

云锦杜鹃菌根真菌吸收氮源特性及其接种效应

尹丽娟¹, 张春英¹, 杨兵²

(¹上海市园林科学研究所, 上海 200232; ²河南农业大学林学院, 郑州 450002)

摘要:【目的】研究从云锦杜鹃根系分离的欧石南菌根(ericoid mycorrhiza, ERM)真菌对铵态氮、硝态氮和无机氮吸收特性及其接种效应,检测ERM菌株吸收利用不同氮源能力及筛选培养菌株适宜的氮源,并分析ERM对寄主植物氮源吸收的影响。【方法】采用菌丝干重定量研究菌株的氮源吸收特性;在不同氮源培养基上,采用单菌株接种无菌云锦杜鹃(*Rhododendron fortunei*)幼苗研究ERM对寄主植物生长的影响。【结果】供试ERM真菌菌株在不同氮源培养基中生长量差异明显,所有菌株在各单一氮源培养基中菌丝干重均增加,其中铵态氮和硝态氮中生长量较大;各氮源培养基上,菌株接种幼苗生长均优于非接种苗,而且在牛血清蛋白培养基上接种苗干重显著高于其它氮源。【结论】铵态氮和硝态氮是供试ERM菌株培养的比较适宜氮源;ERM增加了云锦杜鹃对氮源的吸收,尤其是硝态氮和有机氮的吸收。

关键词: 云锦杜鹃; 欧石南菌根; 有机氮; 硝态氮; 接种效应

Characteristics of Nitrogen Absorbed by Ericoid Mycorrhizal Fungi and Impact on Growth of *Rhododendron fortunei*

YIN Li-juan¹, ZHANG Chun-ying¹, YANG Bing²

(Shanghai Landscape and Gardening Research Institute, Shanghai 200232; ²Forestry College, He'nan Agricultural University, Zhengzhou 450002)

Abstract: 【Objective】 Research on the characteristics of ammonium, nitrate and organic nitrogen utilization by ericoid mycorrhizal fungi and impacts on growth in vitro of *Rhododendron fortunei* was carried out to determine the suitable nitrogen sources in ericoid mycorrhizal (ERM) fungal cultivation and test the effects of ERM on host plant growth in substrate with different nitrogen sources. 【Method】 Mycelial dry weight of ERM fungal strain in the different nitrogen source media was used as the index to assess nitrogen utilization. These ERM fungal strains were also inoculated on seedlings of *Rhododendron fortunei* on different nitrogen source substrates, and the effect of ERM fungi on the host plant was evaluated by dry weight of the seedlings. 【Result】 Nitrogen sources had a significant effect on fungus biomass. Fungal growth was the best on ammonium and nitrate, moderate on arginine and Bovine Serum Albumin (BSA), and poor on medium without nitrogen. Inoculated plants grew better than non-inoculated plants regardless of nitrogen sources, and grew best on BSA. 【Conclusion】 Ammonium and nitrate were suitable N source for the growth of the ERM strains. Inoculation with these ERM fungi increased the capacity of *Rhododendron fortunei* to utilize nitrogen source, especially nitrate and BSA nitrogen.

Key words: *Rhododendron fortunei*; ericoid mycorrhiza; organic nitrogen; nitrate nitrogen; inoculation effect

0 引言

【研究意义】杜鹃花科植物根系通常形成欧石南菌根(ericoid mycorrhiza, ERM)。ERM真菌在杜鹃

花氮获取中发挥重要作用,尤其在营养贫瘠的生境中杜鹃花主要依赖菌根吸收氮源^[1]。因此,研究ERM真菌氮营养特性,分析ERM在不同氮源条件下对寄主植物生长的影响,有助于了解ERM作用机制及菌根

收稿日期: 2009-06-08; 接受日期: 2009-09-10

基金项目: 上海市绿化管理局资助项目(ZX050208)、上海市农委科技攻关项目(沪农科攻字2007第3号)

作者简介: 尹丽娟, 硕士。Tel: 13917056235; E-mail: ylj1056@foxmail.com。通信作者张春英, 高级工程师, 博士。Tel: 021-54352793; E-mail: mayzhang55@yahoo.com.cn

技术在杜鹃花栽培中的应用潜力, 并为 ERM 生物肥料的研制和推广提供基础依据。【前人研究进展】杜鹃花科植物生境土壤主要矿质营养常以复杂的有机态存在, 植物自身难以吸收利用^[2], 因此 ERM 及其真菌有机氮利用特性受到较多关注。Stribley 等^[3]最先发现了杜鹃花科植物蓝莓 (*Vaccinium* spp.) ERM 具有利用有机残基为氮源的能力。后来研究认为由于 ERM 真菌, 如 *Hymenoscyphus ericae* (Read) Korf & Kernan, 可以产生一系列的酶类, 包括蛋白酶类、纤维素酶类、几丁质分解活性酶等, 因而可以降解复杂有机质作为营养来源^[4-7], 并能在接种后促进寄主植物对有机氮的吸收^[8-10]。而且不同土壤生境分离的 ERM 真菌吸收利用有机氮源及其辅助寄主植物氮源吸收的功能存在明显差异^[10]。ERM 同样也可能影响寄主植物对硝态氮 (NO_3^-) 的吸收^[11]。试验表明硝态氮可以作为 ERM 真菌 *H. ericae* 生长的惟一氮源^[10]。而且接种 *H. ericae* 形成 ERM 后, 蓝莓 (*V. macrocarpon* L.) 根系吸收硝态氮的能力提高^[12]。【本研究切入点】云锦杜鹃 (*Rhododendron fortunei* L.) 是杜鹃花属常绿无鳞片杜鹃花之一, 广泛分布于中国浙江、江西、安徽等地海拔 620—2 000 m 山脊向阳处或林下^[13], 优良的观赏性及抗逆性在同类杜鹃花中表现突出^[14]。自然状态下, 云锦杜鹃是典型的 ERM 植物, 菌根侵染率较高。已从云锦杜鹃根系中分离到 ERM 真菌菌株^[15]。这些菌株的氮源吸收特性如何, 以及中国 ERM 真菌资源的营养特性值得研究。以前关于 ERM 氮源营养特性的研究仅关注有机氮或者硝态氮, 同时把铵态氮、硝态氮和有机氮作为研究对象的文献很少, 而 ERM 对氮源的选择性在杜鹃花类植物栽培中氮营养选择具有重要意义。【拟解决的关键问题】本试验拟研究云锦杜鹃 4 个 ERM 真菌菌株有机氮、硝态氮和铵态氮的吸收利用特性, 并分析菌株在不同氮源培养基上对云锦杜鹃接种幼苗生长的影响, 筛选菌株培养的适宜氮源, 初步探讨 ERM 效应的氮源利用机理, 以期 ERM 菌根技术在杜鹃花栽培和繁育应用中奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试菌株 5 个, 其中 4 个菌株是从云锦杜鹃根系中分离得到的, 并已经确认为 ERM 真菌。2 个菌株为树粉孢属 (*Oidiodendron* sp.) 菌种, 分别分离自浙江华顶山和湖南幕阜山森林公园的云锦杜鹃; 1 个菌株为 *Cryptosporiopsis ericae*, 和另一个未知菌株都

分离自浙江华顶山森林公园; 还有 1 个菌株, 也是树粉孢属菌种 (*Oidiodendron* sp.1), 为购自德国的 ERM 真菌商业菌株。接种幼苗为云锦杜鹃无菌播种幼苗。

1.2 研究方法

1.2.1 菌根真菌菌丝干重的测定 以无氮源 MMN 培养基(modified Melin-Norkrans agar)为基础培养基, 分别添加 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、精氨酸和牛血清蛋白 (bovine serum albumin, BSA) 4 种氮源; 氮源的浓度为 $0.053 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ (MMN 培养基含氮量), 培养基灭菌前 pH 5。用直径为 0.3 cm 的打孔器在活化好的菌斑上打孔, 每个试管中接入 3 个菌块, 设置 3 个重复。培养温度为 25°C , 转速为 150 r/min。15 d 后, 取出过滤, 在 65°C 烘箱中烘至恒重, 称量干重。

1.2.2 不同氮源对菌根真菌接种云锦杜鹃幼苗的效应试验 无氮源 MMN 培养基高压灭菌后, 并分别加入 $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ 、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 、精氨酸、BSA 4 种氮源作为接种苗培养基, 并设置无氮培养基对照, 调节培养基 pH 至 5。将供试的 5 个菌株作为菌剂接种云锦杜鹃播种幼苗。选取高度、长势一致的云锦杜鹃无菌播种小苗, 接种直径约 3 mm 的活化菌块, 并设置不接菌株空白对照, 置于 25°C , 相对湿度为 65% 的气候箱内培养, 4 个月后统计幼苗成活率、观察接种苗根系侵染率、测量植株干重。

1.2.3 菌株感染率检测方法 接种 5 个月后检测菌根感染率, 菌根感染率采用锥虫蓝染色法进行检测, 在光学显微镜下观察幼根表皮及皮层细胞中是否有菌丝结或菌丝, 并估算菌根感染率^[16]。

菌根感染率=菌根感染的根段长度/检查的菌根根段总长度 $\times 100\%$

2 结果

2.1 不同氮源培养基中云锦杜鹃接种苗侵染率

云锦杜鹃接种幼苗根系锥虫蓝染色压片检测结果显示, 5 个 ERM 菌株在 4 种氮源和对照培养基上均能与云锦杜鹃根系形成菌根结构。ERM 真菌在有机氮源培养中侵染率较高, 无机氮源培养基中较低, 无氮条件下侵染率最低 (表 1)。两种有机氮源中, 树粉孢属 3 个菌株在以 BSA 为氮源时侵染率较高, 分别为 56.5%、81.8% 和 80.5%, *C. ericae* 菌株和未知菌株在以精氨酸为氮源时侵染率较高, 分别为 73.2% 和 37.9%; 2 种无机氮源对接种苗侵染率影响表现不一致, 其中以硝态氮为氮源时侵染率较高。

表 1 不同氮源培养基中云锦杜鹃菌根侵染率

Table 1 The colonization rate (%) of inoculated seedlings of *R. fortunei* on media with different nitrogen sources

N 源类型 Nitrogen sources	侵染率 Colonization rate (%)					
	<i>Oidiodendron</i> sp.1	<i>Oidiodendron</i> sp.2	<i>Oidiodendron</i> sp.3	<i>C. ericae</i>	未知菌株 Unknown fungus	CK ₁ (非接种) (Noninoculated seedlings)
(NH ₄) ₂ HPO ₄	11.4	28.2	30.2	17.4	10.0	0
Ca(NO ₃) ₂	28.7	53.3	24.6	31.1	25.0	0
精氨酸 Arginine	41.6	68.1	52.1	73.2	37.9	0
牛血清蛋白 Bovine serum albumin (BSA)	56.5	81.8	80.5	54.3	35.3	0
CK ₂ (无氮源) (No nitrogen)	4.2	5.0	10.4	13.6	6.2	0

2.2 不同氮源对云锦杜鹃菌根真菌菌丝干重的影响

纯培养条件下, 5 个菌株的菌丝产量变化较大(表 2)。菌株在不同氮源培养基中的菌丝产量差异明显, 3 个菌株 *Oidiodendron* sp.2、*Oidiodendron* sp.3 和 *C. ericae* 在无机氮与有机氮源条件下产量显著高于无氮源培养基。除 *C. ericae* 菌株外, 无机氮培养基中菌丝产量都高于有机氮培养基。以 2 种无机氮为氮源时,

除菌株 *Oidiodendron* sp.3 的菌丝产量在(NH₄)₂HPO₄ 培养基中显著高于 Ca(NO₃)₂ 培养基, 其它菌株菌丝产量差异都不显著; 2 种有机氮源培养基中, 菌株 *Oidiodendron* sp.1 和 *Oidiodendron* sp.2 菌丝产量差异不显著, 菌株 *Oidiodendron* sp.3 和 *C. ericae* 在 BSA 培养基菌丝产量显著高于精氨酸为氮源培养基, 未知菌株则在精氨酸培养基菌丝产量显著高于 BSA 培养基。

表 2 不同氮源培养基中云锦杜鹃 ERM 真菌菌丝干重的方差分析

Table 2 The variance analysis of mycelial dry weight of ERM fungi from *R. fortunei* on media with different nitrogen sources

氮源类型 Nitrogen source	菌丝干重 Mycelial dry weigh (mg)				
	<i>Oidiodendron</i> sp.1	<i>Oidiodendron</i> sp.2	<i>Oidiodendron</i> sp.3	<i>C. ericae</i>	未知菌株 Unknown fungi
(NH ₄) ₂ HPO ₄	62.23 ab	79.90 a	73.37 a	117.5 bc	36.40 ab
Ca(NO ₃) ₂	66.33 a	75.93 ab	68.80 b	125.9 ab	38.77 a
精氨酸 Arginine	39.30 c	58.57 c	38.17 d	107.2 c	38.80 a
BSA Bovine serum albumin	51.40 bc	64.90 bc	62.97 c	138.0 a	32.07 b
CK (No nitrogen)	40.47 c	42.67 d	29.27 e	23.03 d	31.97 b

不同小写字母代表 LSD 测验差异显著 ($P < 0.05$)

Data marked with different letters showed significant difference between treatments ($P < 0.05$)

2.3 不同氮源对云锦杜鹃接种苗干重的影响

5 个菌株接种苗在不同氮源培养基中植株干重差异较大(表 3)。除菌株 *C. ericae* 接种苗干重在以精氨酸为氮源时略高于无氮对照未达到显著外, 其它菌株接种苗均显著高于无氮对照。非接种苗在以(NH₄)₂HPO₄ 为氮源培养基中干重显著高于在其它氮源培养基上, 而接种苗干重在有机氮源培养基高于无机氮源培养基。5 个菌株接种苗在 BSA 为氮源培养基中干重显著高于在精氨酸培养基上, 菌株 *Oidiodendron* sp.1、*Oidiodendron* sp.2 和未知菌株接种苗干重在 Ca(NO₃)₂ 培养基上显著高于(NH₄)₂HPO₄ 培养基。不同菌株接种苗干重在相同氮源中也表现很大的差异, 如在 Ca(NO₃)₂ 培养基中, 菌株 *Oidiodendron* sp.1 接种苗干重

显著高于其它菌株, 在 BSA 培养基上 3 个 *Oidiodendron* sp. 菌株接种苗干重显著高于其它菌株。

3 讨论

3.1 影响云锦杜鹃菌根形成的因子

试验结果显示不同氮源的培养基影响云锦杜鹃菌根侵染率。云锦杜鹃幼苗在有机氮精氨酸、BSA 培养基上菌根侵染率较高, 其中 BSA 培养基上菌根侵染率最高, 而在无机氮培养基上侵染率低。Xiao & Birch 调查发现, 在矿质营养低、有机质含量高的自然生境土壤中, 杜鹃花科植物菌根侵染率常比较高^[17]。所以, 杜鹃花栽培在有机氮源营养丰富的条件下有利于 ERM 的形成。另外, 在不同来源 *Oidiodendron* sp 菌

表 3 不同氮源培养基中云锦杜鹃 ERM 菌株接种苗干重方差分析

Table 3 The variance analysis of dry weight of inoculated seedlings with ERM fungi from *R. fortunei* on media with different nitrogen source

N 源类型 Nitrogen source	干重 Dry weight (mg)					
	<i>Oidiiodendron</i> sp.1	<i>Oidiiodendron</i> sp.2	<i>Oidiiodendron</i> sp.3	<i>C. ericae</i>	未知菌株 Unknown fungi	CK ₁ (非接种苗) (Noninoculated seedling)
(NH ₄) ₂ HPO ₄	14.73 fg	7.850 m	15.94 e	8.200 lm	7.650 mn	7.980 m
Ca(NO ₃) ₂	35.82 a	9.967 k	15.05 efg	9.050 kl	9.680 k	5.225 pqr
精氨酸 Arginine	18.03 d	12.86 i	14.20 gh	6.775 no	13.23 hi	4.433 r
牛血清蛋白 Bovine serum albumin (BSA)	20.52 bc	21.48 b	20.33 c	11.58 j	15.66ef	6.183 op
CK ₂ (无氮源) (No nitrogen)	7.780 mn	5.050 qr	9.180 kl	5.800 opq	5.000 qr	4.400 r

不同小写字母代表 LSD 测验差异显著 ($P < 0.05$)

Data marked with different letters showed significant difference between treatments ($P < 0.05$)

株侵染率也不同, 如 2 个分离自云锦杜鹃菌株侵染率明显高于 *Oidiiodendron* sp1 菌株, 表明 ERM 菌株与寄主植物间具有一定的选择性, 来自寄主植物的菌株回接亲和性最高。

3.2 菌根在云锦杜鹃氮源吸收中的作用

非接种苗在铵态氮[(NH₄)₂HPO₄]培养基上植株干重显著高于其它氮源培养基上的幼苗, 说明铵态氮是没有菌根的云锦杜鹃幼苗生长的较好氮源。菌根形成后, 4 种氮源培养基上幼苗生长良好, 均优于非接种苗; 尤其是 BSA、精氨酸、硝态氮培养基上接种幼苗生长优势突出, 80% 以上的接种幼苗比铵态氮培养上相同菌株的接种苗生长量大。这些结果表明, 菌根的形成增加了云锦杜鹃对铵态氮、硝态氮和有机氮吸收, 而且菌根苗更易于吸收硝态氮和有机氮。对于 ERM 可以增加寄主植物对有机氮的吸收, 文献从不同角度 (主要是围绕 *H. ericae* 及其 ERM) 对这一功能进行了研究, 在试验条件下和自然生境中 ERM 都能提高蓝莓有机氮的吸收效率, 促进寄主植物的生长^[4-10,18-19]。因此在杜鹃花生长良好的自然生境中, 土壤有机质含量常比较高, 栽培土壤腐殖质含量的多少直接影响杜鹃花生长的速度和质量^[20]。这种现象可能与杜鹃花在自然或栽培条件下根系常形成 ERM 密切相关。

关于 ERM 在寄主植物硝态氮吸收中的作用, 相关的研究资料很少, 仅见 Kosola 等^[12,21]报道了蓝莓苗菌根化后吸收硝态氮的能力提高。不少文献对外生菌根在硝态氮吸收中作用进行了研究, 根据不同的栽培条件、寄主植物和共生的菌株类型试验结果差异很大, 有正向效应^[22]、负向效应^[23]或者没有影响^[24]。依据本试验结果, ERM 有效促进了云锦杜鹃硝态氮的吸收及生长, 硝态氮比铵态氮更适合作为 ERM 植物的氮源。

因此, 硝态氮可能在杜鹃花等 ERM 植物氮营养利用中扮演着重要角色, 但目前仍需要自然或栽培环境条件下 ERM 对硝态氮利用效应的更多研究证据。

4 结论

5 个菌株在无机氮培养基中的菌丝产量显著高于有机氮中的产量, 而且硝态氮和铵态氮之间菌丝产量差异不显著, 说明两种无机氮都可以作为云锦杜鹃 ERM 真菌培养的良好氮源。从云锦杜鹃根系分离的 ERM 真菌 *Oidiiodendron* sp、*Cryptosporiopsis ericae* 和 1 个未知类型菌株的生长可以利用有机氮和硝态氮作为氮源; 接种云锦杜鹃形成 ERM 后, 能够提高接种幼苗对氮营养的吸收, 尤其是显著地增加幼苗对硝态氮和有机氮的吸收。这一结果对杜鹃花栽培中菌根技术应用和氮营养选择具有重要的指导意义。

References

- [1] Cairney J W G, Meharg A A. Ericoid mycorrhiza: a partnership that exploits harsh edaphic conditions. *European Journal of Soil Science*, 2003, 54: 735-740.
- [2] Read D J. Mycorrhizas in ecosystems. *Experientia*, 1991, 46: 376-390.
- [3] Striibley D P, Read D J. The biology of mycorrhiza in Ericaceae I V. The effects of mycorrhizal infection on the uptake of ¹⁵N from labeled soil by *Vaccinium macrocarpon* Ait. *New Phytologist*, 1974, 73: 1149-1155.
- [4] Chen A, Chambers S M, Cairney J W G. Utilization of organic nitrogen and phosphorus sources by mycorrhizal endophytes of *Woolisia pungens* (Cav.) F. Muell. *Mycorrhiza*, 1999, 8: 181-187.
- [5] Midgley D J, Chambers S M, Cairney J W G. Inorganic and organic

- substrates as sources of nitrogen and phosphorus for multiple genotypes of two ericoid mycorrhizal fungal taxa from *Wollisia pungens* Cav. (Muell.) and *Leucopogon parviflorus* (Andr.) Lindl. (Ericaceae). *Australian Journal of Botany*, 2004, 52: 63-71.
- [6] Midgley D J, Jordan L A, Saleeba J A, McGee P A. Utilisation of carbon substrates by orchid and ericoid mycorrhizal fungi from Australian dry sclerophyll forests. *Mycorrhiza*, 2006, 16: 175-182.
- [7] Bougoure DS, Cairney JWG. Chitinolytic activities of ericoid mycorrhizal and other root-associated fungi from *Epacris pulchella* (Ericaceae). *Mycological Research*, 2006, 110: 328-334.
- [8] Xiao G, Berch S M. Organic nitrogen use by salal ericoid mycorrhizal fungi from northern Vancouver island and impacts on growth *in vitro* of *Gaultheria shallon*. *Mycorrhiza*, 1999, 9: 145-149.
- [9] Wei Y Q, Goulart B L, Demchak K. Assessing organic nitrogen acquisition of ericoid mycorrhizae in highbush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) plants by using an ¹⁵N tracer. *Hortscience*, 1998, 33: 443-558.
- [10] Cairney J W G, Sawyer N A, Sharples J M. Intraspecific variation in nitrogen source utilization by isolates of the ericoid mycorrhizal fungus *Hymenoscyphus ericae* (Read) Korf and Kernan. *Soil Biology & Biochemistry*, 2000, 32: 1319-1322.
- [11] Read D J. The structure and function of the ericoid mycorrhizal root. *Annals of Botany*, 1996, 77: 365-374.
- [12] Kosola K R, Workmaster B A A, Spada P A. Inoculation of cranberry (*Vaccinium macrocarpon*) with the ericoid mycorrhizal fungus *Rhizoscyphus ericae* increases nitrate influx. *New Phytologist*, 2007, 176: 184-196.
- [13] 杨汉碧, 方明渊, 方瑞征. 杜鹃花科//傅立国, 陈潭清, 郎楷永, 洪涛. 中国高等植物. 第五卷. 青岛: 青岛出版社, 2003.
Yang H B, Fang M Y, Fang R Z. Ericaceae//Fu L G, Chen T Q, Lang K Y, Hong T. *Higher Plants of China*. Volume 5. Qingdao: Qingdao Publishing House, 2003. (in Chinese)
- [14] 张长芹, 罗吉风, 苏玉芬. 六种杜鹃花耐旱适应性研究, 广西植物, 2002, 22(2): 174-176.
Zhang C Q, Luo J F, Su Y F. The research of drought tolerance on 6 species *Rhododendron*. *Guihaia*, 2002, 22(2): 174-176. (in Chinese)
- [15] Zhang C Y, Yin L J, Dai S L. Diversity of root-associated fungal endophytes in *Rhododendron fortunei* in subtropical forests of China. *Mycorrhiza*, 2009, DOI: 10. 1007/s00572-009-0246-1.
- [16] 弓明钦, 陈应龙, 仲崇禄. 菌根研究及应用. 北京: 中国林业出版社, 1996: 139-140.
Gong M Q, Chen Y L, Zhong C L. *Mycorrhizal Research and Application*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1996: 139-140. (in Chinese)
- [17] Xiao G, Berch S M. Diversity and abundance of ericoid mycorrhizal fungi to form mycorrhizal fungi of *Gaultheria shallon* on forest clearcut. *Canadian Journal Botany*, 1996, 74: 337-346.
- [18] Sokolovski S G, Meharg Y A, Maathuis F J M. *Calluna vulgaris* root cells show increased capacity for amino acid uptake when colonized with the mycorrhizal fungus *Hymenoscyphus ericae*. *New Phytologist*, 2002, 155: 525-530.
- [19] Hobbie J E, Hobbie E A, Drossman H, Conte M, Weber J C, Shamhart J, Weinrobe M. Mycorrhizal fungi supply nitrogen to host plants in Arctic tundra and boreal forests: ¹⁵N is the key signal. *Canadian Journal of Microbiology*, 2009, 55: 84-94.
- [20] 张长芹. 杜鹃花. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
Zhang C Q. *Rhododendrons*. Beijing: China Building Industry Press, 2002. (in Chinese)
- [21] Kosola K R, Workmaster B A A. Mycorrhizal colonization of cranberry: effects of cultivar, soil type, and leaf litter composition. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2007, 132: 134-141.
- [22] Plassard C, Barry D, Eltrop L, Mousain D. Nitrate uptake in maritime pine (*Pinus pinaster*) and the ectomycorrhizal fungus *Hebeloma cylindrosporum* – effect of ectomycorrhizal symbiosis. *Canadian Journal of Botany* 1994, 72: 189-197.
- [23] Kreuzwieser J, Stulen I, Wiersema P, Vaalburg W, Rennenberg H. Nitrate transport processes in Fagus-Laccaria-mycorrhizae. *Plant and Soil*, 2000, 220: 107-117.
- [24] Plassard C, Guerin-Laguette A, Very A A, Casarin V, Thibaud J B. Local measurements of nitrate and potassium fluxes along roots of maritime pine: Effects of ectomycorrhizal symbiosis. *Plant, Cell & Environment*, 2002, 25: 75-84.

(责任编辑 曲来娥)