

玉米胚发育过程中脱水耐性的变化*

罗银玲^{1,2}, 宋松泉^{1**}, 何惠英¹, 兰芹英¹

(1 中国科学院西双版纳热带植物园, 云南 勐腊 666303; 2 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 对离体玉米胚脱水耐性的变化以及不同脱水速率对其脱水耐性的影响进行了研究。授粉后 16 d 的玉米胚能耐轻微脱水, 含水量从 $1.45 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1} \text{ DW}$ 降低到 $0.28 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1} \text{ DW}$ 时胚的萌发率为 100%, 但含水量低于 $0.1 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1} \text{ DW}$ 时胚死亡。胚的脱水耐性随着发育逐渐加强, 表现为电解质渗漏速率逐渐降低, 萌发率和幼苗干重逐渐增加。授粉后 20 d 胚内超氧化物歧化酶 (SOD) 和抗坏血酸过氧化物酶 (APX) 活性较高, 过氧化氢酶 (CAT) 活性较低; 授粉后 24 d, 这些酶的活性与授粉后 20 d 的正好相反。脂质过氧化产物丙二醛 (MDA) 在种子发育过程中呈下降趋势。不同脱水速率明显地影响胚的脱水耐性: 在慢速脱水到含水量 $0.1 \sim 0.18 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1} \text{ DW}$ 时, 胚的萌发率和幼苗干重比快速脱水高, 电解质渗漏速率比快速脱水低; 在快速脱水条件下胚中的 SOD、APX 活性和 MDA 含量也比慢速脱水高; CAT 活性的变化不明显。

关键词: 玉米胚; 脱水耐性; 种子发育; 抗氧化酶; 脱水速率

中图分类号: Q 945

文献标识码: A

文章编号: 0253 - 2700(2005)03 - 0301 - 09

Changes in Desiccation Tolerance of Maize Embryos during It's Development

LUO Yin-Ling^{1,2}, SONG Song-Quan^{1**}, HE Hui-Ying¹, LAN Qin-Ying¹

(1 Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Mengla 666303, China;

2 Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Changes in desiccation tolerance of isolated maize embryos and effect of drying rate on embryo desiccation tolerance were discussed in this paper. The maize embryos could tolerate a slight dehydration after they were pollinated for 16 days. When water content descended from 1.45 to $0.28 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1} \text{ DW}$, embryo germination was 100%, whereas embryos died when their water content were less than $0.1 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1} \text{ DW}$. The embryo desiccation tolerance increased gradually in accordance with its development, which presented as the electrolyte leakage decreasing and the germination and dry weight of seedlings increasing. At 20 days after pollination (DAP), the superoxide dismutase (SOD) and the ascorbate peroxidase (APX) were relatively more active than that of 24 DAP, which was opposite to catalase (CAT). The malonylaldehyde (MDA) content showed a tendency of declining in the course of seed development. Different drying

* 基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向性项目 (KSCX2-sw-117)

** 通讯作者: Author for correspondence. E-mail: ssq@xtbg.org.cn

收稿日期: 2004 - 11 - 09, 2005 - 01 - 31 接受发表

作者简介: 罗银玲 (1978 -) 女, 在读硕士, 主要从事种子脱水耐性的研究工作。

rate had an obvious influence on desiccation tolerance. When water content decreased to $0.1 - 0.18 \text{ g H}_2\text{O g}^{-1} \text{ DW}$ at a slow speed of dehydration, embryo germination and dry weight of seedlings were higher than that of rapid dehydration, but electrolyte leakage was lower. The SOD, APX activities and MDA content in the condition of rapid dehydration were higher than that of slow dehydration. The changes of CAT activities are not evident.

Key words: Desiccation tolerance; Maize embryo; Seed development; Antioxidant enzymes; Drying rate

正常性种子在发育过程中会经历一个成熟脱水阶段, 随后进入干燥静止期, 这样有利于它们渡过某些逆境并便于贮藏 (Leprince 等, 1993)。但在发育初期如组织分化期 (histodifferentiation) 种子并没有耐脱水能力, 在发育过程中它们会经历一个从不耐脱水到耐脱水的转变 (Kernode, 1995)。有许多因素可能导致这种转变, 例如糖的种类和含量的变化 (Oliver 等, 2001), 抗氧化系统的作用增强 (Pammenter and Berjak, 1999), 种子预吸胀时间等 (钱春梅等, 2004)。种子中产生活性氧 (active oxygen species, AOS) 的主要部位是线粒体, 而过氧化物酶体, 细胞质膜, 脂质非酶促自动氧化也是 AOS 的来源 (Bailly, 2004)。脱水过程中有 AOS 产生, AOS 对生物大分子、细胞膜等会造成伤害, 抗氧化系统被认为在脱水耐性获得过程中起很重要作用 (Hendry 等, 1992; Song 等, 2003)。在顽拗性种子和萌发后不耐脱水的种子中抗氧化系统的研究较多 (Leprince 等, 1999; Bailly, 2004)。但在正常性种子发育过程中这方面的研究很少, 目前关于正常性种子在脱水过程中的抗氧化酶活性变化趋势尚不清楚。

自从 Farrant 等 (1985) 首次报道脱水速率影响顽拗性种子的脱水耐性以后, 关于这方面的研究就日益增多。快速脱水比慢速脱水能使顽拗性种子获得较高的脱水耐性 (Pammenter and Berjak, 1999; Wesley-Smith 等, 2001)。脱水速率对体细胞胚脱水耐性的影响与顽拗性种子正好相反 (Obendorf 等, 1998; Wolkers 等, 1999; Bomal 等, 2002)。本文以玉米胚为材料, 研究了不同发育阶段其脱水耐性的变化, 以及不同脱水速率对脱水耐性的影响。

1 材料和方法

1.1 材料

供试玉米品种为粤单 1 号, 购于广东省农科院, 于 2003 年 3 月在中国科学院西双版纳热带植物园苗圃中种植, 常规管理, 人工授粉, 取授粉后天数 (days after pollination, DAP) 不同的玉米种子为实验材料, 然后将胚剥出进行不同条件的脱水。

1.2 脱水处理

快速脱水: 将不同发育时期的玉米胚放在装有大量活化硅胶的干燥器中 (硅胶与胚的重量比远大于 10, $25 \pm 2^\circ\text{C}$) 分别脱水 0.5、1、2、4、6、9 和 12 h; 慢速脱水: 将胚放在滤纸上 (温度 $25 \pm 2^\circ\text{C}$, 72%~78% RH) 分别脱水 1、2、3、6、12、24、48 和 72 h。

1.3 含水量的测定

脱水后的玉米胚在 103°C 下烘 17 h, 每个处理 15 个胚, 3 个重复。含水量用 $\text{g H}_2\text{O g}^{-1}$ 干重 ($\text{g H}_2\text{O g}^{-1} \text{ DW}$) 来表示。

1.4 萌发试验

将胚放在垫有两层滤纸的培养皿中, 每个培养皿中放置 15 个胚, 3 个重复, 在 25°C 恒温箱中萌发一周, 定期加无菌水保持滤纸湿润, 胚根从胚中长出 1 cm 为萌发。

1.5 电解质渗漏速率的测定

电解质渗漏速率用电导率仪 (DDS-307, 上海雷磁仪器厂) 测定。在装有 25 ml 去离子水的锥形瓶中, 放入 5 个胚, 分别测定初始电导率和放置 1 h 后的电导率, 5 次重复。电解质渗漏速率用 $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1} \text{DW h}^{-1}$ 表示。

1.6 酶的提取和测定

1.6.1 SOD 经不同脱水处理后的胚加入 50 mmol/L 磷酸缓冲液 (pH 7.0), 内含 0.05 % (v/v) Triton X-100, 2 % (w/v) 不溶性的聚乙烯吡咯烷酮 (polyvinylpyrrolidone, PVP), 1 mmol/L 抗坏血酸冰浴研磨, 匀浆后在 $16\,000 \times g$, 4°C 离心 20 min, 上清液转移到 eppendorf 管中, 在 -20°C 下保存备用。

超氧化物歧化酶 (SOD, EC 1.15.1.1) 活性测定参照 Donahu 等 (1997) 的方法。抑制氮蓝四唑 (nitroblue tetrazolium, NBT) 光化还原 50 % 作为一个酶活性单位 (U), 酶活性以 U mg^{-1} 蛋白表示。

1.6.2 CAT 经不同脱水处理后的胚加入 50 mmol/L Tris-HCl (pH 7.0), 内含 20 % (v/v) 甘油, 1 mmol/L 抗坏血酸, 1 mmol/L EDTA 和 1 % 不溶性 PVP, 冰浴研磨。匀浆后 $2\,000 \times g$ 4°C 离心 15 min, 上清液转移到 eppendorf 管中, 在 -20°C 的冰箱中保存, 用来测 CAT 和 APX 的活性。

过氧化氢酶 (CAT, EC 1.11.1.6) 活性测定参照 Aebi (1983) 的方法, 在 240 nm ($0.04 \text{ mmol/L cm}^{-1}$) 处测定 H_2O_2 光密度值的减少。

1.6.3 APX 提取方法同 CAT。抗坏血酸过氧化物酶 (APX, EC 1.11.1.11) 的测定参照 Nakano 和 Asada (1981) 的方法, 直接测定抗坏血酸 (ascorbic acid, AsA) 在 290 nm ($2.8 \text{ mmol/L cm}^{-1}$) 处光密度值的减少。

1.6.4 蛋白质含量测定 参照 Bradford (1976) 的方法, 用牛血清白蛋白作标准曲线。

1.7 脂质过氧化产物的测定

采用 Hendry 等 (1993) 改进的方法。通过测定丙二醛 (malonylaldehyde, MDA) 与硫代巴比妥酸反应后产物的浓度来计算 MDA 的量。

2 结果

2.1 种子发育

玉米胚干重随着种子发育逐渐增加 (图 1), 16DAP 的胚的干重是 $9.23 \pm 0.34 \text{ mg}$, 40 DAP 的胚干重为 $65.73 \pm 3.78 \text{ mg}$ 。胚的含水量在发育过程中逐渐下降, 在 16 DAP 到 22 DAP 期间下降较快, 之后下降较慢 (图 1)。

2.2 玉米胚在发育过程中脱水耐性的变化

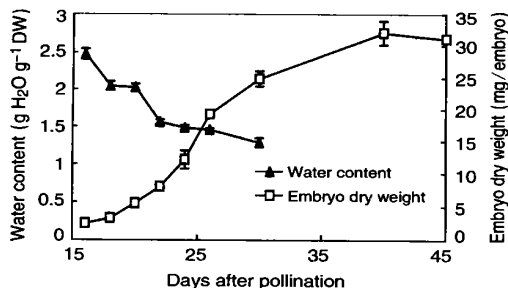


图 1 玉米胚发育过程中干重和含水量的变化

Fig. 1 Changes in dry weight and water content of maize embryos during development

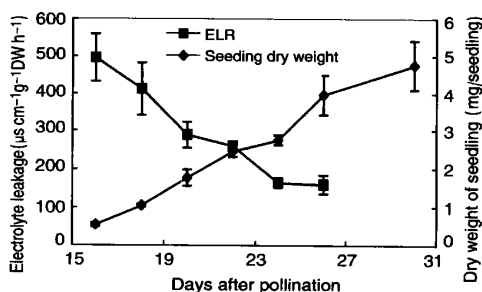


图 2 玉米胚发育过程中电解质渗漏速率和幼苗干重的变化

Fig. 2 Changes in electrolyte leakage and dry weight of seedling during development of maize embryos

11 DAP 的胚尚没有萌发能力, 13 DAP 的胚萌发率已经达到 40 %。11 DAP 和 13 DAP 的胚脱水以后都不能萌发, 不具有耐脱水能力。16 DAP 以后, 胚萌发率达到 100 %, 胚的电解质渗漏速率逐渐减少 (图 2), 萌发后的幼苗可以正常生长。

16 DAP 的胚初始含水量是 $2.48\text{ g H}_2\text{O g}^{-1}\text{ DW}$, 脱水初期其电解质渗漏速率增加较小, 胚能够萌发并形成幼苗; 随着进一步脱水, 含水量下降到 $0.39\text{ g H}_2\text{O g}^{-1}\text{ DW}$ 时胚开始死亡, 含水量降低至 $0.13\text{ g H}_2\text{O g}^{-1}\text{ DW}$ 时胚完全失去萌发能力。种子发育时期越晚, 胚的脱水耐性就越高。26 DAP 的胚已有较高的脱水耐性, 含水量为 $0.09\text{ g H}_2\text{O g}^{-1}\text{ DW}$ 时其萌发率仍为 90 %; 含水量为 $0.07\text{ g H}_2\text{O g}^{-1}\text{ DW}$ 时萌发率为 73.3 %; 30 DAP 的胚在脱水至 $0.09\text{ g H}_2\text{O g}^{-1}\text{ DW}$ 时其萌发率仍然是 100 % (图 3)。这种趋势在胚含水量降低到 $0.1\text{ g H}_2\text{O g}^{-1}\text{ DW}$ 时更加明显 (表 1)。

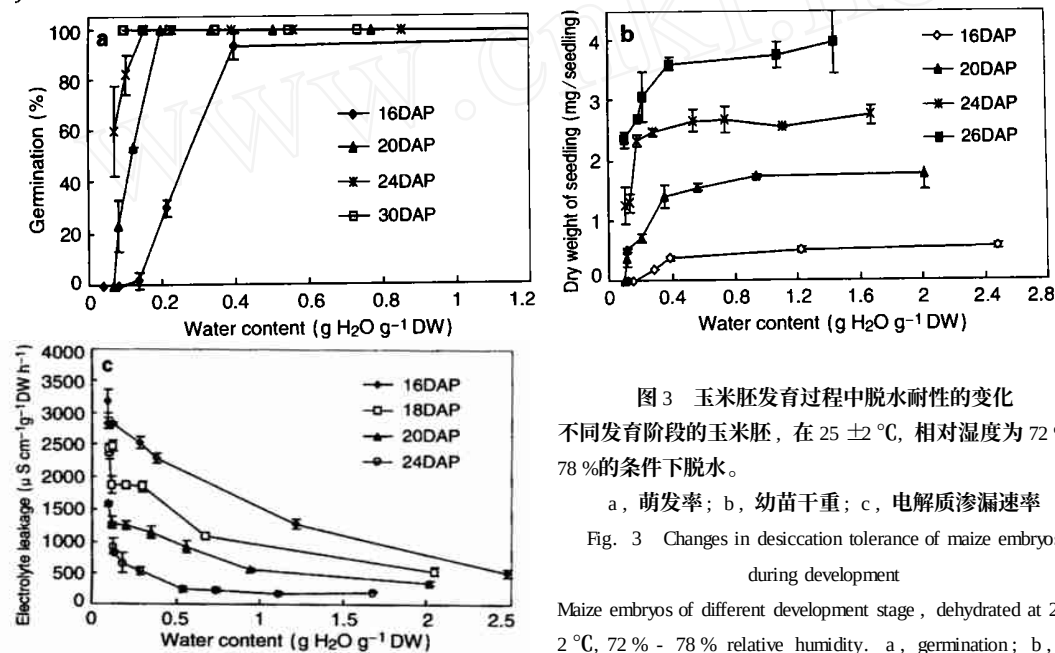


图 3 玉米胚发育过程中脱水耐性的变化
不同发育阶段的玉米胚, 在 $25 \pm 2^\circ\text{C}$, 相对湿度为 72 %~78 % 的条件下脱水。

a, 萌发率; b, 幼苗干重; c, 电解质渗漏速率

Fig. 3 Changes in desiccation tolerance of maize embryos during development

Maize embryos of different development stage, dehydrated at $25 \pm 2^\circ\text{C}$, 72 % - 78 % relative humidity. a, germination; b, dry weight of seedling; c, electrolyte leakage

表 1 玉米胚在发育过程中脱水耐性的变化

Table 1 Changes in desiccation tolerance during development of maize embryos

DAP (d)	Electrolyte leakage ($\mu\text{S cm}^{-1}\text{ g}^{-1}\text{ DW h}^{-1}$)	Germination (% $\pm$ SD)	Seedling dry weight (mg/ seedling)
16	3093 ± 224	0	0
18	2476 ± 66	20.5 ± 3.2	0.07 ± 0.02
20	1567 ± 66	28.3 ± 5.0	0.43 ± 0.02
22	1231 ± 83	36.5 ± 5.6	0.58 ± 0.07
24	844 ± 97	82.2 ± 7.7	1.72 ± 0.21
26	560 ± 98	93.3	2.66 ± 0.10
30	—	100	3.8 ± 0.55

玉米胚在硅胶中脱水至含水量为 $0.10\text{ g H}_2\text{O g}^{-1}\text{ DW}$; —未测定。

Maize embryos dried in silica gel to $0.10\text{ g H}_2\text{O g}^{-1}\text{ DW}$ water content, —not determined.

2.3 发育过程中 SOD, CAT 和 APX 活性和 MDA 含量的变化

SOD 和 APX 活性在从 20 DAP 发育到 24 DAP 时逐渐下降, 而 CAT 活性则逐渐增加; MDA 含量随着胚发育呈降低趋势 (图 4d)。

脱水后 SOD 活性变化呈先下降后增加、到最后又下降的趋势 (图 4a)。随着脱水, APX 活性逐渐下降, 而 CAT 活性逐渐增强, 脱水对 CAT 活性的影响与对 APX 的影响相反 (图 4c)。脱水后 MDA 曲线变化趋势与 SOD 的相似 (图 4d)。

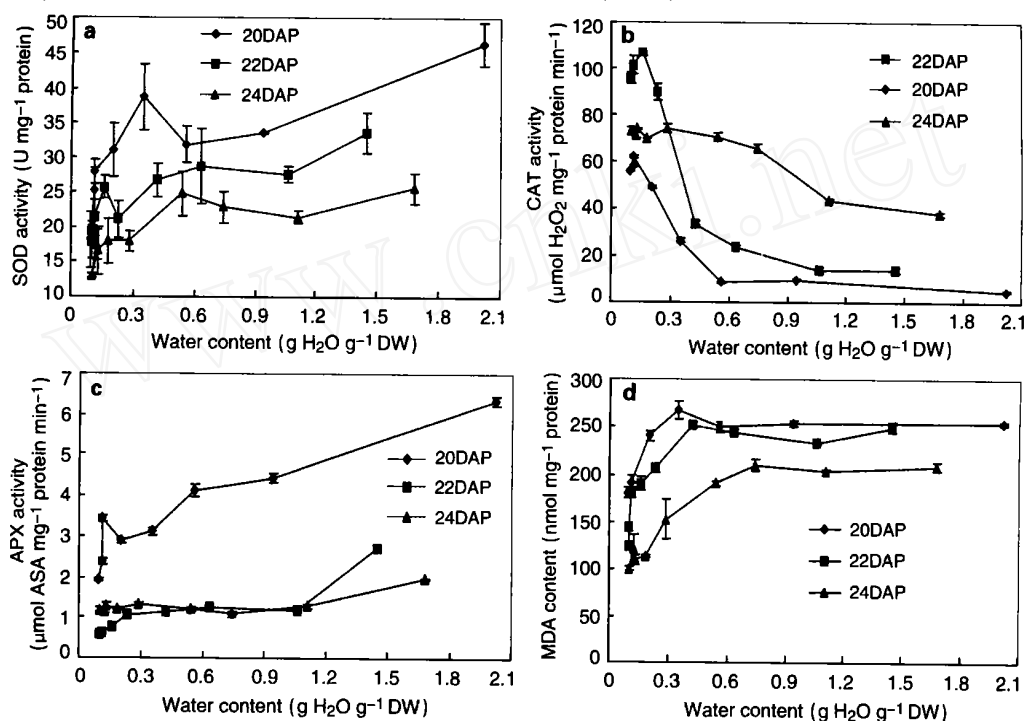


图4 玉米胚发育过程中经 25 ± 2 °C, 72 %~78 %相对湿度脱水后 SOD, CAT, APX 活性和 MDA 含量的变化
a, SOD 活性; b, CAT 活性; c, APX 活性; d, MDA 含量

Fig. 4 Changes in SOD, CAT and APX activities and MDA content of maize embryos dehydrated at 25 ± 2 °C, 72 % - 78 % RH during development. a, SOD; b, CAT; c, APX; d, MDA

2.4 不同脱水速率对胚脱水耐性的影响

发育 22 d 的玉米胚在不同脱水速率下的含水量变化不同 (图 5a)。导致不同脱水速率脱水后胚的电解质渗漏速率、萌发率 (图 5), 抗氧化酶活性和 MDA 含量 (图 6) 都表现出差异。

玉米胚在快速和慢速脱水条件下脱水耐性的差异见图 5。快速脱水后, 胚的电解质渗漏速率比慢速脱水的高; 幼苗干重比慢速脱水低。在含水量从 1.5 g H₂O g⁻¹ DW 到 0.3 g H₂O g⁻¹ DW 时, 无论是快速脱水还是慢速脱水, 胚的萌发率都是 100 %, 但是当含水量低于 0.3 g H₂O g⁻¹ DW 时, 慢速脱水的胚萌发率比快速脱水的要高一些。

2.5 不同脱水速率对 SOD、APX 和 CAT 活性与脂质过氧化的影响

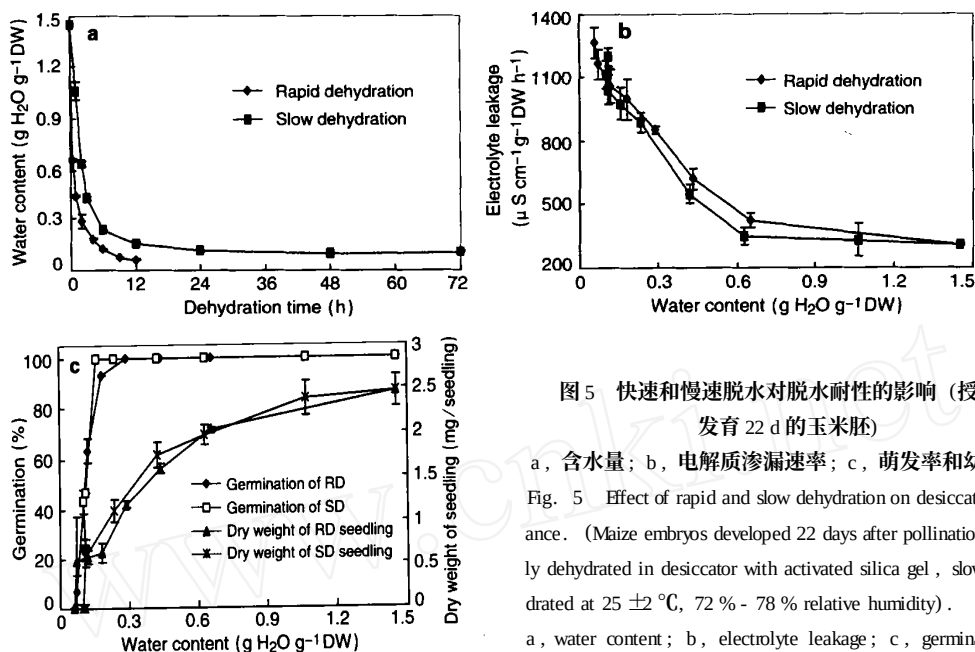


图5 快速和慢速脱水对脱水耐性的影响 (授粉后发育 22 d 的玉米胚)

a, 含水量; b, 电解质渗漏速率; c, 萌发率和幼苗干重
Fig. 5 Effect of rapid and slow dehydration on desiccation tolerance. (Maize embryos developed 22 days after pollination, rapidly dehydrated in desiccator with activated silica gel, slowly dehydrated at $25 \pm 2^\circ\text{C}$, 72% - 78% relative humidity).
a, water content; b, electrolyte leakage; c, germination and dry weight of seedling

不同脱水速率对 SOD、APX 活性和 MDA 含量都有影响 (图 6), SOD、APX 活性与 MDA 含量均是快速脱水 (RD) 比慢速脱水 (SD) 时高; 而且差别比较明显。但不同脱水速率对 CAT 活性的影响不显著 (图 6b)。

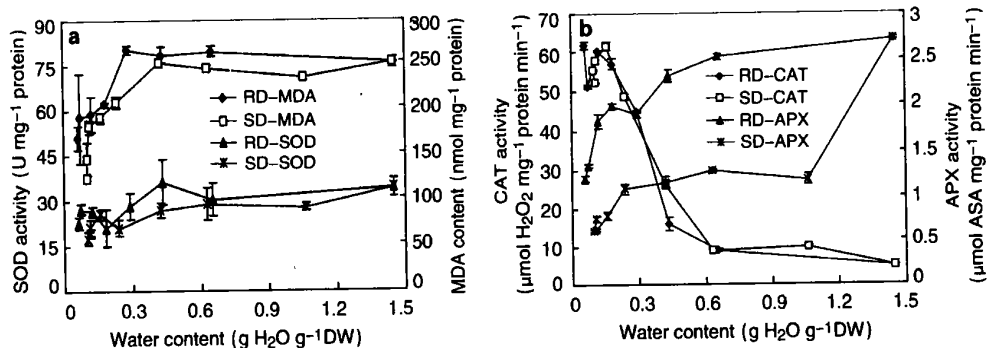


图6 快速和慢速脱水对玉米胚 (授粉发育后 22 d) SOD、CAT、APX 活性和 MDA 含量的影响

a, SOD 活性和 MDA 含量; b, CAT 活性和 APX 活性

Fig. 6 Effect of rapid and slow desiccation on SOD, CAT, APX activities and MDA content of maize embryos (developed 22 days after pollination). a, SOD activity and MDA content; b, CAT activity and APX activity

3 讨论

16 DAP 的离体玉米胚经历轻微脱水后胚可以萌发并且产生正常的幼苗, 说明当胚获得萌发能力时它们可以耐受一定程度的脱水; 而如果遭受严重脱水它们就不能萌发, 并且

具有较高的电解质渗漏速率。随着发育它们耐受脱水的能力得到加强, 这说明胚的脱水耐性是逐渐获得的, 它是一个数量性状, 而不是质量性状。这与 Sun 和 Leopold (1993) 研究大豆的结果一致。

随着发育玉米胚 SOD (图 4a) 和 APX (图 4b) 活性降低, 而 CAT (图 4c) 活性却升高。Bailly 等 (2001) 也发现, 抗氧化酶活性变化是与大豆种子发育相联系的, 成熟大豆种子中 CAT 活性高, SOD 和 APX 活性低, 而不耐脱水的未成熟种子情况正好相反。玉米胚 MDA 含量随着种子发育降低 (图 4d), 表明膜质过氧化随着种子发育降低, 抗氧化系统能力随着种子发育而增强。向日葵种子在发育过程中 CAT 活性增强是与脱水耐性获得相关联的, 使得过氧化氢含量降低, 电解质渗漏下降 (Bailly 等, 2003, 2004)。这些酶在避免氧化伤害过程中可能是协同的 (Smirnoff, 1993)。发育过程中玉米胚 SOD 和 APX 活性的降低会使 AOS 的伤害更大, 但这种伤害可能被 CAT 活性增加所补偿, CAT 在脱水耐性获得过程中可能起更大的作用。另外, SOD 和 APX 活性降低也可能反映了 AOS 生成量减少。正常性种子成熟脱水过程中, AOS 量会减少 (Leprince 等, 2000)。可能是由于种子在发育过程中含水量降低呼吸作用变得较弱 (Hoekstra 等, 2002)。

脱水过程中, MDA 含量呈现先增加后降低的趋势 (图 4d)。这与 Niedzwiedz-Siegien 等 (2004) 在研究小麦芽的结果一致。MDA 含量增加可能是因为脱水早期 AOS 的产生与清除失去平衡, 造成 SOD 和 APX 活性降低, 从而膜质过氧化程度加深; 但进一步脱水会激发细胞内防御体系, CAT、SOD 活性增加, AOS 得到有效清除, 从而减轻 AOS 的伤害, 膜质过氧化产物相应减少。本实验中 SOD 活性先下降后增加, 这与 Niedzwiedz-Siegien 等 (2004) 小麦芽脱水过程中 SOD 和 CAT 的活性一直增加的结果不一致。具体原因还需要进一步研究探讨。

本研究表明, 玉米胚的脱水耐性在慢速脱水时较高 (图 5)。这与不同脱水速率对大豆、胡萝卜、黑云杉 (black spruce) 体细胞胚的影响相似 (Obendorf 等, 1998; Wolkers 等, 1999; Bomal 等, 2002), 与顽拗性种子的情况相反 (Berjak and Pammenter, 2001)。慢速脱水条件下胚萌发率高, 可能是因为慢速脱水使细胞发生了保护性的变化, 从而增强了脱水耐性; 而快速脱水时细胞还未发生保护性变化, 引起对细胞膜的伤害 (Kermode and Finch-Savage, 2002)。Liang 和 Sun (2000) 研究可可 (*Theobroma cacao*) 胚轴时发现, 快速和慢速脱水都对可可胚轴有害, 在含水量较高时电解质渗漏就开始增加, 存活率降低; 最大的脱水耐性是在相对湿度 88 % 和 91 % 之间的脱水速率得到的。他们还发现, 对胚性组织有害的累积脱水胁迫在慢速脱水条件下迅速增加 (Liang and Sun, 2002)。玉米胚经过快速和慢速脱水后, 它们在 SOD 和 APX 活性方面的差别很明显: SOD 和 APX 活性比慢速脱水高 (图 6), 但 CAT 活性几乎没有变化。Niedzwiedz-Siegien 等 (2004) 也发现, 小麦芽快速脱水伤害比慢速脱水时大, 两种脱水处理中 CAT 的活性无明显差异。可能是因为这些酶位于不同细胞器, 而酶活性变化与细胞器活性变化相关或者与脱水过程中它们的分化相关 (Vertucci and Farrant, 1995)。

致谢 本实验得到种子生物学组老师和同学的大力支持, 刘勇对文章的修改提出了具有建设性的建议。

参 考 文 献

- Aebi HE, 1983. Catalase [A]. In Bergmeyer HU (ed). Methods of Enzymatic Analyses [M]. Weinheim: Verlag Chemie, Vol 3, 273—282
- Bailly C, Audifier C, Ladonne F, *et al*, 2001. Changes in oligosaccharide content and antioxidant enzyme activities in developing bean seeds as related to acquisition of drying tolerance and seed quality [J]. *J Exp Bot*, **52**: 701—708
- Bailly C, 2004. Active oxygen species and antioxidants in seed biology [J]. *Seed Sci Res*, **14**: 93—107
- Bailly C, Leymarie J, Rousseau S, *et al*, 2003. Sunflower seed development as related to antioxidant enzyme activities [A]. In Nicolas G, Bradford KJ, Côme D, Pritchard HW eds. The Biology of Seeds: Recent Research Advances [M]. Wallingford: CABI publishing, 69—75
- Bailly C, Leymarie J, Lehner A, *et al*, 2004. Catalase activity and expression in developing sunflower seeds as related to drying [J]. *J Exp Bot*, **55**: 475—483
- Berjak P, Pammenter NW, 2001. Seed recalcitrance-current perspectives [J]. *South African J Bot*, **67**: 79—89
- Bomal C, Quy LV, Tremblay FM, 2002. Induction of tolerance to fast desiccation in black spruce (*Picea mariana*) somatic embryos: relationship between partial water loss, sugars, and dehydrins [J]. *Physiol Plant*, **115**: 523—530
- Bradford MM, 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [J]. *Anal Biochem*, **72**: 248—254
- Donahue JL, Okpodu MC, Cramer CL, *et al*, 1997. Responses of antioxidants to paraquat in pea leaves [J]. *Plant Physiol*, **113**: 249—257
- Farrant JM, Berjak P, Pammenter NW, 1985. The effect of drying rate on viability retention of propagules of *Avicennia* [J]. *South African J Bot*, **51**: 432—438
- Hendry GAF, Finch-Savage WE, Thorpe PC, *et al*, 1992. Free radical processes and loss of seed viability during desiccation in the recalcitrant species *Quercus robur* L [J]. *New Phytologist*, **122**: 273—279
- Hendry GAF, Thorpe PC, Merzlyak MN, 1993. Stress indicators: lipid peroxidation [A]. In Hendry GAF, Grime JP (eds). Methods in Comparative Plant Ecology [M]. London: Chapman & Hall, 154—156
- Hoekstra FA, Taiz L, Santa S, *et al*, 2002. Plant Physiology (Third edition) [M]. Sunderland: Sinauer Associates Inc
- Kermode AR, 1995. Regulatory mechanisms in the transition from seed development to germination: interactions between embryo and the seed environment [A]. In Kigel J, Galili G. ed. Seed Development and Germination [M]. New York: Marcel Dekker Inc, 273—332
- Kermode AR, Finch-Savage BE, 2002. Desiccation sensitivity in orthodox and recalcitrant seeds in relation to development [A]. In: Black M and Pritchard HW eds. Desiccation and Survival in Plants: Drying Without Dying, Oxon [M]. New York: CABI Publishing, 149—184
- Leprince O, Buitink J, Hoekstra FA, 1999. Axes and cotyledons of recalcitrant seeds of *Castanea sativa* Mill. Exhibit contrasting responses of respiration to drying in relation to desiccation sensitivity [J]. *J Exp Bot*, **50**: 1515—1524
- Leprince O, Hendry GAF, McKersie BD, 1993. The mechanisms of desiccation tolerance in developing seeds [J]. *Seed Sci Res*, **3**: 231—246
- Leprince O, Hoekstra FA, Harren EJM, 2000. Unravelling the responses of metabolism to dehydration points to a role for cytoplasmic viscosity in desiccation tolerance [A]. In: Black M, Bradford KJ, Vasquez-Ramos J Eds. Seed Biology: Advances and Application. Oxon [M]. New York: CABI Publishing, 57—66
- Liang Y, Sun Q, 2000. Desiccation tolerance of recalcitrant *Theobroma cacao* embryonic axes: the optimal drying rate and its physiological basis [J]. *J Exp Bot*, **51**: 1911—1919
- Liang Y, Sun Q, 2002. Rate of dehydration and cumulative desiccation stress interacted to modulate desiccation tolerance of recalcitrant Cocoa and Ginkgo embryonic tissues [J]. *Plant Physiol*, **128**: 1323—1331
- Nakano Y, Asada K, 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts [J]. *Plant Cell Physiol*, **22**: 867—880

- Niedzwiedz-Siegien I, Bogatek-Leszczynska R, Côme D, *et al*, 2004. Effects of drying rate on dehydration sensitivity of excised wheat seedling shoots as related to sucrose metabolism and antioxidant enzyme activities [J]. *Plant Sci*, **167**: 879—888
- Obendorf RL, Dickerman AM, Pflum TM, *et al*, 1998. Drying rate alters soluble carbohydrates, desiccation tolerance, and subsequent seedling growth of soybean (*Glycine max* L. Merrill) zygotic embryos during in vitro maturation [J]. *Plant Sci*, **132**: 1—12
- Oliver AE, Leprince O, Wolkers WF, *et al*, 2001. Non-disaccharide-based mechanisms of protection during drying [J]. *Cryobiol*, **43**: 151—167
- Pammenter NW, Berjak P, 1999. A review of recalcitrant seed physiology in relation to desiccation-tolerance mechanisms [J]. *Seed Sci Res*, **9**: 13—37
- Qian CM (钱春梅), Lei YB (类延宝), Song SQ (宋松泉), 2004. Effect of pre-imbibition on the desiccation-tolerance of imbibed *Vigna radiata* seeds [J]. *Acta Bot Yunnan (云南植物研究)*, **26** (6): 661—667
- Smirnoff N, 1993. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation [J]. *New Phytologist*, **125**: 27—58
- Song SQ (宋松泉), Long CL (龙春林), Yin SH (殷寿华), *et al*, 2003. Desiccation behavior of seeds and their molecular mechanisms [J]. *Acta Bot Yunnan (云南植物研究)*, **25** (4): 465—479
- Sun WQ, Leopold AC, 1993. Acquisition of desiccation tolerance in soybeans [J]. *Physiol Plant*, **87**: 403—409
- Vertucci CW, Farrant JM, 1995. Acquisition and loss of desiccation tolerance [A]. In Kigel J, Galili G (eds). *Seed Development and Germination* [M]. New York: Marcel Dekker Inc, 237—271
- Wesley-Smith J, Pammenter NW, Berjak P, *et al*, 2001. The effects of two drying rate on the desiccation tolerance of embryonic axes of recalcitrant jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lamk.) seeds [J]. *Ann Bot*, **88**: 653—664
- Wolkers WF, Tetteroo FAA, Alberda M, *et al*, 1999. Changed properties of the cytoplasmic matrix associated with desiccation tolerance of dried carrot somatic embryos. An in situ fourier transform infrared spectroscopic study [J]. *Plant Physiol*, **120**: 153—163

* * * * *

欢迎订购《云南植物研究》1—25 卷全文数据库 DVD 光盘

《云南植物研究》系中国生物学类科技核心期刊, 中国自然科学核心期刊。内容涉及植物区系地理学、植物资源学、植物化学、新药开发等领域, 是一本植物学综合性学术期刊。为了帮助读者方便、快速地查找、阅读、分享《云南植物研究》自创刊以来的所有科技论文, 我们整理出版了《云南植物研究》1—25 卷光盘版 (DVD-ROM)。该光盘将《云南植物研究》自 1979 年创刊以来 (包括 14 期增刊在内) 25 年的所有科技论文生成数据库, 并将全文生成 PDF 便携格式, 从而开发出便于携带、阅读和收藏的光盘。同时, 光盘采用了中、英文两种语言, 满足了不同语言文字的需要, 并且该光盘无需安装, 放入光盘便可自动运行该程序, 可以方便地使用, 是国内外从事植物学的科研人员、教师及企业、公司研发人员的重要文献资源。

光盘中为读者提供了按年代及卷册的索引检索、快速的主题词检索及精确的组合检索三种检索方式。在检索到目标之后, 不仅可以看到摘要在内题录的所有内容, 而且可以阅读和打印该论文的全文。

此次出版也以纪念《云南植物研究》创刊 25 周年为目的。因此该光盘具有很高的收藏价值。本光盘由中科院昆明植物研究所科技信息中心承担完成, 由云南人民电子音像出版社出版, 是一本高质量的电子出版物。需要购买者请与《云南植物研究》编辑部联系。

地址: 云南省昆明市黑龙潭 中国科学院昆明植物研究所 联系人: 刘艾琴

邮编: 650204; 电话: (0871) 5223032; 传真: (0871) 5223163

电子邮件: bianji@mail.kib.ac.cn 定价: 150.00 元 (包括邮费)