酸强的研究结果相反^[3,5-6]。可能的原因是本次研究采用盆栽培养的方法, 尽管培养基质灭过菌, 菌丝室施加氮源后露天培养 30 d 才收获, 这样菌丝室会滋生很多其他微生物群体, 这些微生物把有机氮降解成 ERM 较容易吸收的氮形式。由此可见无菌分割培养皿中的实验结果与盆栽以及大田试验的结果相差甚远, 但是盆栽培养更接近 AM 真菌应用于大田耕作的条件, 对推广 AM 真菌的农业应用更有意义, 所以盆栽系统中 AM 真菌对有机氮源的吸收运转机制仍需大量的工作深入研究。

以 Arg 和 Gln 为氮源时菌根中 Arg 含量均较高。ERM 吸收的 N 首先被合成 Gln 而后整合到 Arg 中^[8,11], 虽然 ERM 吸收 Arg 和 Gln 是耗能过程, 但是它们一旦进入 ERM 中 Arg 便可以整体运送到 IRM 中, Gln 也无需同化直接合成 Arg 而后被运转^[3]。由于 ERM 对尿素和 NH_4NO_3 吸收能力较强, 同化后合成 Arg 运转到 IRM 中, 所以菌根中 Arg 含量也很高。

Arg 在 IRM 中分解并把 N 供给宿主植物, 测得不同形式外源氮下葱茎叶中总氮含量都高于菌丝室不加氮源时的总氮含量, 说明 AM 真菌 ERM 吸收运转外源氮到宿主植物, 可以提高植株的氮营养。尽管 NH_4NO_3 作为氮源时 ERM 和菌根中的 Arg 含量并不是最高, 但是植株茎叶总氮含量是最高的, 所以

NH_4NO_3 是最容易整合到宿主植物组织中去的外源氮形态。

3.2 葡萄糖和根浸出液对 AM 真菌吸收外源氮产生 Arg 的影响

菌丝室施加葡萄糖和根浸出液提高了 ERM 干重和孢子数量, 但是降低了 ERM 和菌根中 Arg 含量以及植株茎叶中氮含量。虽然葡萄糖是 AM 真菌生长发育的必要营养, 但是有些研究报道 AM 真菌 ERM 不能直接吸收葡萄糖^[16]。在无菌分割培养皿中进行的孢子萌发试验, 根浸出液对菌丝氮吸收利用也没有明显影响^[13]。葡萄糖和根浸出液降低 AM 真菌吸收同化外源氮的能力, 可能的原因是葡萄糖的加入改变了菌丝室 ERM 生长环境中碳源和氮源的比例, 从而影响到 ERM 的 Arg 合成; 对于不同浓度的外源碳对 AM 真菌氮代谢的影响以及碳代谢在 AM 真菌合成 Arg 调控中的影响我们还需要进一步探究。根浸出液使 ERM 大量繁殖而菌丝室施加的氮源是有限的, 所以每单位 ERM 中 Arg 含量就低了。葡萄糖和根浸出液增加了菌丝室的营养程度却降低了 AM 真菌吸收同化外源氮的能力, 使植株的氮含量下降, 这也证明了贫瘠土壤中 AM 真菌吸收同化外源的能力更强, 更有利于帮助宿主植物吸收利用外源氮, 这对贫瘠土壤中植物的生长繁殖具有重要的意义。

参 考 文 献





- [1] 刘润进, 李晓林. 丛枝菌根及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [2] Ames RN, Reid CPP, Porter LK, et al. Hyphal uptake and transport of nitrogen from two ^{15}N -labelled sources by *Glomus mosseae*, a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus[J]. New Phytologist, 1983, 95(3): 381-396.
- [3] 李侠, 张俊伶. 丛枝菌根根外菌丝对不同形态氮素的吸收能力[J]. 核农学报, 2007, 21(2): 195-200.
- [4] Hodge A, Campbell CD, Fitter AH. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material[J]. Nature, 2001, 413(6853): 297-299.
- [5] Hawkins HJ, Johansen A, George E. Uptake and transport of organic and inorganic nitrogen by arbuscular mycorrhizal fungi[J]. Plant Soil, 2000, 226(2): 275-285.

<http://journals.im.ac.cn/wwxtbcn>

- [6] Toussaint JP, St-Arnaud M, Charest C. Nitrogen transfer and assimilation between the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* Schenck & Smith and Ri T-DNA roots of *Daucus carota* L. in an *in vitro* compartmented system[J]. Can J Microbiol, 2004, 50(4): 251-260.
- [7] Martin F, Stewart GR, Genetet I, et al. Assimilation of $^{15}\text{NH}_4^+$ by beech (*Fagus sylvatica* L.) ectomycorrhizas[J]. New Phytologist, 1986, 102: 85-94.
- [8] Jin H, Pfeffer PE, Douds DD, et al. The uptake, metabolism, transport and transfer of nitrogen in an arbuscular mycorrhizal symbiosis[J]. New Phytologist, 2005, 168(3): 687-696.
- [9] Johansen A, Finlay RD, Olsson PA. Nitrogen metabolism of the external hyphae of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*[J]. New Phytologist, 1996, 133: 705-712.
- [10] Govindarajulu M, Pfeffer PE, Jin H, et al. Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis[J]. Nature, 2005, 435(7043): 819-823.
- [11] Jin HR. Arginine bi-directional translocation and breakdown into ornithine along the arbuscular mycorrhizal mycelium[J]. Sci China C Life Sci, 2009, 52(4): 381-389.
- [12] Tamasloukht MB, Séjalon-Delmas N, Kluever A, et al. Root factors induce mitochondrial-related gene expression and fungal respiration during the developmental switch from asymbiosis to presymbiosis in the arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora rosea*[J]. Plant Physiol, 2003, 131(3): 1468-1478.
- [13] 金海如, 田萌萌. 丛枝菌根真菌萌发孢子利用不同氮素及外源葡萄糖对其代谢的影响[J]. 中国科学: 生命科学, 2010, 40(3): 239-249.
- [14] St-Arnaud M, Hamel M, Vimard B, et al. Enhanced hyphal growth and spore production of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* in an *in vitro* system in the absence of host roots[J]. Mycological Research, 1996, 100(3): 328-332.
- [15] 郝刚, 钱和. 发酵液中 L-精氨酸定量检测方法的研究[J]. 食品工业科技, 2005(2): 184-186.
- [16] Shacha-Hill Y, Pfeffer PE, Douds D, et al. Partitioning of intermediary carbon metabolism in vesicular-arbuscular mycorrhizal leek[J]. Plant Physiol, 1995, 108(1): 7-15.

征订启事

2011 年中科院微生物所期刊联合编辑部联合征订

	《微生物学报》月刊(每月 4 日出版), 单价 55.00 元, 全年定价 660 元。刊号: ISSN 0001-6209; CODEN WSHPA8。国内邮发代号: 2-504; 国外邮发代号: BM67。
	《生物工程学报》月刊(每月 25 日出版), 单价 65.00 元, 全年定价 780 元。刊号: ISSN 1000-3061; CODEN SGXUED。国内邮发代号: 82-13; 国外邮发代号: BM5608。
	《微生物学通报》月刊(每月 20 日出版), 单价 48.00 元, 年价 576 元。刊号: ISSN 0253-2654; CODEN WSWPDI。国内邮发代号: 2-817; 国外邮发代号: BM413。
	《菌物学报》双月刊(单月 15 日出版), 单价 80 元, 全年定价 480 元。刊号: ISSN 1672-6472; CODEN JXUUAЕ。国内邮发代号: 2-499; 国外邮发代号: Q723。
订阅	欢迎广大读者直接与本刊发行部联系订购, 我们将按期免费为您邮寄。
	汇款地址: (100101)北京市朝阳区北辰西路 1 号院 3 号中科院微生物所 B401
	收信人: 《 》编辑部; 电话: 010-64807521; E-mail: bjb@im.ac.cn
	请在附言处注明“订刊费”及所订期刊名称、年代、卷、期和数量。

<http://journals.im.ac.cn/wwxtbcn>