

# 根际低氧对不同抗性猕猴桃幼苗生长和内源激素的影响

米银法<sup>1,2</sup>, 马锋旺<sup>1\*</sup>, 马小卫<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>西北农林科技大学园艺学院, 陕西杨凌 712100; <sup>2</sup>河南科技大学林学院, 河南洛阳 471003)

**摘要:** 采用水培通氮低氧胁迫法, 研究猕猴桃幼苗生长量及叶、根内源激素脱落酸 (ABA)、赤霉素 (GA<sub>3</sub>)、吲哚乙酸 (IAA) 和玉米素核苷 (ZR) 对低氧胁迫的响应。结果表明: 低氧胁迫下猕猴桃幼苗生长受到抑制, 植株鲜、干样质量均低于对照, 美味猕猴桃生长受影响相对较小; 低氧胁迫下美味猕猴桃和中华猕猴桃叶内 ABA 分别较对照增加 289.2% 和 412.9%, 根内 ABA 含量分别增加 188.5% 和 177.4%; 叶内 IAA 含量先升高后下降, 6 d 达峰值时美味猕猴桃和中华猕猴桃分别比对照增加 87.3% 和 61.4%, 根内 IAA 含量变化与叶类似, 4 d 达峰值时分别比对照增加 90.4% 和 59.6%; 叶和根内 GA<sub>3</sub> 和 ZR 含量随胁迫时间延长而降低, 低氧胁迫 8 d 时, 美味猕猴桃和中华猕猴桃幼苗叶内 GA<sub>3</sub> 分别比对照降低 56.5% 和 79.0%; 根内降低 33.1% 和 55.1%, 叶内 ZR 分别对比照降低 70.5% 和 86.1%, 根内降低 46.9% 和 71.3%; 低氧胁迫下, 猕猴桃幼苗根和叶内 IAA/ABA、ZR/ABA、GA<sub>3</sub>/ABA 比值均呈现下降趋势。

**关键词:** 猕猴桃; 幼苗; 低氧胁迫; 内源激素

**中图分类号:** S 663.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2009) 02-0163-08

## Effects of Root-zone Hypoxia Stress on Growth and Endogenous Hormones in Young Kiwifruit Seedlings with Different Resistant Ability

MI Yin-fa<sup>1,2</sup>, MA Feng-wang<sup>1\*</sup>, and MA Xiao-wei<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Horticulture, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China; <sup>2</sup>Forestry College, Henan University of Science and Technology, Luoyang, Henan 471003, China)

**Abstract:** Young kiwifruit seedlings (*Actinidia deliciosa* and *A. chinensis*) were planted in nutrient solutions aerated with nitrogen. Under root-zone hypoxia stress, the growth and response of endogenous hormones abscisic acid (ABA), indole-acetic acid (IAA), zeatin riboside (ZR), gibberellins (GA<sub>3</sub>) in kiwifruit seedlings were studied. The results showed that the fresh and dry weight of seedlings treated under hypoxia were less than those of control. Effects of hypoxia stress on *A. deliciosa* were much slighter than on *A. chinensis*, which made *A. deliciosa* perform a better resistance. The ABA contents in *A. deliciosa*, *A. chinensis* leaves and roots were enhanced obviously, namely raised by 289.2%, 412.9%, 188.5%, 177.4%, respectively. The IAA contents in *A. deliciosa*, *A. chinensis* leaves were raised to the maximum on the 6th day, then reduced but still higher than those of control, namely raised by 87.3%, 61.4%, respectively. Same tendencies happened in the roots of both species, but the peak appeared on the 4th day and differed from that of the leaves. The IAA contents in roots of *A. deliciosa*, *A. chinensis* were increased by 90.4%, 59.6%, respectively. The GA<sub>3</sub> contents in *A. deliciosa*, *A. chinensis* leaves were decreased by 56.5%, 79.0% correspondingly. The ZR contents were decreased by 70.5%, 86.1% correspondingly. The GA<sub>3</sub> contents in *A. deliciosa*, *A. chinensis* in roots were lessened by 33.1%, 55.1% correspondingly. The ZR contents were lessened by 46.9%, 71.3% correspondingly. The ratios of IAA/ABA, ZR/ABA, GA<sub>3</sub>/ABA were also studied and the

收稿日期: 2008-08-06; 修回日期: 2008-12-15

基金项目: 陕西省重大科技创新专项资金项目 (2005zkc 06-01); 西北农林科技大学拔尖人才支持计划项目 (200502)

\* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: fwm64@sina.com)

results of them decreased, which showed that kiwifruit seedlings were obviously inhibited from growing under hypoxia and the resistant ability had an intimate relationship with endogenous hormones

**Key words:** kiwifruit; seedlings; hypoxia stress; endogenous hormones

猕猴桃栽培中往往会遭遇土壤雨涝积水、地下水位过高、土壤质地紧实、土壤微生物或根系呼吸过剩等,降低了植株根际  $O_2$  浓度,影响正常的生理代谢及生长发育。研究表明,植物对低氧逆境的适应能力与激素变化密切相关。如杨树受渍水胁迫时,体内 ABA 和乙烯水平升高,ZR 降低,代谢调节后 ABA 和乙烯逐渐下降,而 ZR 含量逐渐上升(徐锡增等,1999)。水涝胁迫下银杏叶  $GA_3$ 、IAA 和 ZR 含量明显降低,而 ABA 含量增加(何嵩涛等,2006)。玉米和烟草经外源 ABA 溶液浸根后,植株内源 ABA 含量增加,提高了根的水透性,促进根系吸水,叶片不萎蔫,显著增强了植株抗低氧胁迫的能力(高洪波,2005)。番茄在低氧胁迫下,植株由于供氧不足引起  $GA$  含量降低生长受抑制,叶面喷洒  $GA$  后可显著促进植株生长(Reid et al, 1969)。植物经短时间低氧处理后,内源乙烯和 ABA 含量增加,地上部 IAA 积累,促进茎的徒长和基部膨大,但长期低氧 IAA 大量积累,造成植株生长缓慢(余叔文和汤章城,1998)。根际低氧还明显降低根内  $GA$  和 CTK 的合成,抑制其向茎叶运输,茎叶细胞分裂素含量降低,引起叶片褪绿,光合速率降低(Burows & Carr, 1969)。植物感受逆境的信号物质主要是 ABA 类激素,其主要作用是抑制生长(段成国等,2004)。迄今为止有关低氧胁迫对猕猴桃植株生长和内源激素影响的研究还未见报道。本试验从内源激素变化的角度,研究低氧胁迫下两种不同抗性猕猴桃的响应机制和适应机理,以便弄清低氧胁迫下猕猴桃内源激素的变化和种间抗性差异的内在联系,为合理选育耐涝砧木品种和猕猴桃栽培提供理论依据与指导。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材 料

美味猕猴桃 (*Actinidia deliciosa*) ‘秦美’和中华猕猴桃 (*A. chinensis*) ‘红阳’实生苗。种子采自陕西眉县猕猴桃生产基地。前期用水培通氮低氧胁迫的方法,对两种猕猴桃幼苗耐低氧能力进行了筛选试验,分析了低氧处理对植株鲜(干)样质量、根系鲜(干)样质量、根长、根活力、叶生长量、叶绿素含量等生理指标的影响,综合评价了两种猕猴桃幼苗的耐低氧能力。

### 1.2 试验方法

试验于 2006—2008 年在西北农林科技大学进行。种子发芽后于营养钵内育苗,正常管理并浇 1/2 倍 Hoagland 营养液。6 片真叶时选生长一致健壮幼苗,定植于装有 1/2 倍 Hoagland 营养液 (pH 值 5.5~6.5) 的水池中室内水培,每个水池规格为 721 mm × 515 mm × 210 mm。采用泡沫板打孔法固定植株,孔间距为 12 cm × 10 cm,每个泡沫板共 30 个孔,均匀定植 30 株后。泡沫板另打 6 个孔用于插通气管、溶氧仪和 pH 仪探头。水培室内保持 14 h 光照,强度为 8 000~9 000 lx。昼温 20~25℃,夜温 15~20℃。每处理 150 株,待缓苗后预培养 3 d,于 2007 年 7 月 9 日上午 9:00 开始进行。用溶氧调节仪(华东理工大学 FC680 型)控制营养液溶氧浓度 (DO) 在 0.9~1.1 mg · L<sup>-1</sup> (低氧胁迫) 之间(康云艳和郭世荣,2006),对照用气泵正常通气 (30 min · h<sup>-1</sup>),维持营养液 DO 值为 8.0~8.5 mg · L<sup>-1</sup> (对照),处理 8 d。每 3 d 换 1 次营养液。为保证通气均匀度,通气橡皮管末段堵上透气沙球,每池 4 个均匀放置。每种猕猴桃均设置对照和处理,各设 3 次重复。于处理当天 (0)、2、4、6、8 d 上午 9:00 取样,用于激素测定。

2007 年 7 月 17 日,每个重复随机取样 10 株,用分析天平称量根系、整株鲜样质量。之后鲜样经 105℃ 杀青,70℃ 下烘干,测定植株根冠比 [ $根冠 = 根干样质量 / (整株干样质量 - 根干样质量)$ ]。选取近生长点的幼嫩叶片及新鲜根系后迅速用液氮固定,保存于超低温冰箱中备用。采用酶联免

疫法 (ELISA) 测定样品中脱落酸 (ABA)、赤霉素 ( $GA_3$ )、生长素 (IAA) 和玉米素 (ZR) 含量 (苏华等, 2007), 试剂盒购自中国农业大学农学与生物技术学院。

用 SAS 软件进行单因素方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 根际低氧胁迫对两种猕猴桃幼苗生长量的影响

试验表明, 秦美实生苗耐低氧能力较强, 而红阳实生苗对低氧胁迫比较敏感。

由表 1 可知, 根际低氧胁迫抑制了两种猕猴桃幼苗生长。胁迫处理 8 d 后, 美味猕猴桃幼苗鲜、干样质量较对照分别降低 15% 和 16%; 中华猕猴桃降低 38% 和 55%。两种猕猴桃根系生长差异更明显, 美味猕猴桃根系鲜、干样质量比对照分别增加 53% 和 55%; 而中华猕猴桃比对照分别下降 30% 和 45%。美味猕猴桃、中华猕猴桃根冠分别比对照增加 111% 和 25%。可见根际低氧胁迫抑制了地上部分生长, 耐性较强的猕猴桃地下根系生长量增加, 耐性较弱的中华猕猴桃根系生长量降低。

表 1 根际低氧胁迫对两种猕猴桃幼苗植株和根鲜、干样质量的影响

Table 1 Effect of root-zone hypoxia stress on fresh and dry weight in two young kiwifruit species seedlings and roots

材料 Species	处理 Treatment	整株鲜样质量 /g Fresh weight of plant	整株干样质量 /g Dry weight of plant (P)	根鲜样质量 /g Fresh weight of root	根干样质量 /g Dry weight of root (R)	根冠 R / (P - R)
美味猕猴桃 <i>A. deliciosa</i>	对照 Control	5.165 ± 0.012	0.695 ± 0.005	1.315 ± 0.002	0.093 ± 0.001	0.155
	低氧 Hypoxia	4.383 ± 0.002	0.585 ± 0.004	2.016 ± 0.007	0.144 ± 0.002	0.327
	低氧/对照 Hypoxia/control	0.85	0.84	1.53**	1.55**	2.11**
中华猕猴桃 <i>A. chinensis</i>	对照 Control	5.055 ± 0.009	0.563 ± 0.013	1.035 ± 0.003	0.065 ± 0.001	0.131
	低氧 Hypoxia	3.152 ± 0.013	0.255 ± 0.008	0.728 ± 0.002	0.036 ± 0.001	0.164
	低氧/对照 Hypoxia/control	0.62**	0.45**	0.70**	0.55**	1.25**

\*\*  $P < 0.01$ .

### 2.2 根际低氧胁迫下猕猴桃幼苗叶和根内源 ABA 含量的变化

图 1 表明, 耐低氧能力较强的美味猕猴桃和耐性较弱的中华猕猴桃幼苗叶和根内 ABA 含量随低氧胁迫时间的延长而增加, 胁迫 8 d, 叶内含量分别比对照增加 289.2% 和 412.9%; 根内含量增加 188.5% 和 177.4%。叶内源 ABA 含量增加幅度显著大于根内源 ABA 含量增加幅度。

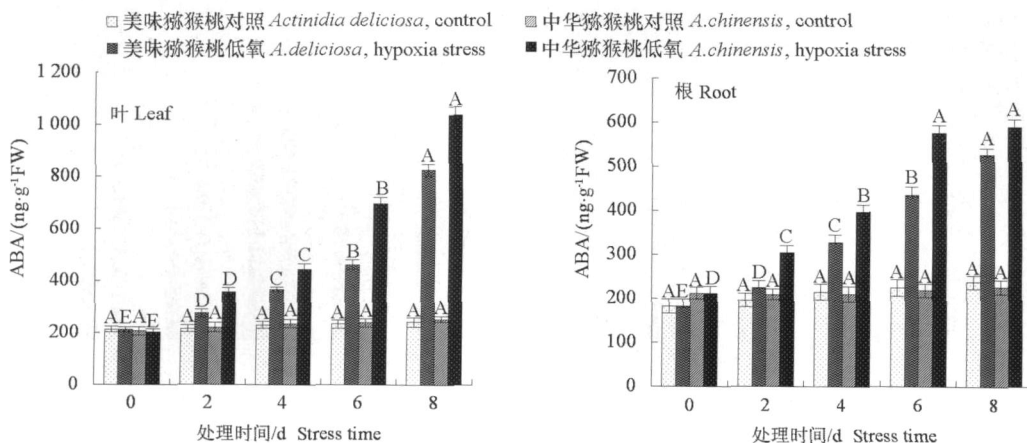


图 1 根际低氧胁迫下猕猴桃幼苗叶、根内源 ABA 含量的变化

不同字母表示同一处理在不同天数间  $P < 0.01$  水平上差异显著, 下同。

Fig 1 Changes of ABA content in leaves and roots in young kiwifruit seedlings under root-zone hypoxia stress

Different letter indicates significant difference between the same treatments in different days ( $P < 0.01$ ). The same below.

### 2.3 根际低氧胁迫下猕猴桃幼苗叶和根内源 GA<sub>3</sub>含量的变化

与 ABA 变化不同，两种猕猴桃叶内 GA<sub>3</sub>含量随胁迫时间的延长而降低（图 2）。美味猕猴桃和中华猕猴桃叶内 GA<sub>3</sub>含量分别比对照降低 56.5%和 79.0%；根内 GA<sub>3</sub>含量在胁迫前 2 d 略微增加，而后降低，美味猕猴桃、中华猕猴桃分别比对照降低 33.06%和 55.1%。这与根际低氧下番茄叶内 GA<sub>3</sub>含量降低结论（Reid et al, 1969）一致。可见植物供氧不足会抑制内源 GA<sub>3</sub>的合成，造成植株生长受抑。

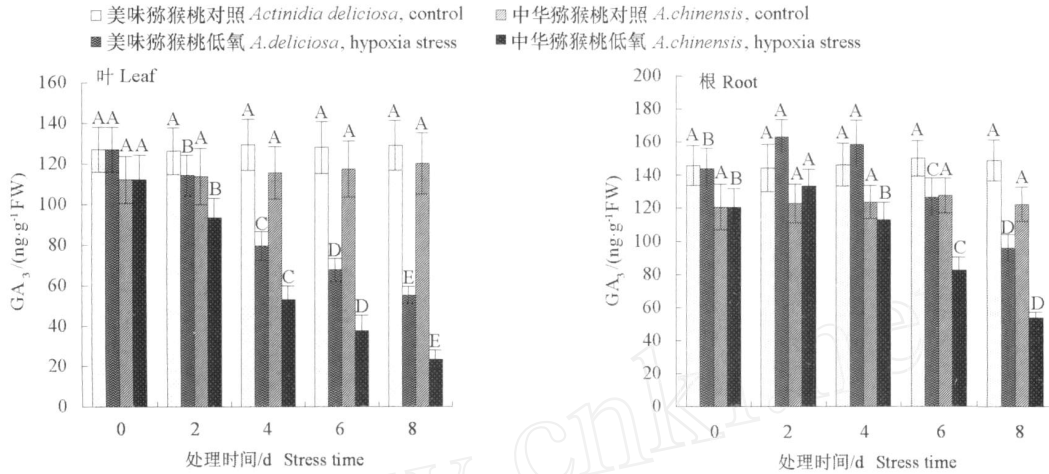


图 2 根际低氧胁迫下猕猴桃幼苗叶、根内源 GA<sub>3</sub>含量的变化

Fig. 2 Changes of GA<sub>3</sub> content in leaves and roots in young kiwifruit seedlings under root-zone hypoxia stress

### 2.4 根际低氧胁迫下猕猴桃幼苗叶和根内源 IAA 含量的变化

图 3 表明，美味猕猴桃和中华猕猴桃叶 IAA 含量在胁迫 6 d 时达到高峰，随后下降，但仍高于对照，8 d 时仍比对照高 51.4%和 28.8%；猕猴桃根 IAA 含量变化趋势与叶基本相同，峰值出现在胁迫 4 d 时，分别比对照增加 90.4%和 59.6%。8 d 时美味猕猴桃比对照高 43.1%，而中华猕猴桃比对照降低 16.2%。这表明猕猴桃根系忍耐低氧能力有明显的种间差异。

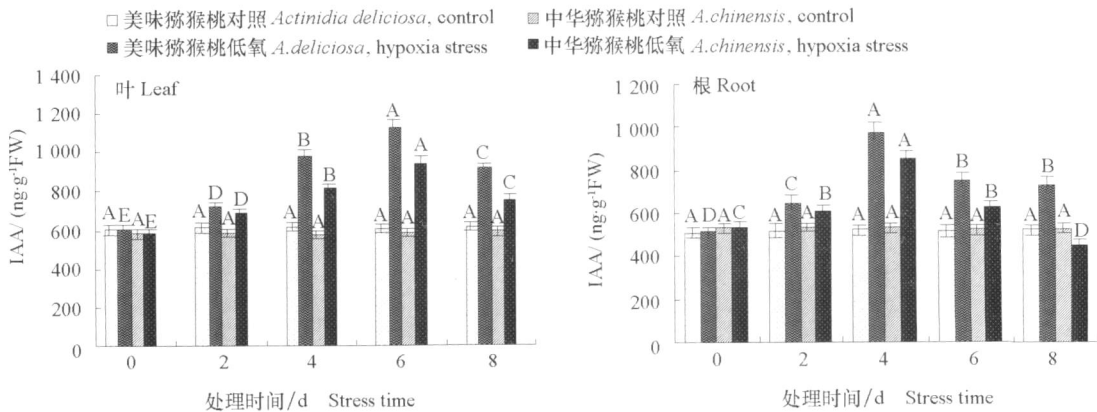


图 3 根际低氧胁迫下猕猴桃幼苗叶、根内源 IAA 含量的变化

Fig. 3 Changes of IAA content of leaves and roots in young kiwifruit seedlings under root-zone hypoxia stress

### 2.5 根际低氧胁迫下猕猴桃幼苗叶和根内源 ZR 含量的变化

图 4 表明，美味猕猴桃和中华猕猴桃根际低氧随胁迫时间的延长，叶和根内源 ZR 含量明显降低，叶内 ZR 含量分别比对照下降 70.5%和 86.1%，根内 ZR 含量下降 46.9%和 71.3%。

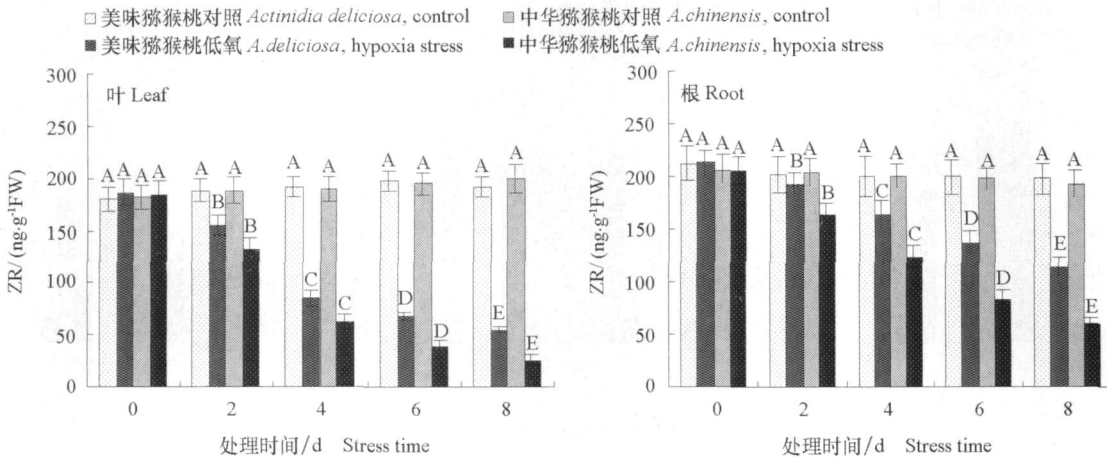


图 4 根际低氧胁迫下猕猴桃幼苗叶、根内源 ZR 含量的变化

Fig. 4 Changes of ZR content of leaf and root in young kiwifruit seedlings under root-zone hypoxia stress

## 2.6 根际低氧胁迫下猕猴桃幼苗内源激素间的相互关系

图 5 表明，低氧胁迫下猕猴桃叶内 IAA/ABA 随胁迫时间的延长呈下降趋势，中华猕猴桃变化幅度更显著。低氧胁迫 8 d 时美味猕猴桃幼苗叶内 IAA/ABA 为 1.11，比对照值 (2.86) 降低 61.2%；中华猕猴桃为 0.72，比对照值 (2.88) 降低 75.0%。美味猕猴桃根内 IAA/ABA 前 4 d 一直保持在 2.80 左右，4 d 后迅速下降，8 d 时为 1.40，比对照值 (2.82) 降低 50.4%；而中华猕猴桃一直降低，8 d 时为 0.76，比对照值 (2.53) 降低 70.0%。可见在良好条件下，猕猴桃体内 IAA/ABA 一般维持在 2.80 左右。

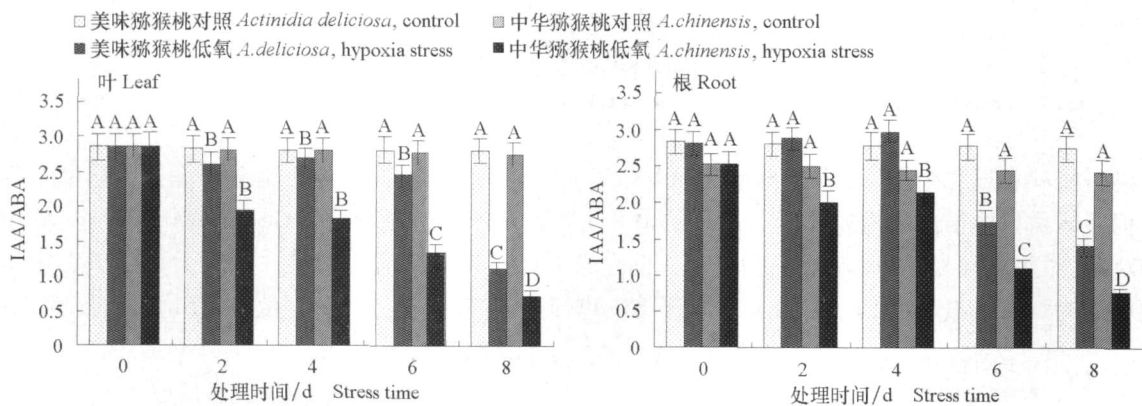


图 5 根际低氧胁迫下猕猴桃幼苗叶、根内源 IAA/ABA 比值的变化

Fig. 5 Changes of IAA/ABA ratio of leaves and roots in young kiwifruit seedlings under root-zone hypoxia stress

猕猴桃幼苗叶和根内  $GA_3$ /ABA (图 6)、ZR/ABA (图 7) 变化类似，都随胁迫时间的延长降低，但不同的是根内比值均比叶内对应比值大。低氧胁迫 8 d 时，美味猕猴桃幼苗叶内  $GA_3$ /ABA 为 0.067，比对照值 (0.599) 降低 88.8%，中华猕猴桃为 0.023，比对照值 (0.555) 降低 95.9%；美味猕猴桃叶内 ZR/ABA 为 0.067，比对照值 (0.878) 降低了 92.40%，中华猕猴桃为 0.025，比对照值 (0.907) 降低了 97.2%；美味猕猴桃根内  $GA_3$ /ABA 为 0.183，比对照值 (0.79) 降低 76.8%；中华猕猴桃为 0.092，比对照值 (0.559) 降低 83.5%；美味猕猴桃根内 ZR/ABA 为 0.216，比对照值 (1.172) 降低了 81.6%，中华猕猴桃为 0.101，比对照值 (0.974) 降低了 89.6%。

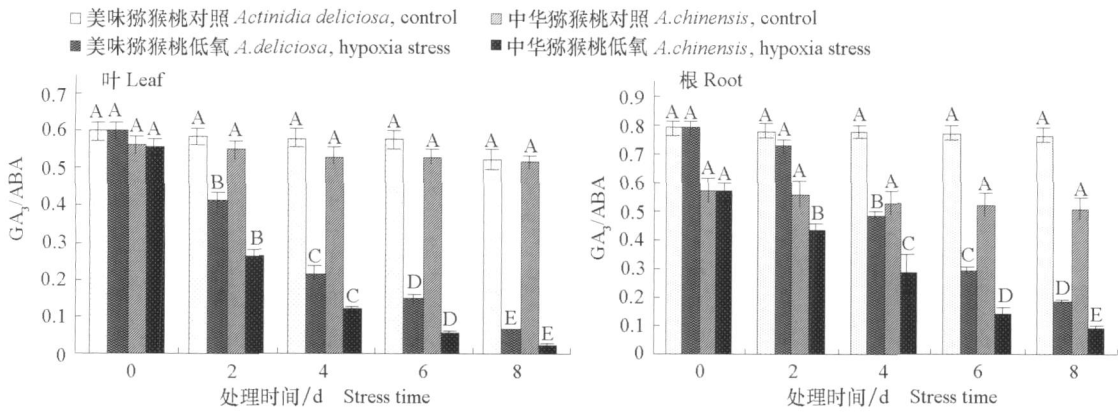


图 6 根际低氧胁迫下猕猴桃幼苗叶、根内源  $GA_3/ABA$  比值的变化

Fig. 6 Changes of  $GA_3/ABA$  ratio of leaves and roots in young kiwifruit seedlings under root-zone hypoxia stress

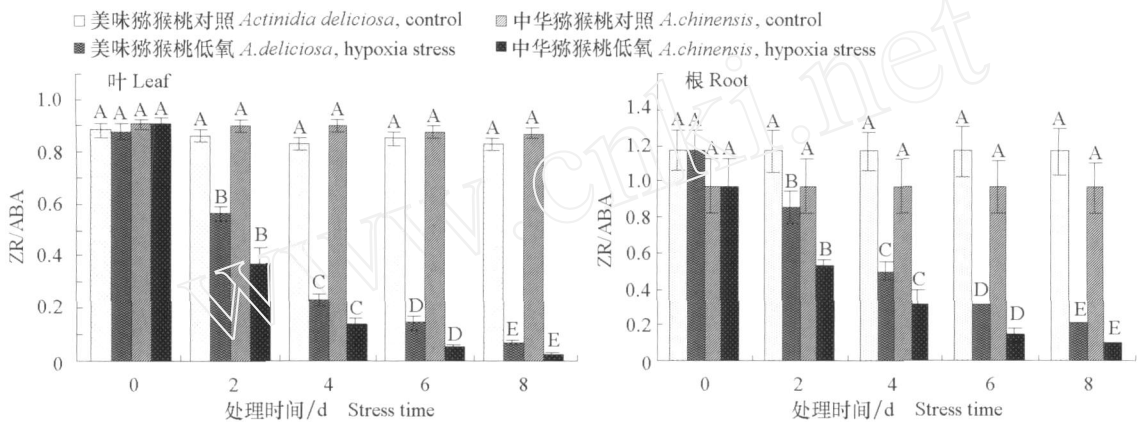


图 7 根际低氧胁迫下猕猴桃幼苗叶、根内源  $ZR/ABA$  比值的变化

Fig. 7 Changes of  $ZR/ABA$  ratio of leaves and roots in young kiwifruit seedlings under root-zone hypoxia stress

猕猴桃叶和根总生长型激素 ( $GA_3 + IAA + ZR$ ) 与抑制型激素 ABA 的比值 (图 8) 均呈下降趋势, 但美味猕猴桃根内下降较缓慢。低氧胁迫 8 d 时, 美味猕猴桃叶内 ( $GA_3 + IAA + ZR$ ) / ABA 为 1.207, 比对照值 (3.991) 降低了 69.8%, 根内为 1.68, 比对照值 (4.27) 降低了 60.6%; 中华猕猴桃叶内为 0.80, 比对照值 (4.71) 降低了 83.0%; 根内为 1.06, 比对照值 (4.51) 降低 76.5%。

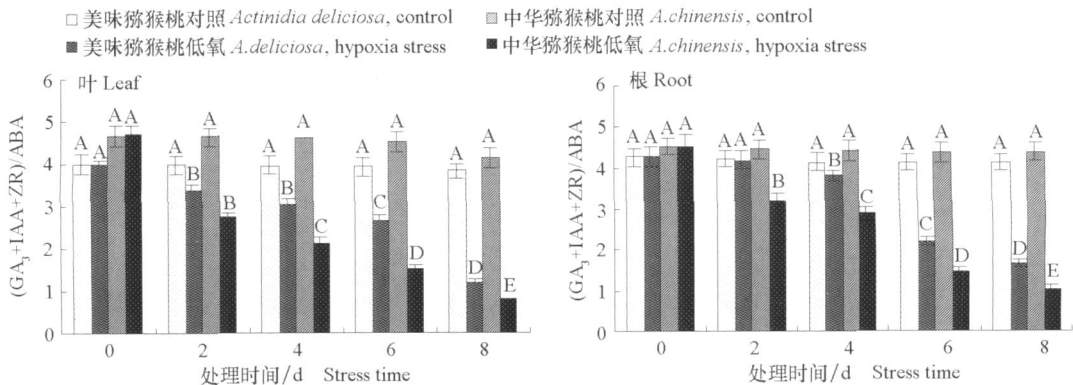


图 8 根际低氧胁迫下猕猴桃幼苗叶、根内源 ( $GA_3 + IAA + ZR$ ) / ABA 比值的变化

Fig. 8 Changes of ( $GA_3 + IAA + ZR$ ) / ABA ratio of leaves and roots in young kiwifruit seedlings under root-zone hypoxia stress

### 3 讨论

低氧胁迫下猕猴桃生长受抑, 主要是由于体内激素间的失衡引起的。本研究表明, 根际低氧显著增加了猕猴桃幼苗内源 ABA 含量, 叶内过高的 ABA 含量抑制了地上部的生长, 降低了其生长量, 提高了根冠比。低氧胁迫对地上生长的抑制可能是由于高浓度的 ABA 削弱了叶片的光合效率引起的。一方面, ABA 大量积累引起气孔关闭, 阻碍了叶对氧气和二氧化碳的吸收, 抑制了叶内  $\text{CO}_2$  通过气孔进入叶组织扩散的进程, 影响了光合暗反应  $\text{C}_5$  向  $\text{C}_3$  产物的转化 (Hum et al, 1994)。另外, ABA 含量的增加打破了植物激素原有的平衡, 降低了细胞分裂素, 抑制了叶细胞周期  $G_1$  阶段的分裂和膨胀, 导致叶片面积减小, 气孔导度降低 (Chapin et al, 1993), 叶片生长受到限制, 光合碳同化产物需求减少, 最终阻碍地上生长 (Nagel et al, 1994)。但 ABA 含量增加能提高根的透水性, 促进吸水 and 提高根系溢泌速率 (Hwang & van Toai, 1991), 植物的抗逆能力提高。根内 ABA 含量增加还可促使蛋白质合成 (Hum et al, 1994), 增加根部有机物质的含量, 提高根冠比。

本试验中, 低氧下猕猴桃幼苗叶 IA 含量增加; 根内 IA 含量低于相应叶内, 证实了余叔文和汤章城 (1998) 的观点: 短时间低氧下乙烯和 ABA 增加, 能抑制地上部 IA 向根部运输, IA 运输长期受抑, 大量积累造成地上部生长缓慢。本试验中, 低氧处理下猕猴桃叶和根内 GA 和 ZR 含量降低; 叶内 GA 和 ZR 含量明显低于相应根内的含量。因为低氧显著抑制了根系 GA 和 ZR 的合成和向茎叶的运输, 导致茎叶 GA 和 ZR 含量降低, 叶片褪绿, 光合降低 (时明芝和周保松, 2006)。

渍水胁迫下的杨树体内 ZR 含量先是降低, 经一段时间代谢调节后, 大量新根形成, ZR 含量又逐渐上升, 与环境重新建立平衡 (徐锡增等, 1999)。但本试验表明, 猕猴桃幼苗随根际低氧胁迫时间的延长, 叶和根内源 ZR 含量明显降低。可见猕猴桃属不耐根际低氧植物, 胁迫严重时体内激素很难再建新的平衡。这种差异除因物种间的不同外, 还可能与猕猴桃属肉质根, 呼吸作用强, 需氧量, 其主根少, 侧根不发达, 低氧胁迫对根伤害较重的自身特性有关。

激素间的生理效应既相互促进又相互拮抗, 因此激素间的平衡对植物生长发育有重要的调节作用 (李宗霆和周燮, 1996; 唐定台等, 1996)。内源 IA、ZR 和  $\text{GA}_3$  能促进植物生长, 延缓衰老, 而 ABA 则促进植物衰老 (王绍辉和张福墀, 2004), 其比值的高低对植物的生长、发育和衰老过程起着重要的调节作用 (欧阳琳等, 2007)。本试验表明, 低氧胁迫下, 耐性较强的美味猕猴桃比耐性较弱的中华猕猴桃有较高的 IA/ABA、ZR/ABA、 $\text{GA}_3$ /ABA 比值。较高的比值有利于植物生长, 延缓衰老, 提高抗逆性 (张建农和李计红, 2007)。根际低氧下, 美味猕猴桃的根系生长得到促进, 中华猕猴桃根系的生长受到抑制。这种种间差异可能与猕猴桃属植物的遗传多样性有关。同工酶遗传学证据表明, 美味猕猴桃属异源六倍体植物, 有 174 条染色体, 而中华猕猴桃属同源四倍体植物, 有 116 条染色体 (黄宏文等, 2000)。异源多倍体在进化上比同源多倍体优越, 通常具有更强的适应能力 (邢少辰等, 2001)。可见美味猕猴桃较中华猕猴桃遗传基础更为丰富, 这可能也是低氧胁迫下两种猕猴桃耐性差异的原因, 今后还需从分子生物学的角度作进一步探讨。

### References

- Burows W J, Carr D J. 1969. The effect of flooding the root system of sunflower plant on cytokinin in the xylem sap. *Physiol Plant*, 22: 1105 - 1112.
- Chapin F S, Autumn K, Pugnaire F. 1993. Evolution of suites of traits in response to environmental stress. *Am Nat*, 142: 578 - 592.
- Duan Cheng-guo, Li Xian-li, Gao Dong-sheng, Liu Huan-fang, Li Meng. 2004. Studies on regulations of endogenous ABA and  $\text{GA}_3$  in sweet cherry flower buds on dormancy. *Acta Horticulturae Sinica*, 31 (2): 149 - 154. (in Chinese)
- 段成国, 李宪利, 高东升, 刘焕芳, 李萌. 2004. 内源 ABA 和  $\text{GA}_3$  对欧洲甜樱花芽自然休眠的调控. *园艺学报*, 31 (2): 149 - 154.

- Gao Hong-ba. 2005. Effect of root-zone hypoxia stress on physiological metabolism in muskmelon seedlings and  $Ca^{2+}$ , GABA physiological regulation function [Ph. D. Dissertation]. Nanjing: Nanjing Agricultural University. (in Chinese)
- 高洪波. 2005. 根际低氧胁迫下网纹甜瓜幼苗生理代谢的特征及  $Ca^{2+}$ , GABA生理调节功能 [博士论文]. 南京: 南京农业大学.
- He Song-tao, Liu Guo-qin, Fan Wei-gua. 2006. Effect of flooding stress on hormones and cell solute in ginkgo. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 34 (7): 1292 - 1294. (in Chinese)
- 何嵩涛, 刘国琴, 樊卫国. 2006. 水涝胁迫对银杏内源激素和细胞溶质含量的影响. *安徽农业科学*, 34 (7): 1292 - 294.
- Hum W P, Lur H S, Liao K K. 1994. Role of abscisic acid, ethylene and polyamines in flooding promoted senescence of tobacco leaves. *Plant Physiol*, 143: 102 - 105.
- Hung Hong-wen, Gong Jun-jie, Wang Sheng-mei, He Zi-can, Zhang Zhong-hui, Li Jian-qiang. 2000. Genetic diversity in the genus *Actinidia*. *Chinese Biodiversity*, 8 (1): 1 - 12. (in Chinese)
- 黄宏文, 龚俊杰, 王圣梅, 何子灿, 张忠慧, 李建强. 2000. 猕猴桃属 (*Actinidia*) 植物的遗传多样性. *生物多样性*, 8 (1): 1 - 12.
- Hwang S Y, van Toai T T. 1991. Abscisic acid induces anaerobiosis tolerance in corn. *Plant Physiol*, 97: 593 - 597.
- Kang Yun-yan, Guo Shi-rong. 2006. Effects of 24-epibrassinolide on antioxidant system and anaerobic respiratory enzyme activities in cucumber roots under hypoxia stress. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*, 32 (5): 535 - 542. (in Chinese)
- 康云艳, 郭世荣. 2006. 24-表油菜素内酯对低氧胁迫下黄瓜根系抗氧化系统及无氧呼吸酶活性影响. *植物生理与分子生物学报*, 32 (5): 535 - 542.
- Li Zong-ting, Zhou Xie. 1996. *Phytohormone and immunity technology*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press: 52 - 102. (in Chinese)
- 李宗霆, 周 燮. 1996. 植物激素及免疫检测技术. 南京: 江苏科学技术出版社: 52 - 102.
- Nagel O W, Konings H, Lambers H. 1994. Growth rate, plant development and water relations of the ABA-deficient tomato mutant sitiens. *Physiol Plant*, 92: 102 - 108.
- Ouyang Lin, Hong Ya-hui, Huang Li-hua, Wang Ruo-zhong, Xiao Lang-tao. 2007. On changes of physiology and biochemistry and plant hormones in super rice seedlings by different stress signalings. *Research of Agricultural Modernization*, 28 (1): 104 - 06. (in Chinese)
- 欧阳琳, 洪亚辉, 黄丽华, 王若仲, 肖浪涛. 2007. 不同逆境胁迫信号对超级稻幼苗生理生化影响及植物激素变化的初步研究. *农业现代化研究*, 28 (1): 104 - 106.
- Reid D M, Crozier A, Harvey B M. 1969. The effects of flooding on the export of gibberellin from the root to the shoot. *Planta*, 89: 376 - 379.
- Shi Ming-zhi, Zhou Bao-song. 2006. Research advance in physiological damage of flood and water-logging resistance. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 34 (2): 209 - 210. (in Chinese)
- 时明芝, 周保松. 2006. 植物涝害和耐涝机理研究进展. *安徽农业科学*, 34 (2): 209 - 210.
- Su Hua, Xu Kun, Liu Wei. 2007. Changes of endogenous hormones during the process of flower bud differentiation of welsh onion. *Acta Horticulturae Sinica*, 34 (3): 671 - 676. (in Chinese)
- 苏 华, 徐 坤, 刘 伟. 2007. 大葱花芽分化过程中内源激素的变化. *园艺学报*, 34 (3): 671 - 676.
- Tang Ding-tai, Xu Min-xin, Feng Yong-hong. 1996. *In vitro* flowering from explants in *Dianthus chinensis* L. and factors influenced flower formation. *Acta Horticulturae Sinica*, 23 (3): 277 - 280. (in Chinese)
- 唐定台, 徐民新, 冯永红. 1996. 石竹试管花的诱导及其影响因子的研究. *园艺学报*, 23 (3): 277 - 280.
- Wang Shao-hui, Zhang Fu-man. 2004. Effect of water treatments on ABA and polyamine content of cucumber growing in solar greenhouse. *Acta Ecologica Sinica*, 12: 2848 - 2852. (in Chinese)
- 王绍辉, 张福曼. 2004. 不同水分处理对日光温室黄瓜多胺与激素的影响. *生态学报*, 12: 2848 - 2852.
- Xing Shao-chen, Cai Yu-hong, Zhou Kai-da. 2001. New study on plants multiploid. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 26 (3): 12 - 15. (in Chinese)
- 邢少辰, 蔡玉红, 周开达. 2001. 植物多倍体研究的新进展. *吉林农业科学*, 26 (3): 12 - 15.
- Xu Xi-zeng, Tang Luo-zhong, Cheng Shu-wan. 1999. A study on hormones and other physiological effects of polar clones under flooding stress. *Journal of Nanjing Forestry University: Natural Sciences Edition*, 23 (1): 1 - 5. (in Chinese)
- 徐锡增, 唐罗忠, 程淑婉. 1999. 涝渍胁迫下杨树内源激素及其他生理反应. *南京林业大学学报: 自然科学版*, 23 (1): 1 - 5.
- Yu Shu-wen, Tang Zhang-cheng. 1998. *Plant physiology and molecular biology. The second version*. Beijing: Science Press: 739 - 751. (in Chinese)
- 余叔文, 汤章城. 1998. 植物生理与分子生物学. 第2版. 北京: 科学出版社: 739 - 751.
- Zhang Jian-nong, Li Ji-hong. 2007. Changes and analysis of hormones and polyamines in different sexual flower buds of melons. *Acta Horticulturae Sinica*, 34 (5): 1195 - 1200. (in Chinese)
- 张建农, 李计红. 2007. 甜瓜不同性别花蕾发育中激素和多胺的变化. *园艺学报*, 34 (5): 1195 - 1200.