

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201804030

引文格式: 夏庭君, 吴强盛, 邵雅东, 等. 丛枝菌根真菌对福鼎大白茶生长、侧根数和根系内源激素的影响 [J]. 广西植物, 2018, 38(12): 1635–1640

XIA TJ, WU QS, SHAO YD, et al. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, lateral root number and root endogenous hormones of *Camellia sinensis* ‘Fuding Dabaicha’ [J]. *Guihaia*, 2018, 38(12): 1635–1640

## 丛枝菌根真菌对福鼎大白茶生长、侧根数和根系内源激素的影响

夏庭君<sup>1</sup>, 吴强盛<sup>2,3\*</sup>, 邵雅东<sup>3</sup>, 江昌俊<sup>2</sup>

(1. 湖北生态工程职业技术学院, 武汉 430200; 2. 安徽农业大学 茶学生物学与资源利用国家重点实验室, 合肥 230036; 3. 长江大学 园艺园林学院, 湖北 荆州 434025)

**摘要:** 该研究以盆栽福鼎大白茶 (*Camellia sinensis* ‘Fuding Dabaicha’) 为材料, 通过对其接种丛枝菌根真菌 (AM 真菌) 幼套球囊霉 (*Clariodeoglossum etunicatum*)、地表球囊霉 (*Diversispora versiformis*)、粘屑多孢囊霉 (*D. spurca*) 以及上述三菌种的混合菌剂, 研究 AM 真菌对茶生长、侧根数及根系内源激素的影响。结果表明: 接种 12 周后福鼎大白茶根系能被 AM 真菌侵染, 为 18.85%~40.23%。接种 AM 真菌处理促进了福鼎大白茶株高、叶面积、主根长以及一级侧根和三级侧根数量, 但抑制了二级侧根数 (除混合菌种)。单一的 AM 真菌接种显著提高了福鼎大白茶根系脱落酸、玉米素核苷、赤霉素和油菜素内酯的含量, 但降低了根系茉莉酸甲酯含量 (除 *Clariodeoglossum etunicatum*)。相关性分析揭示菌根诱导的福鼎大白茶根系激素变化与菌根促进福鼎大白茶侧根数有关。此外, 幼套球囊霉的促生效果最显著, 而混合菌种对根系形态和侧根数影响最显著。今后茶树栽培中应加强菌根管理。

**关键词:** 白茶, 土壤微生物, 脱落酸, 共生真菌, 侧根

中图分类号: Q945 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2018)12-1635-06

## Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, lateral root number and root endogenous hormones of *Camellia sinensis* ‘Fuding Dabaicha’

XIA Tingjun<sup>1</sup>, WU Qiangsheng<sup>2,3\*</sup>, SHAO Yadong<sup>3</sup>, JIANG Changjun<sup>2</sup>

(1. Hubei Ecology Polytechnic College, Wuhan 430200, China; 2. State Key Laboratory of Tea Plant Biology and Utilization, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 3. College of Horticulture and Gardening, Yangtze University, Jingzhou 434025, Hubei, China)

**Abstract:** The study was conducted to analyze the effects of *Clariodeoglossum etunicatum*, *Diversispora spurca*, *D. versiformis* and a mixture of three arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) species on plant growth, lateral root number and root endoge-

收稿日期: 2018-07-24

基金项目: 湖北省教育厅科学技术研究项目 (B2018484); 茶学生物学与资源利用国家重点实验室开放基金 (SKLTOF20160112); 湖北省高等学校优秀中青年科技创新团队计划项目 (T201604) [Supported by the Science and Technology Research Program of Hubei Provincial Department of Education (B2018484); Tea Biology and Resource Utilization of National Key Laboratory Open Fund (SKLTOF20160112); Plan in Scientific and Technological Innovation Team of Outstanding Youth Scientist, Hubei Provincial Departments of Education (T201604)].

作者简介: 夏庭君 (1979-), 男, 武汉人, 硕士, 副教授, 主要研究方向为园林植物, (E-mail) 414820335@qq.com。

\*通信作者: 吴强盛, 博士, 教授, 主要从事菌根生物技术研究, (E-mail) wuqiangsh@163.com。

nous hormones in the potted *Camellia sinensis* ‘Fuding Dabaicha’ seedlings. After twelve weeks of AMF inoculation, roots of *C. sinensis* ‘Fuding Dabaicha’ could be colonized by these AMF treatments, varied from 18.85% to 40.23%. AMF inoculation heavily increased plant height, total leaf area, taproot length, the number of the first- and third-order lateral roots, but the number of second-order lateral root was markedly reduced (except for mixed-AMF). Root abscisic acid, zeatin riboside, gibberellin and brassinolide levels were significantly increased by sole AMF inoculation, but the levels of methyl jasmonate in roots were significantly decreased (except for *Clariodeoglossum etunicatum*). Correlation analysis revealed that mycorrhiza-regulated hormone changes in roots of *Camellia sinensis* ‘Fuding Dabaicha’ were closely related with mycorrhiza-improved lateral root number. In addition, *C. etunicatum* exhibited the best effects on stimulating plant growth, and mixed AMF treatment represented the best effects on improving root morphology and lateral root number. Therefore, the management of mycorrhizas should be strengthened in tea cultivation in the future.

**Key words:** white tea, soil microorganism, ABA, symbiotic fungi, lateral root

在植物生长过程中,根系在养分和水分的吸收上扮演着十分重要的角色,但也经常受到植物激素、土壤酸碱性和土壤微生物的影响(Osmont et al, 2007)。研究表明,接种丛枝菌根真菌(arbuscular mycorrhizal fungi, AM 真菌)可改善宿主植物根系形态、促进生长和营养元素的吸收(Wu et al, 2011, 2017)。在杨树上接种 2 种不同 AM 真菌均可显著增加二、三级侧根的长度和数量,而对一级侧根没有影响(Hooker et al, 1992)。在桃树上接种 *Funneliformis mosseae* 和 *Diversispora versiformis* 可显著增加其根系长度、投影面积、表面积和体积(Wu et al, 2011)。在正常水分和干旱胁迫下,接种 *D. versiformis* 的积根毛密度明显增加(Zou et al, 2017)。Berta et al(1995)研究发现,紫叶李接种 *Funneliformis mosseae* 和 *Glomus intraradices* 可以增加各级侧根的长度和密度,且 *G. intraradices* 接种可以增加根系直径。然而,在玉米上接种 *Funneliformis mosseae* 后却明显降低了其根系鲜重、长度以及根毛长度和密度(Kothari et al, 1990)。这表明 AM 真菌种类、土壤水分状况以及宿主植物种类都会影响 AM 真菌对侧根的调控作用。此外,接种 AM 真菌还可以影响根系内源激素水平(张菲等, 2017)。其中,脱落酸(ABA)对于植物在胁迫环境下的生长发育具有重要的意义;赤霉素(GA)对植物生长发育有重要的调控作用;油菜素内酯(BR)可促进促进细胞的再分化,进而促进植物的生长;茉莉酸甲酯(MeJA)对根的生长、种子萌发、块根形成等均有影响;玉米素核

昔(ZR)是一种细胞分裂素,主要在根内合成,对根系生长也有效应(张国华等, 2009;侯雷平和李梅兰, 2001;李清清等, 2010;彭磊等, 2013)。这些激素与根系生长均有关联,但目前关于 AM 真菌对植物内源激素含量的影响,报道甚少。

茶(*Camellia sinensis*)是世界上十分受欢迎的一种饮品。其中,白茶作为一种保健功效十分优秀的茶种,其茶性温和,黄酮含量高,具备多种功效。福鼎大白茶(*C. sinensis* ‘Fuding Dabaicha’)属于福鼎白茶中一个综合性状优良的茶树品种,具有优良的发芽率、抗寒性、耐旱性等性状,是一种综合性状十分优良的茶种(刘本英等, 2008),但其根系是浅根性。因此,提高福鼎大白茶的根系状况显得尤为重要。早期研究已经证实,AM 真菌能够通过影响内源激素来调控宿主植物根系形态(Hooker et al, 1992; Wu et al, 2011; Zou et al, 2017),但 AM 真菌是否同样通过影响内源激素进而调控福鼎大白茶,目前还不清楚。本研究通过对福鼎大白茶接种不同的 AM 真菌,研究其对福鼎大白茶的地上部生长状况、侧根数及根系内源激素水平的影响,分析菌根调控的内源激素与侧根数的关系,为今后白茶的生长调控提供依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料

试验所用 AM 真菌为幼套球囊霉(*Clariodeoglossum etunicatum*)、地表球囊霉(*Diversispora versiformis*)、粘屑

多孢囊霉 (*Diversispora spurca*) 以及混合菌种 (Mixed-AMF: *Clariodeoglosum etunicatum*、*Diversispora versiformis* 和 *D. spurca*, 比例为 1:1:1), 其中前面 3 个菌株均购于“中国丛枝菌根真菌种质资源库 (BGC)”, 后经白三叶 (*Trifolium repens* L.) 扩繁 16 周, 4 °C 下保存备用。

福鼎大白茶种子由贵州省茶叶研究所提供, 用 70% 酒精表面消毒 10 min, 无菌水冲洗干净后置于灭菌 (121 °C, 0.1 MPa, 1 h) 河沙中, 于昼夜温差 28 °C/20 °C 的培养箱中催芽。挑选大小一致、长势相同的 2 叶龄无菌茶苗, 移栽定植到装有 2 300 g 灭菌茶土的塑料盆 (18 cm × 11 cm × 15 cm, 口径 × 底径 × 高度) 中。移植时进行接种 AM 真菌处理, 每盆 1 200 个孢子, 以施入等量灭菌的接种体作为不接种 AM 真菌处理 (non-AMF)。试验所用菌剂均采用白三叶进行扩大繁殖, 包含有培养基质、孢子、菌丝和感染根段。接种时采用分层接种法, 将大约 100 g 菌剂分两层接种到栽培基质中。移栽后的茶苗在玻璃温室中培养, 定期浇水, 严格管理, 12 周后收获。

### 1.2 试验设计

依据邹英宁等 (2014) 的试验体系, 本研究的处理包括接种 *Clariodeoglosum etunicatum*、*Diversispora versiformis*、*D. spurca* 和混合菌种 (上述三菌种的混合菌), 以不接种菌根真菌的处理为对照, 共 5 个处理, 每个处理重复 4 次, 单盆为一个小区, 每盆一株无菌茶苗, 共 20 盆, 随机排列。

### 1.3 测定方法

采用卷尺测定株高, 随后将地上部与地下部分分开。采用 Epson Perfection V700 Photo Dual Lens System (J221A, Indonesia) 对茶树叶片进行扫描, WinRHIZO 根系分析仪获取叶面积。人工统计各级侧根数。菌根侵染率采用曲利苯兰染色法 (Phillips & Hayman, 1970) 测定。根系脱落酸 (ABA)、赤霉素 (GA)、油菜素内酯 (BR)、茉莉酸甲酯 (MeJA)、玉米素核苷 (ZR) 的含量参照 Chen et al (2009) 的方法进行提取, 然后采用酶联免疫吸附检测法 (ELISA) 进行 (在中国农业大学作物化学控制研究中心完成)。

### 1.4 数据分析

采用 SAS (8.1) 软件的 ANOVA 过程检测处理间的差异性, 依据邓肯新复极差法进行多重比较 ( $P < 0.05$ ), 依据 Corr 程序进行变量间的相关性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同 AM 真菌对福鼎大白茶根系侵染及株高和叶面积的影响

在 3 个不同属的 AM 真菌以及它们的混合菌种接种 12 周后, 在福鼎大白茶根系能够观察到典型的菌根侵染, 如根外菌丝、根内菌丝等 (图 1), 菌根侵染率的范围为 18.85% ~ 40.23%, 其中 *Clariodeoglosum etunicatum* 对福鼎大白茶根系的侵染率最高, 且显著高于其余处理, *Diversispora spurca* 对福鼎大白茶根系侵染率最低 (表 1)。

不同的 AM 真菌对福鼎大白茶的株高和叶面积的影响具有显著的促进作用 (表 1)。与不接种处理相比, *Clariodeoglosum etunicatum* 处理的株高和叶面积增加了 45.1% 和 60.0%, *Diversispora spurca* 增加了 43.1% 和 52.8%, *D. versiformis* 增加了 2.0% 和 8.1%, Mixed-AMF 增加了 39.2% 和 21.7%。

### 2.2 不同 AM 真菌对福鼎大白茶主根长和侧根数的影响

与不接种 AMF 处理相比较, 接种 *Clariodeoglosum etunicatum* 处理的主根长、一级侧根和三级侧根数量显著增加了 23.6%、71.9% 和 214.3%, *Diversispora versiformis* 显著增加了 27.4%、126.6% 和 114.3%, Mixed-AMF 显著增加了 28.7%、101.6% 和 300.0% (表 2)。*D. spurca* 处理显著抑制了二、三级侧根数, 但增加了主根长和一级侧根数。

### 2.3 不同 AM 真菌对福鼎大白茶根系内源激素水平的影响

与未接种 AMF 处理相比, 福鼎大白茶接种 AM 真菌可以显著影响根系 ABA、BR、GA、ZR、MeJA 含量 (图 2)。与未接种 AMF 处理相比接种 *Clariodeoglosum etunicatum* 处理的福鼎大白茶根系 ABA、GA 和 BR 的含量, 增加了 27.0%、34.2% 和 31.2%, *Diversispora spurca* 处理增加了 135.3%、11.9% 和 31.2%, *D. versiformis* 处理增加了 136.6%、



表 1 不同 AM 真菌对福鼎大白茶菌根  
侵染率和实生苗生长的影响

Table 1 Effects of different AM fungi on mycorrhizal colonization rate and plant growth of *Camellia sinensis* 'Fuding Dabaicha' seedlings

处理 Treatment	菌根侵染率 Mycorrhizal colonization rate (%)	株高 Plant height (cm)	叶面积 Leaf area (cm <sup>2</sup> )
幼套球囊霉 <i>Clariodeoglossum etunicatum</i>	40.23± 1.65a	18.50± 0.58a	23.95± 1.17a
粘屑多孢囊霉 <i>Diversispora spurca</i>	18.85± 0.73d	18.25± 0.96a	22.87± 1.29a
地表球囊霉 <i>D. versiformis</i>	36.87± 1.69b	13.00± 0.82b	16.18± 1.23c
混合菌种 Mixed-AMF	22.37± 1.65c	17.75± 1.26a	18.22± 1.01b
不接种 AMF Non-AMF	0± 0e	12.75± 0.50b	14.97± 1.17c

注: 同一列数据(平均值±标准差,  $n=4$ )后不同小写字母表示处理间差异显著( $P<0.05$ )。下同。

Note: Data ( $\bar{x} \pm s$ ,  $n=4$ ) followed by different letters in same column are significantly different ( $P<0.05$ ). The same below.

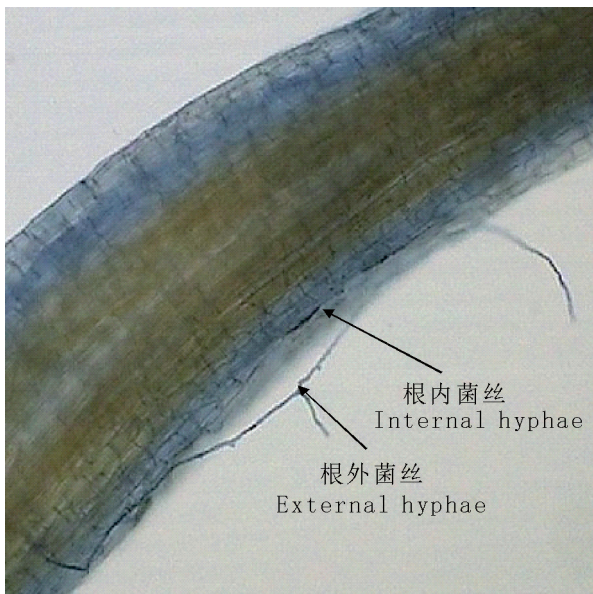


图 1 AM 真菌对福鼎大白茶的侵染

Fig. 1 Root mycorrhizal colonization in *Camellia sinensis* 'Fuding Dabaicha' seedlings

17.6%和 18.1%, ZR 的含量除 *Diversispora spurca* 处理下降外, 其余 AM 真菌接种均显著上升。MeJA 的含量除 *Clariodeoglossum etunicatum* 外, 其余均显

表 2 不同 AM 真菌对福鼎大白茶实  
生苗主根长和侧根数的影响

Table 2 Effects of different AM fungi on taproot length and number of lateral roots of *Camellia sinensis* 'Fuding Dabaicha' seedlings

处理 Treatment	主根长 Taproot length (cm)	侧根数 Number of lateral root		
		一级 1 <sup>st</sup>	二级 2 <sup>nd</sup>	三级 3 <sup>rd</sup>
幼套球囊霉 <i>Clariodeoglossum etunicatum</i>	16.38± 1.11b	110± 5c	191± 14b	22± 2b
粘屑多孢囊霉 <i>Diversispora spurca</i>	22.70± 0.87a	116± 10c	185± 12 b	4± 1d
地表球囊霉 <i>D. versiformis</i>	16.88± 1.19b	145± 5a	137± 9c	15± 2c
混合菌种 Mixed-AMF	17.05± 1.26b	129± 7b	255± 23a	28± 4a
不接种 AMF Non-AMF	13.25± 1.26c	64± 5d	199± 15b	7± 1d

著下降。接种 Mixed-AMF 后根系内源激素 ABA、BR 含量显著上升, ZR、GA、MeJA 的含量却显著下降。

## 2.4 根系内源激素与侧根数、主根长间的相关性

从表 3 可以看出, 主根长与根系 ABA、BR 间呈极显著( $P<0.01$ )正相关关系, 与根系 MeJA 呈极显著负相关关系。一级侧根数与根系 ABA、GA 和 BR 间呈极显著正相关关系, 与根系 MeJA 呈极显著负相关关系。二级侧根数与根系 MeJA 呈极显著正相关关系, 与根系 ABA、GA 间呈极显著或显著负相关关系。三级侧根数与根系 MeJA 呈显著( $P<0.05$ )正相关关系, 与根系 ZR 间呈极显著负相关关系。

## 3 讨论

在福鼎大白茶根系中观察到了菌根的侵染, 证实福鼎大白茶是一种 AM 植物。接种 AM 真菌后, 不同 AM 菌种对于福鼎大白茶实生苗根系侵染率存在一定的差异, 菌根侵染率的差异可能与菌种和宿主植物的兼容性有关(Tian et al, 2004)。一般地, 接种 AM 真菌可以促进宿主植物的生长(Carretero et al, 2009)。本研究中, 4 种 AM 真菌接种处理均能显著地提高福鼎大白茶株高(除

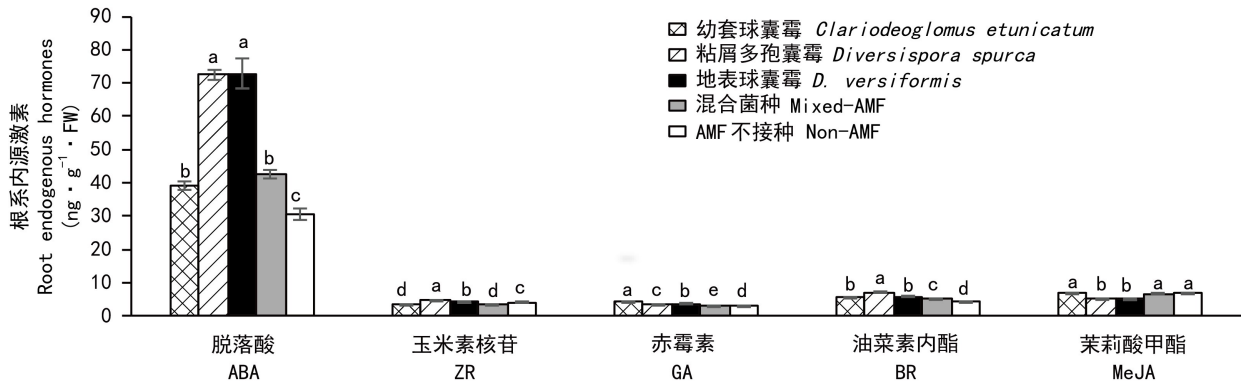


图 2 AM 真菌对福鼎大白茶根系内源激素含量的影响

Fig. 2 Effects of AM fungi on root endogenous hormone levels of *Camellia sinensis* 'Fuding Dabaicha' seedlings

表 3 福鼎大白茶实生苗根系内源激素与侧根数、主根长间相关关系

Table 3 Correlation between root endogenous hormones and lateral root number and taproot length in *Camellia sinensis* 'Fuding Dabaicha' seedlings

项目 Item	脱落酸 ABA	玉米素核苷 ZR	赤霉素 GA	油菜素内酯 BR	茉莉酸甲酯 MeJA
主根长 Taproot length	0.68 **	0.46	0.22	0.90 **	-0.65 **
一级侧根数 1st-order lateral root number	0.65 **	0.01	0.60 **	0.61 **	-0.53 *
二级侧根数 2nd-order lateral root number	-0.63 **	-0.55 *	0.34	-0.16	0.68 **
三级侧根数 3rd-order lateral root number	-0.36	-0.84 **	0.39	-0.23	0.48 *

注: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ 。Note: \*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ .

*Diversispora versiformis* 外)和叶面积,各个菌种处理间也表现显著差异,其中 *Clariodeoglossum etunicatum* 处理效果最好。此外,接种 *C. etunicatum* 对植物株高和叶面积的促进效果大于 Mixed-AMF 处理组,这可能是由于多种 AM 真菌对根系侵入位点以及宿主碳水化合物(主要是蔗糖)的竞争而引发的生长抑制(Lü et al, 2018),但仍需要进一步的试验证实。

本研究结果表明,接种 AM 真菌的福鼎大白茶主根长、一级和三级侧根数显著高于不接种 AM 真菌的对照,说明 AM 真菌作为一种有益微生物能够影响福鼎大白茶的侧根发育,且显示了促进的效应。Abbott & Robson(1982)研究表明,菌根侵染率越高对植物生长的影响越大。本研究中,根系菌根侵染率与一级侧根数( $r = 0.92$ ,  $P < 0.01$ )和三级侧根数( $r = 0.68$ ,  $P < 0.01$ )间存在极显著的正相关关系。Liu et al(2017)在枳上接种 *Clariodeoglossum etu-*

*nicaum*、*Diversispora versiformis*、*Funneliformis mosseae* 和 *Rhizoglossum intraradices*,均显著促进了一、二、三级侧根的数量。接种 *R. irregularis* 可以显著增加番茄主根长,显著降低了二、三级侧根的数量,对一级侧根数没有显著影响(江夏等, 2015)。本研究结果与前人研究结果不完全一致,这可能与菌种和宿主植物均不相同而产生的兼容性变化有关。

内源激素水平变化能够强烈地调控侧根的形成(Zou et al, 2017)。Zou et al(2017)研究表明接种 AM 真菌可以显著影响宿主根系内源激素水平。本研究中,接种 AM 真菌后福鼎大白茶根系 ABA、GA 和 BR 水平显著上升,对 MeJA 和 ZR 的影响不同,且差异显著。相关性分析表明福鼎大白茶侧根数与其根系内源激素间具有极显著的相关性。Liu et al(2016)在枳上接种 *Funneliformis mosseae* 后,在正常水分和干旱胁迫下,其根系 ABA、GA 和 BR 水平均显著升高。可以推测,AM 真菌一方面

能刺激和改变宿主植物内源激素水平,另一方面影响植物体内营养代谢,进而参与植物生长过程,从而改变宿主侧根发育。

综上所述,接种 AM 真菌可显著促进福鼎大白茶的植株生长和改善侧根数量,其中 *Claroideoglossum etunicatum* 的促生效果最显著,而混合菌种对根系形态和侧根数影响最显著。这种生长和根系的改变可能与菌根改变宿主根系内源激素有关。

## 参考文献:

- ABBOTT LK, ROBSON AD, 1982. The role of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in agriculture and the selection of fungi for inoculation [J]. *Aust J Agric Res*, 33: 389-408.
- BERTA G, TROTTA A, FUSCONI A, et al, 1995. Arbuscular mycorrhizal induced changes to plant growth and root system morphology in *Prunus cerasifera* [J]. *Tree Physiol*, 15: 281-293.
- CHEN Q, QI WB, REITER RJ, et al, 2009. Exogenously applied melatonin stimulates root growth and raises endogenous indoleacetic acid in roots of etiolated seedlings of *Brassica juncea* [J]. *J Plant Physiol*, 166(3):324-328.
- CARRETERO CL, CANTOS M, GARCÍA JL, et al, 2009. Growth responses of micropropagated cassava clones as affected by *Glomus intraradices* colonization [J]. *J Plant Nutr*, 32: 261-273.
- HOOKE JE, MUNRO M, ATKINSON D, 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi induced alteration in poplar root system morphology [J]. *Plant Soil*, 145: 207-214.
- HOU LP, LI ML, 2001. Progress of studies on the plant growth promoting mechanism of brassinolide (BR) [J]. *Chin Bull Bot*, 18(5):560-566. [侯雷平, 李梅兰, 2001. 油菜素内酯(BR)促进植物生长机理研究进展 [J]. *植物学报*, 18(5):560-566.]
- JIANG X, CHEN WL, XU CX, et al, 2015. Influences of arbuscular mycorrhizal fungus and phosphorus level on the lateral root formation of tomato seedlings [J]. *Chin J Appl Ecol*, 26(4):1186-1192. [江夏, 陈伟立, 徐春香, 等, 2015. 丛枝菌根真菌和磷水平对番茄幼苗侧根形成的影响 [J]. *应用生态学报*, 26(4):1186-1192.]
- KOTHARI SK, MARSCHNER H, GEORGE E, 1990. Effect of VA mycorrhizal fungi and rhizosphere microorganisms on root and shoot morphology, growth and water relations in maize [J]. *New Phytol*, 116: 303-311.
- LI QQ, LI DP, LI DQ, et al, 2010. The research progress in biosynthesis and regulation of jasmonates [J]. *Biotechnology Bulletin*, (1): 53-57. [李清清, 李大鹏, 李德全, 2010. 茉莉酸和茉莉酸甲酯生物合成及其调控机制 [J]. *生物技术通报*, (1): 53-57.]
- LIU BY, ZHOU J, XU M, et al, 2008. Tissue culture of immature embryo and parentage identification of hybrids between *Camellia taliensis* (W.W. Smish) Melchior and *C. sinensis* 'Fuding Dabaicha' [J]. *Acta Horti Sin*, 35: 735-740. [刘本英, 周健, 许玫, 等, 2008. 云南大理茶与福鼎大白茶种间杂交幼胚的组织培养及亲子鉴定 [J]. *园艺学报*, 35: 735-740.]
- LIU CY, SRIVASTAVA AK, WU QS, 2017. Mycorrhizal fungi regulate root responses and leaf physiological activities in trifoliolate orange [J]. *Not Bot Horti Agrobot Cluj*, 45:17-21.
- LIU J, GUO C, CHEN ZL, et al, 2016. Mycorrhizal inoculation modulates root morphology and root phytohormone responses in trifoliolate orange under drought stress [J]. *Emir J Food Agric*, 28(4): 251-256.
- LÜ LH, ZOU YN, WU QS, 2018. Relationship between arbuscular mycorrhizas and plant growth: improvement or depression? [C]//GIRI B, PRASAD R, VARMA A. *Root Biology. Soil Biology*, vol 52. Springer, Cham; 451-464.
- OSMONT KS, SIBOUT R, HARDTKE CS, 2007. Hidden branches: developments in root system architecture [J]. *Ann Rev Plant Biol*, 58: 93-113.
- PENG L, ZHOU L, WANG Y, et al, 2013. Dynamic changes in zeatin nucleosid (ZA) content of mango cutback fruit branch [J]. *J S Agric*, 44(1): 39-42. [彭磊, 周玲, 王莹, 等, 2013. 杜果短截结果母枝玉米素核苷含量的动态变化 [J]. *南方农业学报*, 44(1): 39-42.]
- PHILLIPS JM, HAYMAN DS, 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection [J]. *Trans Br Mycol Soc*, 55: 158-161.
- TIAN CY, FENG G, LI XL, et al, 2004. Different effects of arbuscular mycorrhizal fungal isolates from saline or non-saline soil on salinity tolerance of plants [J]. *Appl Soil Ecol*, 26: 143-148.
- WU QS, LI GH, ZOU YN, 2011. Improvement of root system architecture in peach (*Prunus persica*) seedlings by arbuscular mycorrhizal fungi, related to allocation of glucose/sucrose to root [J]. *Not Bot Horti Agrobot Cluj*, 39: 232-236.
- WU QS, SRIVASTAVA AK, ZOU YN, et al, 2017. Mycorrhizas in citrus: Beyond soil fertility and plant nutrition [J]. *Ind J Agric Sci*, 87: 427-443.
- ZHANG F, NI QD, ZOU YN, et al, 2017. Preliminary study on the mechanism of AMF in enhancing the drought tolerance of plants [J]. *J Fungal Res*, 15(1):8-13. [张菲, 倪秋丹, 邹英宁, 等, 2017. AMF 增强枳抗旱性作用机制的初步研究 [J]. *菌物研究*, 15(1):8-13.]
- ZHANG GH, ZHANG YJ, CONG RC, et al, 2009. Advances on gibberellins mechanism [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 29(2):412-419. [张国华, 张艳洁, 丛日晨, 等, 2009. 赤霉素作用机制研究进展 [J]. *西北植物学报*, 29(2):412-419.]
- ZOU YN, WANG P, LIU CY, et al, 2017. Mycorrhizal trifoliolate orange has greater root adaptation of morphology and phytohormones in response to drought stress [J]. *Sci Rep*, 7: 41134.
- ZOU YN, WU QS, LI Y, et al, 2014. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on root system morphology and sucrose and glucose contents of *Poncirus trifoliata* [J]. *Chin J Appl Ecol*, 25(4):1125-1129. [邹英宁, 吴强盛, 李艳, 等, 2014. 丛枝菌根真菌对枳根系形态和蔗糖、葡萄糖含量的影响 [J]. *应用生态学报*, 25(4):1125-1129.]