

ABA、IAA 对旱作水稻叶片气孔的调节作用

范晓荣, 沈其荣

(南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095)

摘要: 采用土培方法研究了淹水和旱作条件下的水稻体内 ABA 和 IAA 对水稻叶片气孔行为的动态变化。SAS 分析表明,在淹水条件下,水稻叶气孔阻抗主要是与相对湿度、IAA 含量和叶片温度显著相关。偏回归分析结果表明,影响淹水条件下水稻叶气孔阻抗的主要因素为相对湿度和 IAA 含量,回归系数分别为 0.027 和 0.00016,而旱作条件下水稻叶气孔阻抗则主要是由温度、IAA 和 ABA 决定,回归系数分别为 0.0745、0.0003 和 -0.0009。利用外源不同 IAA、ABA 比例的混合液处理水稻叶片,发现其对水稻叶片的气孔开闭具有有效的调控作用,从而有效地提高水稻叶片的光合作用。

关键词: 水稻; 旱作; 气孔; 脱落酸; 吲哚乙酸

S511 A

Effects of ABA and IAA on the Behavior of Stomata of Rice Crop Cultivated in Aerobic Soil Condition

FAN Xiao-rong, SHEN Qi-rong

(College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095)

Abstract: Previous results showed that almost the same grain yield of rice could be obtained in aerobic cultivation as in waterlogged only if the practice of water and nutrient was properly made and more than 100% of water could be saved in aerobic cultivation of rice compared with in waterlogged. Rice cultivation, thus, in aerobic soil condition is becoming a very effective and practicable way in water saving agriculture. Pot experiments were carried out to study the effects of ABA and IAA on the behavior of stomata of rice crop cultivated both in aerobic and waterlogged soil conditions. The results obtained were as follows. The stomata resistance (SR) to gas conduction of rice cultivated in waterlogged soil was remarkably related to relative-humidity (RH), IAA and temperature. And from the regression analysis the main factors affecting SR in leaves of rice grown in waterlogged condition were RH and IAA with the regression coefficient of 0.027 and 0.00016, respectively, while SR in leaves of rice grown in aerobic soil was mainly affected by temperature (T), IAA and ABA with regression coefficient of 0.0745, 0.0003 and -0.0009, respectively. Treated with the cocktails of ABA and IAA in different ratios, the stoma was co-controlled by these two hormones, thus improving the photosynthesis of rice crop.

Key words: Rice; Aerobic soil; Stoma; ABA; IAA

ABA 是近年来研究报道最多的逆境信号物质。很多研究表明,在干旱条件下 ABA 在植物根系合成,经导管向上运输到叶片,然后再作用于气孔细胞,导致其关闭^[1-3]。由于根系中的 ABA 浓度与根系周围土壤含水量显著相关,因此木质部伤流液中

的 ABA 浓度与土壤含水量亦显著相关,而叶片气孔导度与木质部中伤流液中的 ABA 浓度显著相关。所以,人们认为 ABA 是水分胁迫下地下部与地上部的信号传递的使者。但是另一些试验发现,某些条件下尽管木质部伤流液中 ABA 浓度增加了,而气孔

收稿日期:2003-2-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30070446)

作者简介:范晓荣(1976-),女,辽宁鞍山人,博士研究生,主要从事水稻旱作生理和水稻电生理研究。沈其荣为通讯作者,Tel: 025-4395212; Fax:

025-4395212; E-mail: qshen@njau.edu.cn

导度并没有下降^[4~6],可能存在很多因素调节着气孔开闭运动。有关水稻气孔开关行为的研究报道很少,因为水稻一般是在淹水条件下种植的。但是水稻旱作后同样面临着土壤水分调控问题。水稻旱作后其体内的激素是怎样变化?其体内和外源激素又是如何调节气孔运动的?笔者针对旱作水稻光合作用与气孔运动的全日变化规律进行研究,并讨论激素 ABA、IAA 对气孔运动的调节机理。

1 材料与方 法

1.1 供试品种及处理

选用常规稻武育梗(Wyj)。将其种子用江苏省农业科学院遗传生理研究所生产的壮秧灵浸种 24 h,催芽露白后直播,用 0.5 m×0.4 m×0.2 m 的周转箱培育。加入底施每公斤土纯氮 0.1 g、磷 0.2 g、钾 0.26 g(施以尿素与磷酸二氢钾)的土壤,土层深为 14 cm。苗期水分控制在田间持水量的 75%~85%(张力计,中国科学院南京土壤研究所设计生产)。于水稻三叶期进行淹水、旱作(田间持水量为 70%~80%)2 个处理,各 3 个重复。当水稻长至四叶期时(淹水和旱作处理后第七天),选择连续 2 个晴天进行全天采样(分别于 2001 年 5 月 28 日,5 月 29 日)。从 8:00~16:00 为止,每隔 1 h 采样 1 次,共采样 10 次。用光合测定仪测定水旱作第二片完全展开叶中段净光合速率、蒸腾效率、水分利用率和气孔阻抗等 4 个生理指标,并同时测定当时外界环境的二氧化碳浓度、相对湿度、温度和光照强度,另采第二片完全展开叶中段用作供外源激素处理,分别在光线暗条件下:光合有效辐射 400 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 进行外源 IAA 处理和外源 IAA 与 ABA 不同浓度组合的处理;光线强条件下:光合有效辐射 800 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 进行外源 ABA 处理,然后分析不同处理的气孔开闭度变化。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 光合作用的测定 用美国 CID 光合作用仪于晴天 8:00~16:00 测定 PAR(光合有效辐射, $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)、Pn(光合速率, $\text{mgCO}_2\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$)、Tr(蒸腾速率, $\text{mg H}_2\text{O}\cdot\text{dm}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$)、WUE(水分利用率, $\text{mg CO}_2\cdot 100\text{ mg}^{-1}\text{ H}_2\text{O}$)、SR(气孔阻抗, $\text{s}\cdot\text{cm}^{-1}$)、RH(相对湿度,%)等。每次随机测定水、旱作处理各 6 个植株的第二片完全展开叶中段(每测定 1 个植株叶片需耗时 1 min 左右),取平均值。

1.2.2 气孔孔径的测定 采用杨建昌等^[7]的硅胶法,即将 Xantopren 低黏度硅胶与硅胶增硬剂(日本

产),按 10:1 均匀快速混匀,涂于新鲜第二片完全展开叶约 3 cm 长的中段,2~3 min 后变硬,取下涂指甲油做副本,用显微镜显微刻度准确地测量和记录气孔孔径大小,每个视野观察记录 10 个保卫细胞的长度,每处理叶片观察 30~40 个视野,取平均值。

1.2.3 ABA 和 IAA 含量的测定 随机采第二片完全展开叶中段 5 g,水作、旱作处理各 9 个样品(3 处理重复×3 样品重复),分析后取平均值。用 HPLC 法测定,其方法在陈昆松等^[8]和付蕾等^[9]方法的基础上有所改进。将研钵和 80% 的甲醇放在冰块上冷冻 5~10 min,然后将样品从液氮中取出放进研钵中加入 3 ml 甲醇,研成糊状倒入离心管中,再用 1 ml 甲醇洗 2 次研钵并入离心管中,4℃ 浸提 15 h,离心(15 min、4℃、10 000r/min)。将离心后的上清液放入真空泵中减压至水相,温度控制在 40℃ 左右,水相用石油醚 2:1 分配 3 次,弃去石油醚相,将弃去石油醚后的水相用 0.1 mol·L⁻¹ 的 NaOH 调至 pH 8.0,加水不溶聚乙烯吡咯烷酮(PVPP)净化(每 10 ml 约加 PVPP 0.1 g),抽滤 3 次以去掉 PVPP。用 0.5 mol·L⁻¹ 的柠檬酸调至 pH 3.0,以 1:1 的比例加乙酸乙酯,萃取 3 次,合并乙酸乙酯相。将乙酸乙酯相放入真空泵中减压浓缩至干,温度控制在 40~43℃ 之间,然后每个样品加入 0.5 ml 的甲醇和 pH 3.5 的 3.5 ml 醋酸缓冲液以溶解残留物。样品用微孔膜过滤后,过 C18 色谱预处理柱,收集 40% 的乙腈洗脱液(1 ml)并放入真空泵中减压浓缩至干,温度控制在 40~43℃ 之间,用醋酸缓冲液(pH 3.0)与乙腈(色谱纯,进口)以 3:1 比例配成溶液对干燥样品进行溶解定溶。在高效液相色谱仪(Waters 公司)中测定样品中的 ABA、IAA 含量。流动相为乙腈:醋酸缓冲液(pH 3.5)=25:75,流速 1 ml·min⁻¹,检测波长为 254 nm。ABA、IAA 标样(Sigma 公司)、乙腈(色谱纯,进口)、甲醇(色谱纯,上海陆都化学试剂厂)、醋酸(优级纯,南京化学试剂厂),其它试剂为分析纯。

2 结果与分析

2.1 水作、旱作水稻叶片光合作用、气孔孔径、IAA 与 ABA 日变化规律

旱作水稻的净光合速率低于水作水稻,日间波动以上午的光合速率最大(图 1)。中午时分,旱作水稻水分利用效率下降,下降幅度大于水作水稻;旱作水稻气孔阻抗加大,增加幅度大于水作水稻,且在水作水稻之前开始增加;此时气孔孔径几乎为零,气孔处于关闭状态。旱作水稻的气孔孔径在上午时分

就比水作的小,下午时分的恢复比水作水稻的快;旱作水稻蒸腾效率减小,且减小的幅度大于水作水稻。这说明旱作水稻在中午时分为了尽可能减少蒸腾造成的水分散失,而关闭或部分关闭气孔,但旱作水稻在日间的其它时间光合作用与水作的相近。旱作水稻日间的 ABA 含量高于水作水稻,波动较大,中午时分显著降低;旱作水稻 IAA 含量也高于水作水稻的,中午时分也显著降低。SAS 分析表明,在淹水条件下水稻叶的气孔阻抗主要是与相对湿度、IAA 含量和叶片温度显著相关,与 ABA 偏相关不显著。偏回归分析结果表明,影响淹水条件下的水稻叶气孔阻抗因素主要为相对湿度和 IAA 含量,回归系数分别为 0.027 和 0.00016(表 1、表 2);影响旱作条件下的水稻叶气孔阻抗因素主要为叶片温度、IAA 含量和 ABA 含量,其回归系数分别为 0.0745、0.0003 和 -0.0009,IAA 与气孔阻抗的关系呈负相关,而 ABA 与气孔阻抗的关系呈正相关(由于互作参数为负值,

所以回归系数为正值的说明是负相关,而回归系数为负值的说明是正相关)(表 2)。初步表明,IAA 与 ABA 对气孔阻抗作用相反。

2.2 外源 IAA 和 ABA 对水稻叶片气孔开度的影响与互作

光线暗条件下(光合有效辐射 $400 \mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)进行外源 IAA 处理发现,低浓度 IAA 处理可以提高气孔开度。但是高浓度的 IAA 相反会导致气孔关闭。外施 $0.1 \sim 10 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 IAA 可以诱导关闭的气孔在黑暗的条件下开放,开放程度随着 IAA 的浓度增加而加大(图 2),这与张蜀秋等^[10]在蚕豆叶片上所做的试验结果一致。但是处理时间长于 15 min 时,低浓度处理(0.1 和 $1 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)的叶片气孔与处理时间为 5 或 15 min 比较,都会有不同程度的关闭。其可能原因是:IAA 光解作用;IAA 在水稻体内代谢;IAA 向其它叶片或组织的运输。但是中浓度($10 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)处理只在 5 min 时气孔开度比对照

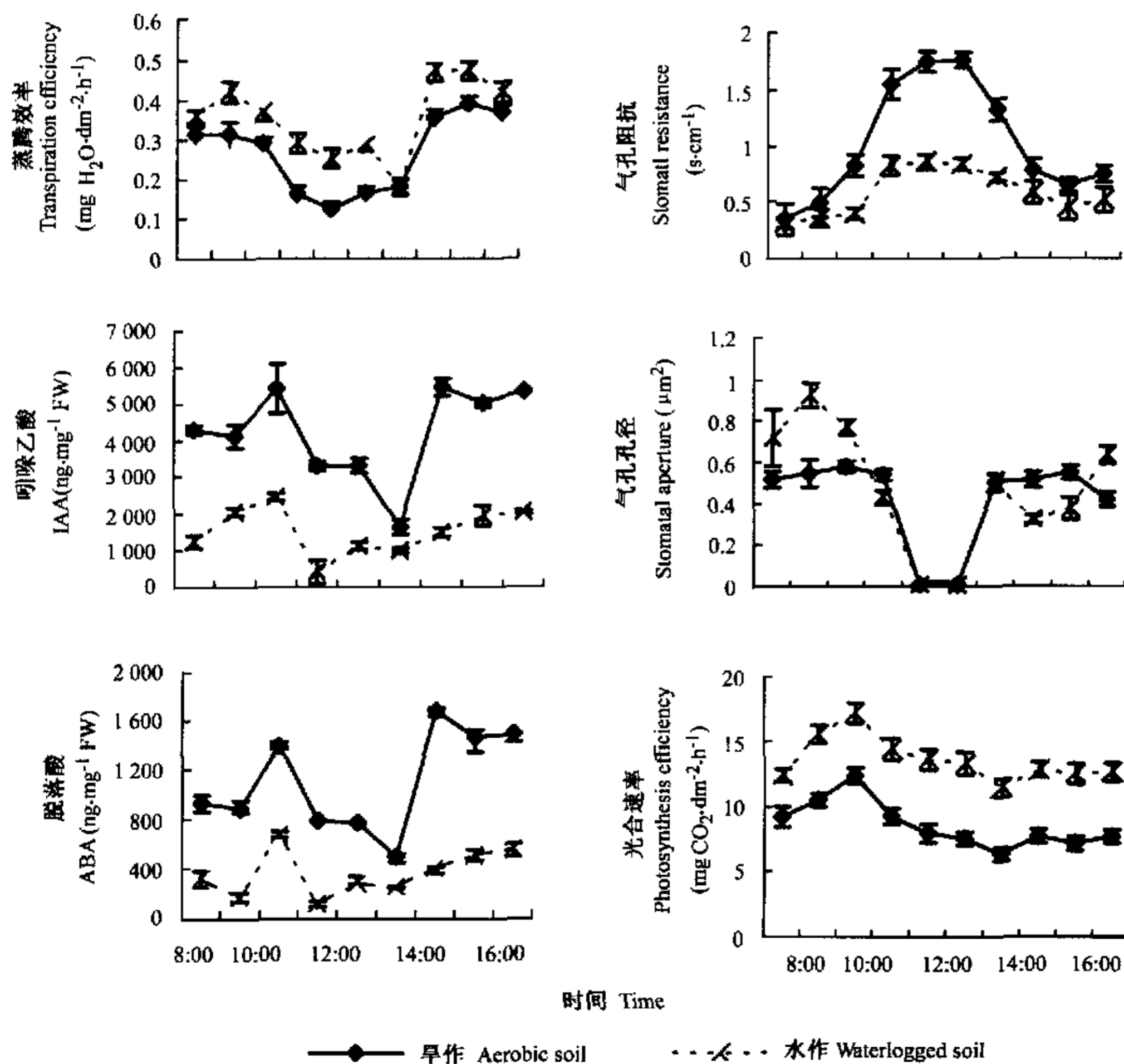


图 1 水稻旱作与水作的蒸腾效率、气孔阻抗、气孔孔径、净光合速率和内生 IAA 和 ABA 日变化

Fig.1 Diurnal changes of transpiration efficiency, stomatal resistance, stomatal apertures, net photosynthesis efficiency and endogenous IAA and ABA in middle part of the second leaves of Wuj cultivar grown in aerobic soil and waterlogged soil

表 1 水作水稻的光合作用和激素日变化的偏相关分析¹⁾ (Prob > |R| under Ho: Rho = 0/N = 9)

Table 1 Pearson Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho = 0 / N = 9, for diurnal photosynthesis and hormones in the rice cultured in waterlogged soil

	气孔阻抗 SR	相对湿度 RH	吲哚乙酸 IAA	脱落酸 ABA
气孔阻抗 SR	1.00000	0.85305*	0.75998*	0.27110
	0.0	0.0035*	0.0175*	0.4804
二氧化碳 CO ₂	0.37244	0.07771	0.51965	0.18566
	0.3236	0.8425	0.1516	0.6325
相对湿度 RH	0.85305*	1.00000	0.57261	0.17080
	0.0035*	0.0	0.1071	0.6604
叶片温度 T	-0.75924*	-0.80236*	-0.38964	-0.49074
	0.0177*	0.0093*	0.2999	0.1798
吲哚乙酸 IAA	0.75998*	0.57261	1.00000	0.19284
	0.0175*	0.1071	0.0	0.6191
脱落酸 ABA	0.27110	0.17080	0.19284	1.00000
	0.4804	0.6604	0.6191	0.0

1) * 数值表明达到显著水平

* Means that the data reach to significant or highly significant level

表 2 影响水作旱作水稻气孔阻抗因子的回归分析

Table 2 Regression analysis of the factors affecting the SR in rice leaves cultured in waterlogged soil and in aerobic soil by SAS

变异 Variable		估计系数 Parameter estimate	标准差 Standard error	总平方和 Sum of squares	F	Prob > F
水作 Waterlogged soil	INTERCEP	-0.60919723	0.29185384	0.17241020	4.36	0.0819
	相对湿度 RH	0.02727450	0.00880932	0.37932077	9.59	0.0212
	吲哚乙酸 IAA	0.00016254	0.00008080	0.16013480	4.05	0.0909
旱作 Aerobic soil	INTERCEP	-1.7419	0.3123	0.2507	31.10	0.0026
	叶片温度 T	0.0745	0.0066	1.0358	128.50	0.0001
	吲哚乙酸 IAA	0.0003	0.0001	0.1030	12.78	0.0160
	脱落酸 ABA	-0.0009	0.0003	0.1117	13.85	0.0137

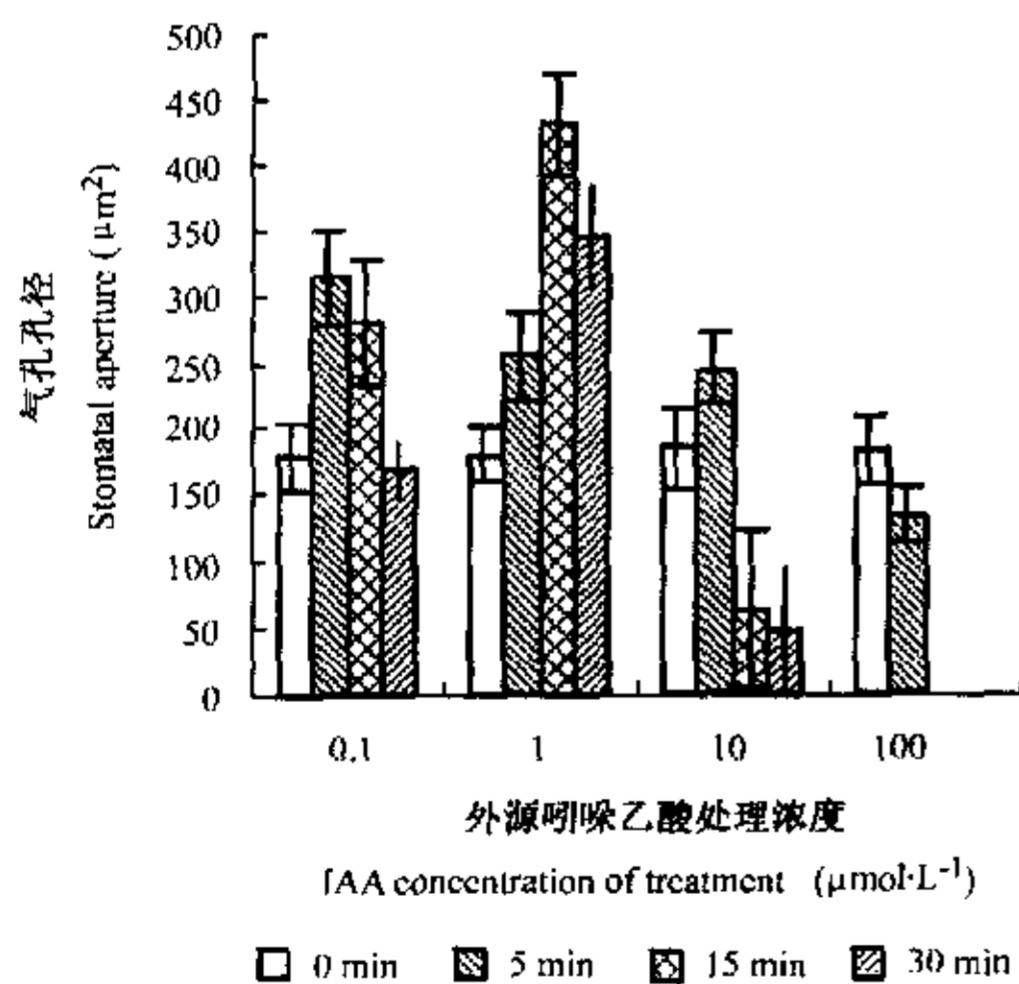


图 2 不同浓度 IAA 处理不同时间后的水稻气孔孔径变化

Fig. 2 Stomatal aperture changes after treatment of IAA with different concentrations for different time

大,气孔开度在 $10 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 处理 15 和 30 min 后均显著降低。高浓度 IAA ($100 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) 处理 5 min 后就导致气孔完全关闭。说明本处理中 IAA 扩散到气孔细胞中需要一定的时间(约 5 min),当扩散到气孔细胞中的 IAA 量超过一定时,气孔就会关闭。但是具体气孔细胞中 IAA 积累多少才能够引起气孔关闭,还不清楚。

在强光条件下(光合有效辐射 $800 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)进行外源 ABA 处理发现,不同浓度 ABA 处理水稻叶片都会引起气孔开度降低,且不论高浓度还是低浓度都会导致气孔完全关闭,只不过低浓度需要一定的时间。用 $0.01 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ABA 处理叶片,气孔在 15 min 以后才能完全关闭,用 $1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ABA 处理叶片则在 5 min 时就几乎完全关闭了,而用 $100 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ABA 处理叶片则在比 5 min 还短的时间内就完全关闭了(图 3)。弱光条件下(光合有效辐射 $400 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)进行外源 IAA 与 ABA 不同浓度组

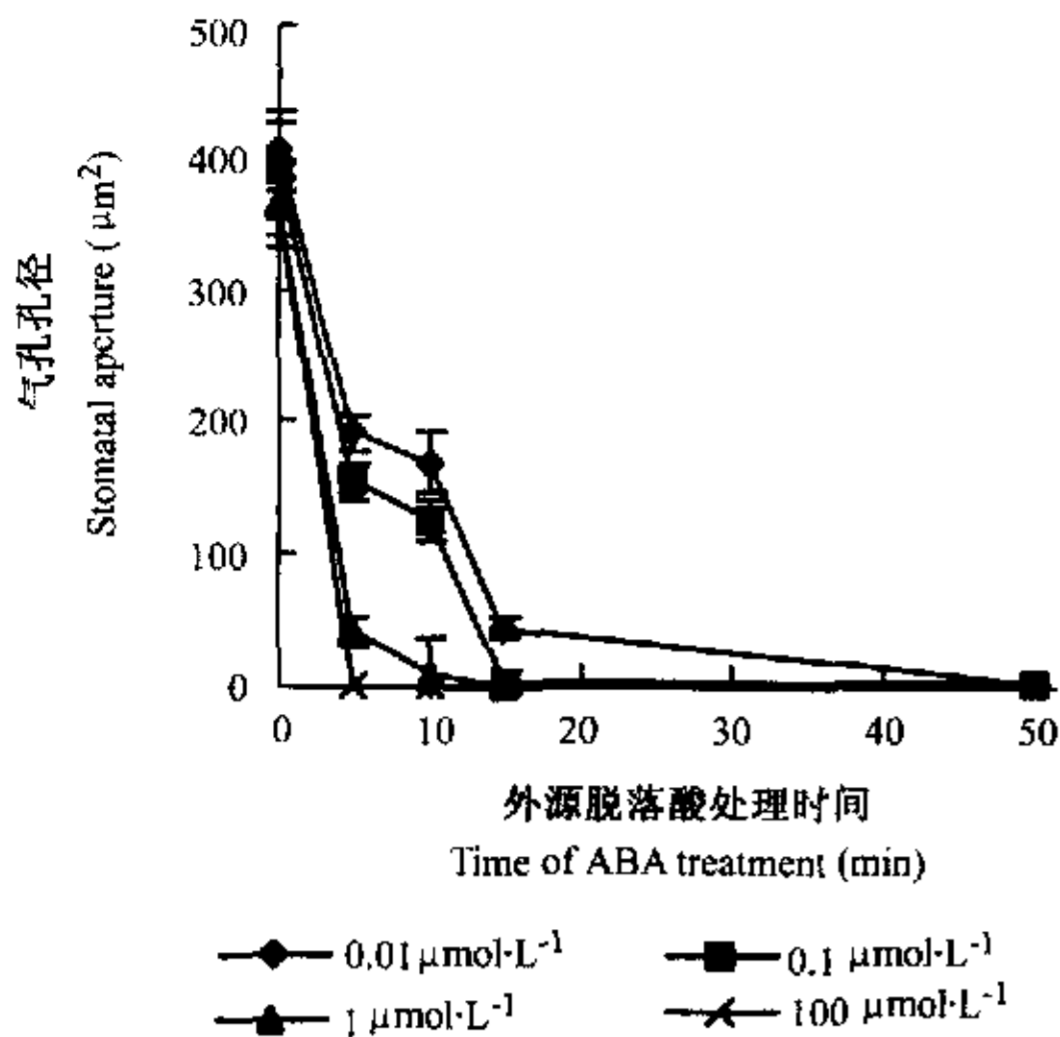


图 3 不同浓度 ABA, 处理不同时间后的水稻气孔孔径变化
Fig.3 Stomatal aperture changes after treatment of ABA with different concentrations for different time

合的处理发现,用 0.1 μmol·L⁻¹ IAA 处理水稻叶片可以在 5 min 内就完全解除 0.01 μmol·L⁻¹ ABA 处理对水稻叶片气孔开放的抑制作用,10 μmol·L⁻¹ IAA 不但可以在 5 min 内就解除 0.01 μmol·L⁻¹ ABA 对水稻叶片气孔开放的抑制作用,叶片气孔开度在此时还表现为被促进的效应。但是高浓度 IAA(10、100 μmol·L⁻¹)与 0.01 μmol·L⁻¹ ABA 的组合对叶片气孔开度在 5 min 时表现为抑制效应,而 0.01 μmol·L⁻¹ ABA 与 100 μmol·L⁻¹ IAA 的组合,气孔在 5 min 就完全关闭了,可能因为高浓度 IAA 对气孔开度本身也有抑制效应(图 4)。

不同浓度的 IAA 处理和 IAA 与 ABA 不同浓度组合处理的对照气孔孔径为 180 μm² 左右;不同浓度 ABA 处理的对照气孔孔径为 380 μm² 左右,这是由于不同光强引起的气孔开闭度的改变。

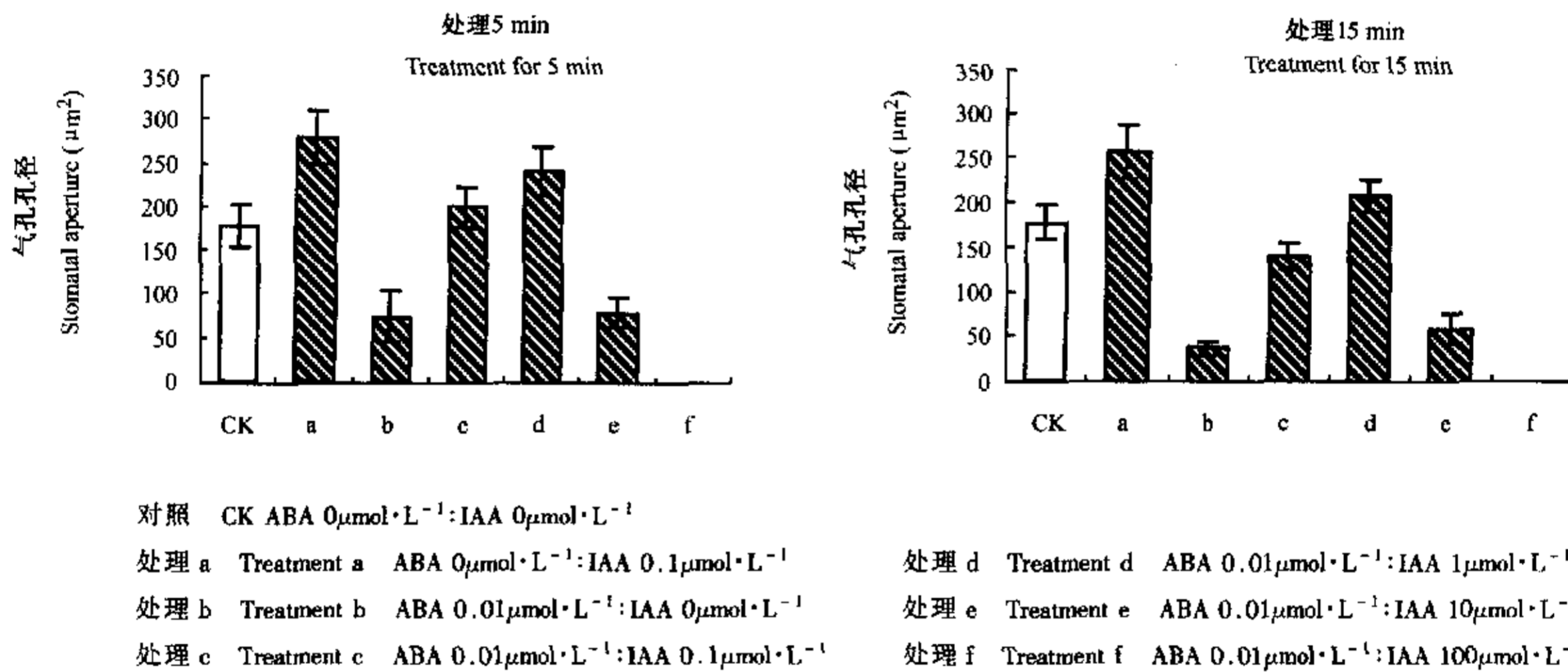


图 4 不同 ABA、IAA 组合处理 5 和 15 min 的水稻气孔孔径变化

Fig.4 Stomatal aperture changes in the treatment of cocktails of ABA and IAA with different concentration ratios for 5 and 15 min

3 讨论

本试验所用的种子在相同条件下以壮秧灵处理,可能产生的水稻体内激素变化对所有水稻植株是一样的,不影响水作和旱作试验结果。

范晓荣等在测定全生育期的水稻体内激素变化时,发现旱作水稻体内 ABA 含量增加, IAA 的含量也增加,同时观察到旱作水稻的气孔阻抗并没有显著增加^[6]。本试验利用 SAS 软件对气孔行为与环境因子、ABA、IAA 日变化数据进行相关性分析,初步结论显示,旱作水稻气孔阻抗主要是受温度、IAA

和 ABA 的影响,水作的则主要取决于相对湿度和 IAA 的含量。张蜀秋等^[11]报道,在非胁迫的正常生长条件下,蚕豆叶片中脱落酸变化较小,与一天中的气孔导性变化相关性不明显,这与笔者的结论相似;但他们同时指出保卫细胞质外体脱落酸含量有显著的日变化,且与气孔导性有一定的相关性。综合其观点和本试验结果(旱作水稻的气孔阻抗受温度、IAA 和 ABA 的调控,而水作气孔阻抗与叶片中的 ABA 无相关性),说明在干旱条件下,叶片中的脱落酸可能是通过细胞水平上的重新分布来影响气孔行为的。本试验也验证了范晓荣等的生理生化试验及

全生育期激素变化的试验结果^[6]。

既然 ABA 和 IAA 同时参与控制水稻气孔开闭,那么外源 ABA、IAA 是否可以调节气孔运动呢?试验结果表明,弱光条件下,IAA 处理可以提高水稻叶片气孔开度。强光条件下 ABA 可导致气孔完全关闭,但存在作用速率的差异。低浓度 ABA 比高浓度 ABA 用更长的时间才使气孔完全关闭。利用不同 IAA、ABA 比例的混合处理叶片,发现它们对叶片气孔开度在一定浓度范围内存在一定的拮抗效应。一般来说,当 IAA:ABA 为 10:1,IAA 浓度小于 $10 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (含 $10 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 时,可以解除 ABA 对气孔开放的抑制作用。但高浓度时 IAA ($100 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 与 ABA 效应一致,都导致气孔关闭。至于 IAA 对气孔调节的细胞学研究还很少,有证据表明在叶片下表皮除存在着 ABA 结合蛋白外,保卫细胞还存在着 IAA 的受体位调控作用^[12]。IAA 与其受体 ABP 的结合可以调节细胞膜上 $\text{H}^+ - \text{ATPase}$ 活性促进阳离子外流^[13]。另外 IAA 也可以激发第二信使 $\text{Ca}^{2+} - \text{CaM}$ 来完成一些生理功能^[14]。IAA 对气孔调控可能通过以上途径,尤其是改变细胞内 Ca^{2+} 浓度来调节气孔开闭,如同 ABA 所采用的途径一样,但这方面的细胞学研究报道很少。因此,IAA 是否通过调节细胞质 Ca^{2+} 的行为来激活阴离子通道,引起阴离子释放和长时间的膜去极化反应,膜去极化形成的驱动力,驱动 K^+ 通过外向 K^+ 通道从保卫细胞中流出;还是直接通过调节细胞膜上的 $\text{H}^+ - \text{ATPase}$ 活性,形成质子驱动力,驱动 K^+ 通过外向 K^+ 通道从保卫细胞中流出,还是存在其它途径与 ABA 一起调控气孔开闭的机制,有待进一步研究。

References

- [1] 王学臣,任海云,娄成后. 干旱下植物根与地上部间的信息传递. 植物生理学通讯, 1992, 28(6): 397 - 402.
Wang X C, Ren H Y, Lou C H. Signal transduction between the plant root and shoot in drought condition. *Plant Physiology Communication*, 1992, 28(6): 397 - 402. (in Chinese)
- [2] Liang J S, Zhang J H, Wong M H. How do roots control xylem sap ABA concentration in response to soil drying? *Plant Cell Physiology*, 1997, 38(1): 10 - 16.
- [3] Liang J S, Zhang J H. Xylem carried ABA in plant responses to soil drying. *Current Topics in Plant Biology*, 1999 (1): 89 - 96.
- [4] Tardieu F, Davies W J, Ruiz L. Stomatal response to ABA is a function of current plant water status. *Plant Physiology*, 1992 (102): 497.
- [5] Tardieu F, Zhang J, Gowing D J G. Stomatal control by both [ABA] in the xylem sap and leaf water status: A test of a model for drought or ABA-fed grown maize. *Plant Cell Environment*, 1993 (16): 413 - 420.
- [6] 范晓荣,沈其荣,崔国贤,徐国华. 旱作水稻内源激素变化及其与该稻形态、生理特性的关系. 土壤学报, 2002, 39(2): 206 - 213.
Fan X R, Shen Q R, Cui G X, Xu G H. Effect of soil water regime on dynamic levels of endogenous hormones and the relationship between hormones and physio-biochemistry and morphology in different rice cultivars cultivated in aerobic soil. *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(2): 206 - 213. (in Chinese)
- [7] 杨建昌,王志琴,朱庆森,Wayers J D B, Peng Zhiyong. 水稻叶片上表面气孔特征的变异. 江苏农学院学报, 1996, 17(3): 41 - 44.
Yang J C, Wang Z Q, Zhu Q S, Wayers J D B, Peng Zhiyong. Variation in stomatal characteristics over upper surface of *Oryza Sativa* leaves. *Journal of Jiangsu Agricultural College*, 1996, 17(3): 41 - 44. (in Chinese)
- [8] 陈昆松,陈青俊,张上隆. 本地旱柑桔果实贮藏中内源 ABA、IAA 变化与枯水的关系. 园艺学报, 1997, 24(3): 291 - 292.
Chen K S, Chen Q J, Zhang S L. Relationship between drying and ABA and IAA in stored aerobic oranges. *Acta Horticulturae Sinica*, 1997, 24(3): 291 - 292. (in Chinese)
- [9] 付蕾,江建民,王明林. 植物组织中 3-吲哚乙酸、脱落酸测定方法研究. 山东化工, 1998: 59 - 60.
Fu L, Jiang J M, Wang M L. Determination of IAA and ABA in plant tissue. *Shandong Chemical Industry*, 1998: 59 - 60. (in Chinese)
- [10] 张蜀秋,魏惠利. 蚕豆叶片气孔对生长素和脱落酸的反应. 中国农业大学学报, 1999 4(3): 43 - 47.
Zhang S Q, Wei H L. Response of guard cells to IAA and ABA in *Vicia faba* leaves. *Journal of China Agricultural University*, 1999, 4(3): 43 - 47. (in Chinese)
- [11] 张蜀秋,刘新. 蚕豆叶片和保卫细胞中脱落酸含量的日变化. 植物生理通讯, 1999, 35(6): 446 - 448.
Zhang S Q, Liu X. Diurnal changes of endogenous ABA content in leaves and guard cells in *Vicia faba*. *Plant Physiology Communication*, 1999, 35(6): 446 - 448. (in Chinese)
- [12] 吴忠义,张大鹏,贾文锁. 蚕豆叶片下表皮的 ABA 结合蛋白的分离纯化. 植物学报, 1999, 41(8): 842 - 845.
Wu Z Y, Zhang D P, Jia W S. Purification of ABA bounding proteins from the lower surface of *Vicia faba* leaves. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(8): 842 - 845. (in Chinese)
- [13] Barbier-Brygoo H, Ephritikhine G, Klambt D, Ghislain M, Guern J. In: Ran jeva R, Boudier A. eds. *Signal Perception and Transduction in Higher Plants*. New York: Springer-Verlag Press, 1989.
- [14] 李宗鑫,周 燮. 植物激素及其免疫检测技术. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996: 66 - 70.
Li Z T, Zhou X. *Plant Hormones and Their Immunoassays*. Nanjing: Jiangsu Science and Technology Press, 1996: 66 - 70. (in Chinese)

(责任编辑 卞海军)