

文章编号: 1001-1498(2006)06-0734-06

高 CO₂ 和纯 N₂ 冲击处理对板栗货架期萌芽及激素含量变化的影响

梁丽松, 王贵禧*

(中国林业科学研究院林业研究所, 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091)

摘要:以‘燕昌’板栗为试材,研究了 50% CO₂和纯 N₂冲击处理 5 d和 10 d对经过 0 ~ 7个月冷藏板栗的货架期呼吸强度、发芽率和胚芽内几种激素 (ABA、GA₃、IAA、ZR)含量变化的影响。结果表明:(1)纯 N₂冲击处理对板栗货架期呼吸强度有明显的抑制作用,但 50% CO₂冲击处理与对照差异不明显;(2)50% CO₂冲击处理可明显抑制板栗的发芽,货架期结束时,处理 5 d和 10 d的板栗发芽率分别为 2.07%和 3.65%,显著低于对照(18.06%);而纯 N₂冲击处理则显著促进板栗发芽,货架期结束时,处理 5 d和 10 d的板栗发芽率分别为 45.04%和 39.69%;(3)50% CO₂冲击处理可明显提高板栗胚芽中 ABA含量及 ABA/GA₃比值,而纯 N₂冲击处理使板栗胚芽中 ABA含量下降,ABA/GA₃比值降低;(4)虽然各冲击处理的 IAA和 ZR含量与发芽率之间没有表现出明显的相关性,但 50% CO₂冲击处理后 ABA/ZR比值较大,纯 N₂冲击处理 10 d明显抑制了 ABA/ZR比值,这与各处理影响板栗发芽的结果基本一致。

关键词:板栗;货架期;呼吸;萌芽;激素;50% CO₂;纯 N₂

中图分类号: S759.8

文献标识码: A

Effect of High CO₂ and N₂ Shock Treatment on the Sprouting and Hormone Content of Chinese Chestnut (*Castanea mollissima* Blume) during Shelf-life

LIANG Li-song, WANG Gui-xi*

(Research Institute of forestry, CAF; Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China)

Abstract: In this paper, the effect of 50% CO₂ and 100% N₂ shock treatment for 5 d and 10 d on the respiration, sprouting and hormone contents (ABA, GA₃, IAA, ZR) of Chinese Chestnut (*Castanea mollissima* Blume, cv. ‘Yan-chang’), which was stored for seven months at 0 °C, during shelf-life were studied. The research showed that 100% N₂ treatments promoted the respiration, while 50% CO₂ treatments inhibited the respiration of chestnut in shelf-life. 50% CO₂ and 100% N₂ treatments could affect the sprouting of chestnut remarkably. The rates of sprouting of 50% CO₂ treatment for 5 d and 10 d were 2.07% and 3.65% respectively, while those of 100% N₂ treatments for 5 d and 10 d were 45.04% and 39.69% respectively, which were much different from the control (18.06%) at the end of the shelf life. 50% CO₂ treatment increased the ABA content and the ratio of ABA/GA₃, 100% N₂ treatment decreased the ABA content and the ratio of ABA/GA₃ in the embryonic bud. Though the contents of IAA and ZR had not showed the close relationship with the sprouting, 50% CO₂ treatment increased the ratio of ABA/ZR, 100% N₂ treatment decreased the ratio of ABA/ZR, which were basically related to the sprouting rate.

Key words: chestnut; shelf-life; respiration; sprout; hormone; 50% CO₂; 100% N₂

收稿日期: 2005-11-15

基金项目: 国家林业局“948”项目: “板栗等果品贮藏保鲜技术引进”的部分内容

作者简介: 梁丽松 (1972—), 女, 硕士, 副研究员, 从事林果采后生理、病理与保鲜技术研究。

*通讯作者

板栗 (*Castanea mollissima* Blume) 是我国主要的经济林树种。我国板栗具有香、甜、糯的独特风味,品质高居世界之首,是我国出口创汇的主要果品之一。板栗是顽拗性种子,含水量高(通常可达 400~600 g·kg⁻¹),采后呼吸强度大,贮藏过程中极易失水、腐烂、发芽,丧失食用价值和商品价值。目前,通过冷藏、气调等贮藏方式已延长了板栗的贮藏保鲜期,甚至达到周年供应,但关于板栗货架期保鲜方面的研究还鲜见报道。发芽是板栗货架期最严重的问题之一,抑制板栗货架期发芽是实现板栗高效流通的重要措施。板栗种子具有生理休眠特性,当生理休眠解除后,板栗在适宜条件下可以萌发。低氧、高 CO₂、低温等环境条件可以诱导顽拗性种子产生次生休眠或强制休眠,进而抑制发芽^[1]。板栗货架期环境温度较高,当板栗度过生理休眠期并从低温环境进入较高的室温环境时,在很短的时间内迅速萌发,导致商品价值丧失。种子休眠除受环境因素影响外,还与其本身的生理状态等密切相关。1960年, Villiers 和 Wareing 在研究欧洲白蜡树种子的基础上,提出了发芽抑制物和促进物之间作用的概念;1968年, Amen 提出种子休眠状态决定于内源抑制物和促进物的平衡,这一观点目前被人们普遍接受^[2]。本文在研究高 CO₂和纯 N₂冲击处理对板栗货架期品质变化的基础上^[3],探讨了 50% CO₂和纯 N₂冲击处理对板栗货架期发芽和内源激素含量变化的影响,为板栗货架期保鲜提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验用的“燕昌”板栗 (*C. mollissima* Blume, cv. Yanchang) 于 2002年 9月 26日采收于北京市昌平区,采后即入 -2~0℃ 冷库预冷 48 h 后,装入打孔聚乙烯塑料薄膜保鲜袋 (PE袋) 中冷藏至次年 5月上旬。

1.2 货架期前冲击处理

出库前在 0℃ 冷库内分别用 50% CO₂ (其余为 N₂) 和纯 N₂ (100% N₂) 进行冲击处理,每个处理用果量 10 kg, 3次重复。将冷藏板栗置于 20 L 广口瓶中,由进气口通入已配制好的气体,出气口与大气相通。各组处理时间分为 5、10 d, 处理结束后将板栗取出,装入打孔 PE袋于常温 (26~28℃) 下模拟货架期放置,以不做任何处理的板栗为对照。每 3 d

取样 1次进行调查和测定。

1.3 调查项目和测定指标

1.3.1 呼吸强度 气相色谱法测定。将 1 kg 板栗放入干燥器内密封 1 h, 取 1 mL 气样用 SQ-206 气相色谱测定 CO₂ 的浓度。色谱条件: FD 检测器, 温度 120℃; GDX-502 填充柱, 温度 70℃; 转化炉温度 360℃; 载气为 N₂ (压力 0.1 MPa), 燃气为 H₂ (压力 0.105 MPa), 助燃气为空气 (压力 0.144 MPa)。外标法定量, 重复 6 次。

1.3.2 发芽率 各处理随机取 30 粒板栗进行调查, 以胚芽萌动即视为发芽, 统计发芽率。

1.3.3 激素含量 植物激素酶联免疫测定法 (ELISA) (试剂盒及测定方法由中国农业大学农学与生物技术学院提供) 测定脱落酸 (ABA)、赤霉素 (GA₃)、吲哚乙酸 (IAA)、玉米素核苷 (ZR)。激素的提取: 称取 0.2 g 板栗胚芽鲜样, 加 2 mL 提取液 (80% 甲醇, 内含 1 mmol·L⁻¹ BHT——二叔丁基对甲苯酚, 为抗氧化剂, 先用甲醇溶解 BHT, 再配成 80% 的浓度), 冰浴下研磨成匀浆, 摇匀后在 4℃ 下放置 4 h, 1 000 ×g 离心 15 min, 取上清液记录体积。上清液过 C-18 固相萃取柱, 过柱后的上清液转入 5 mL 塑料离心管中, 真空浓缩干燥, 用样品稀释液定容。

1.4 数据处理

实验数据用 SPSS 软件进行统计处理, 采用 ANOVA 进行邓肯氏多重差异分析。

2 结果与分析

2.1 板栗货架期呼吸强度的变化

由图 1 可见, 在货架期初始, 对照板栗的呼吸强度明显低于各处理, 但随货架期的延长总体呈上升趋势, 至第 12 天货架期结束时, 对照板栗的呼吸

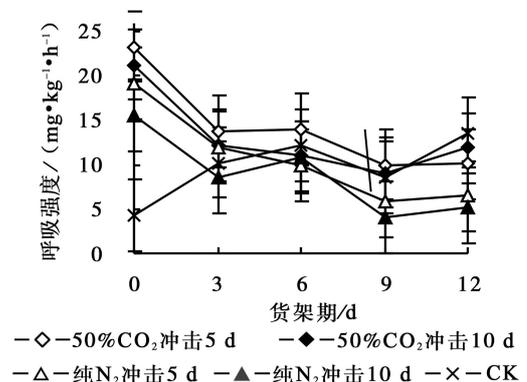


图 1 板栗货架期呼吸强度的变化

强度达最高。50% CO₂和纯 N₂冲击处理对板栗的呼吸有较大影响,在货架期初始,各处理板栗的呼吸强度显著高于对照 ($P < 0.01$),且 50% CO₂处理高于纯 N₂处理,冲击处理 5 d 高于冲击处理 10 d; 货架期 6 d 以后,纯 N₂处理的板栗呼吸强度明显降低,显著低于 50% CO₂处理和对照 ($P < 0.05$),而 50% CO₂冲击处理的板栗呼吸强度与对照相当,无显著差异。

2.2 板栗货架期发芽率的变化

由图 2 可见,在整个货架期内,50% CO₂和纯 N₂冲击处理对板栗的发芽率均有较大影响,与对照相比,纯 N₂冲击处理显著促进了板栗发芽 ($P < 0.01$),而 50% CO₂冲击处理明显抑制了板栗发芽 ($P < 0.01$)。对照板栗的发芽率在货架期前 6 d 随时间的延长逐渐升高,至第 6 天时达最大值 (17.36%); 纯 N₂处理板栗的发芽率在货架期前 3 d 急剧升高,至第 3 天时,处理 5、10 d 的板栗发芽率分别为 43.51% 和 35.88%,之后没有明显增加; 50% CO₂处理板栗的发芽率在货架期前 6 d 略有升高,第 6 天时,处理 5 d 和 10 d 的板栗发芽率分别为 2.07% 和 3.65%; 货架期 6 d 以后,各处理和对照板栗的发芽率均不再增加。

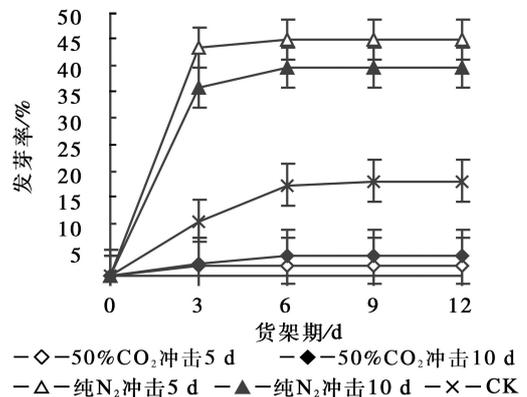


图 2 板栗货架期发芽率的变化

2.3 板栗种子胚芽激素含量的变化

2.3.1 货架期 ABA 含量的变化

由表 1 看出,在货架期前 3 d,对照板栗的 ABA 含量升高至最大值,此后随货架期的延长逐渐降低,尤其在货架期 9 d 以后迅速下降。与对照相比,50% CO₂冲击处理板栗的 ABA 含量在货架期初始明显升高,显著高于对照 ($P < 0.01$),随货架期的延长,冲击处理 5、10 d 板栗的 ABA 含量分别在货架期的第 6 天和第 3 天降至最低点,此后再次升高。纯 N₂冲击处理板栗的 ABA 含量在货架期初始与对照相当,此后呈降低趋势,并显著低于对照,但在货架期第 12 天时含量回升。

表 1 货架期 ABA 含量的变化

处理	ABA 含量 / (ng · g ⁻¹)					
	处理前	货架期 / d				
		0	3	6	9	12
CK	179.55	179.55a	256.28d	220.33e	206.41d	64.20a
50% CO ₂ -5 d	179.55	230.50c	392.97e	59.42b	130.30c	118.05d
50% CO ₂ -10 d	179.55	368.18d	63.72b	159.53d	115.66b	82.98b
纯 N ₂ - 5 d	179.55	161.27ab	124.28c	91.06c	69.44a	107.42c
纯 N ₂ - 10 d	179.55	195.97b	11.35a	24.66a	63.84a	146.42e

注:表中大小写字母表示 $P = 5\%$ 差异显著,以下同。

2.3.2 货架期 GA₃ 含量及 ABA/GA₃ 比值的变化

由表 2 看出,在货架期前 3 d,对照、50% CO₂冲击处理 10 d 和纯 N₂冲击处理 10 d 板栗的 GA₃ 含量显著降低,并在第 3 天时降到最低值,此后则随货架期的延长逐渐升高,第 9 天后又略有降低。与对照相比,在货架期初始,50% CO₂冲击处理 10 d 板栗的 GA₃ 含量高于对照 ($P < 0.01$),而其它处理均显著低于对照 ($P < 0.01$)。在整个货架期内,50% CO₂冲击处理 5 d 和纯 N₂冲击处理 5 d 板栗的 GA₃ 含量的变化趋势基本一致,即在货架期第 3 天达最大值后迅速

下降,第 9 天后又略有升高。

由表 2 还看出,在货架期内,对照板栗的 ABA/GA₃ 比值在第 3 天达最大值 (1.69),随后逐渐降低;在货架期初始,各处理板栗的 ABA/GA₃ 比值均高于对照,且 50% CO₂冲击处理板栗的 ABA/GA₃ 比值显著高于纯 N₂冲击处理的;在货架期期间,纯 N₂处理板栗的 ABA/GA₃ 比值总体低于 50% CO₂冲击处理和对照,这一点与纯 N₂处理促进发芽的结果相一致。

表 2 货架期 GA₃含量及 ABA / GA₃比值的变化

处理	GA ₃ 含量 / (ng · g ⁻¹)					ABA / GA ₃ 比值						
	处理前	货架期 /d					处理前	货架期 /d				
		0	3	6	9	12		0	3	6	9	12
CK	253.87	253.87d	151.44c	164.82b	272.81c	241.39d	0.71	0.71	1.69	1.34	0.76	0.27
50% CO ₂ -5 d	253.87	184.91b	269.03d	182.83c	116.03a	130.24b	0.71	1.25	1.46	0.33	1.12	0.91
50% CO ₂ -10 d	253.87	292.70e	97.60b	149.84a	165.69b	104.73a	0.71	1.26	0.65	1.06	0.70	0.79
纯 N ₂ -5 d	253.87	158.61a	264.02d	176.51bc	113.12a	191.93c	0.71	1.02	0.47	0.52	0.08	0.56
纯 N ₂ -10 d	253.87	217.15c	76.82a	204.77d	175.82b	106.31a	0.71	0.90	0.15	0.12	0.36	1.38

2.3.3 货架期 IA 含量及 ABA / IA 比值的变化由表 3 看出,对照板栗的 IA 含量在第 6 天达到峰值 (467.00 ng · g⁻¹ FW),且显著高于货架期初始时的值 ($P < 0.01$),与前 6 d 呼吸和发芽的快速上升相一致。50% CO₂和纯 N₂冲击处理对板栗胚芽 IA 含量有较大影响,冲击处理结束时,除纯 N₂处理 5 d 与对照差异不显著外,其它处理板栗的 IA 含量均显著增加,且 50% CO₂和纯 N₂冲击处理 10 d 的板栗 IA 含量均达到最大值 (前者显著高于后者, $P < 0.01$);在以后的货架期内,二者均迅速降低,直到货

架期第 6 天时 IA 含量达到最低点,之后二者的 IA 含量再次升高 (后者显著高于前者, $P < 0.01$)。纯 N₂冲击处理 5 d 的板栗 IA 含量在货架期的前 9 d 始终保持较低的水平,显著低于其它处理的值 ($P < 0.05$),在货架期结束时才显著升高。50% CO₂冲击处理 5 d 的板栗 IA 含量在货架期的前 3 d 逐渐升高,随后显著降低,到货架期 12 d 时再次升高,并达到最大值 (820.75 ng · g⁻¹ FW),显著高于其它处理和对照。IA 含量的变化与发芽率的变化没有表现出密切的相关性。

表 3 货架期 IA 含量及 ABA / IA 比值的变化

处理	IA 含量 / (ng · g ⁻¹)					ABA / IA 比值						
	处理前	货架期 /d					处理前	货架期 /d				
		0	3	6	9	12		0	3	6	9	12
CK	251.21	251.21a	237.30a	467.00d	268.78b	335.47a	0.71	0.71	1.08	0.47	0.77	0.72
50% CO ₂ -5 d	251.21	385.78b	504.07e	257.27ab	129.26a	820.75d	0.71	0.60	0.78	0.23	1.01	0.19
50% CO ₂ -10 d	251.21	1101.57d	322.84c	277.74bc	461.81c	603.04b	0.71	0.33	0.20	0.57	0.25	0.17
纯 N ₂ -5 d	251.21	211.53a	270.54b	287.05c	149.35a	675.43c	0.71	0.76	0.46	0.32	0.06	0.28
纯 N ₂ -10 d	251.21	780.55c	443.49d	251.43a	710.47d	385.48a	0.71	0.25	0.03	0.10	0.09	0.28

从表 3 还看出,在货架期期间,50% CO₂和纯 N₂冲击处理板栗的 ABA / IA 比值从整体上看低于对照;50% CO₂冲击处理 5 d 的板栗 ABA / IA 比值总体上显著高于处理 10 d 的板栗;纯 N₂冲击处理的板栗 ABA / IA 比值整体上低于 50% CO₂冲击处理的板栗,且纯 N₂冲击处理 5 d 板栗的 ABA / IA 比值显著高于处理 10 d 的值 ($P < 0.01$)。

2.3.4 货架期 ZR 含量及 ABA / ZR 比值的变化从表 4 可以看出,对照板栗的 ZR 含量在货架期 3 d 时达最大值 (34.40 ng · g⁻¹),与同期板栗发芽率的快速上升相一致。在货架期内,50% CO₂冲击处理 10 d 板栗的 ZR 含量逐步升高并显著高于处理 5 d 的值 ($P < 0.01$),该处理的 ZR 含量主要在货架期的后期明显上升,所以对发芽没有明显的促进作用。

纯 N₂冲击处理 10 d 板栗的 ZR 含量总体显著高于其它处理和对照的值 ($P < 0.01$),这似乎与纯 N₂处理促进发芽有关,但纯 N₂处理 5 d 的板栗在处理结束时及货架期 3 d 时的 ZR 含量并不高,说明板栗的发芽可能还受其它因素的制约。

从表 4 还看出,对照板栗的 ABA / ZR 比值在货架期前期较低,与货架期发芽率快速上升相一致,第 6 天时急剧升高,且达最大值 (35.88),此后发芽率不再升高。50% CO₂处理 5、10 d 的板栗分别在货架期 3 d 和货架期初始时 ABA / ZR 比值较大,可能与抑制板栗发芽有关。纯 N₂处理 10 d,明显抑制了 ABA / ZR 比值的增加,并且在整个货架期内一直较低。

表 4 货架期 ZR 含量及 ABA/ZR 比值的变化

处理	ZR 含量 / (ng · g ⁻¹)						ABA / ZR 比值					
	处理前	货架期 / d					处理前	货架期 / d				
		0	3	6	9	12		0	3	6	9	12
CK	11.40	11.40b	34.40d	6.14a	11.79a	17.73a	15.75	15.75	7.45	35.88	17.51	3.62
50% CO ₂ -5 d	11.40	12.40bc	6.83a	11.04b	21.72c	16.83a	15.75	18.59	57.54	5.38	6.00	7.01
50% CO ₂ -10 d	11.40	12.91bc	19.08b	19.97c	39.74d	28.42c	15.75	28.52	3.34	8.01	2.91	2.92
纯 N ₂ -5 d	11.40	7.95a	7.66a	20.14c	18.95b	25.51b	15.75	20.29	16.22	4.52	0.50	4.21
纯 N ₂ -10 d	11.40	14.14c	30.35c	31.12d	55.09e	91.69d	15.75	13.86	0.37	0.79	1.16	1.60

3 讨论

种子的休眠与萌芽受形态结构、生理作用、生态因素等调节。通常种子在萌发过程中呼吸作用增强^[2],从本研究的对照看,在货架期的前 6 天,板栗呼吸强度的上升和发芽率的上升是一致的;但 50% CO₂和纯 N₂处理的呼吸强度及发芽率的变化不一致,如 50% CO₂冲击处理显著抑制了板栗萌芽但呼吸强度却高于纯 N₂处理,而纯 N₂冲击处理促进了板栗萌芽但呼吸强度反而低于高 CO₂处理。可见,在经受了外界逆境处理的情况下,可能改变了板栗内部的生理代谢途径。

激素的协同作用是调节生物代谢的一个重要因素。种子的休眠与萌芽是由赤霉素(GA)、细胞分裂素(CTK)和发芽抑制物(如 ABA 等)这三因素决定的,GA 在调节种子萌发中起原初作用,抑制物起抑制作用,而 CTK 则起着解抑制作用^[2]。ABA 在种子发育、萌发和休眠等许多生理生化过程中都起着重要作用^[4,5],而种子休眠的打破通常与 ABA 水平的降低相关^[6~9]。本研究显示,50% CO₂处理总体上促进了 ABA 含量的上升,纯 N₂处理总体上降低了 ABA 的含量,与高 CO₂处理抑制板栗的发芽而纯 N₂处理促进了板栗发芽的结果基本一致。有证据显示,植物体存在逆境反应系统,在逆境下植物启动 ABA 合成系统,合成大量 ABA,增强植株抵抗逆境的能力^[10~13]。吴奇^[14]研究指出,CO₂对冷藏板栗萌芽的抑制作用可能是由于高 CO₂有利于板栗胚内 ABA 相对含量升高所致,但关于本研究中纯 N₂(缺 O₂)逆境处理抑制 ABA 合成的机理还不清楚。GA₃可以促进种子发芽也已被许多实验证明了^[8,9,15]。在休眠种子中,GA 对于种皮强迫休眠和胚性休眠这两类休眠种子的萌发都有促进作用^[5]。徐凯等^[16]研究发现,板栗种子去内果皮后,发芽率显著提高,而内果皮中的 ABA 含量远低于种皮,说明内果皮的机械阻力和透气性是导致种子休眠的重要因素之

一;板栗种皮一旦剥除,休眠即可打破是因为种皮内 ABA 含量高,而 GA 主要存在于种胚和子叶中,剥除种皮后,使 GA/ABA 比值提高,故可打破休眠,促进萌发,说明种皮内 ABA 是导致板栗种子休眠的另一重要因素。本文纯 N₂处理板栗的 ABA/GA₃比值总体低于 50% CO₂处理和对照,这一点与纯 N₂处理促进发芽的结果相一致。在高等植物中,CTK 多为玉米素或玉米素核苷(ZR),种子在萌发过程中,CTK 代谢非常旺盛,是解除休眠的主要因子。CTK 可直接参与种子萌发中各种物质和能量代谢的调节过程,也可通过与其它激素的相互作用,并参与基因表达的调控,在转录和翻译水平上影响着植物种子的生理状况与形态建成^[10]。种子在不同时期各种激素浓度的变化是由于种子的代谢活动与所处的生态条件使然的^[10,13]。板栗芽在未萌动、萌动和发芽三种状态下 CTK 和 IAA 呈上升趋势^[14,17]。本研究中对照板栗的 IAA 和 ZR 含量在货架期的前期显著升高,与同期的呼吸强度和发芽率的快速增加相一致。虽然各处理 IAA 和 ZR 含量的变化与发芽率的变化没有表现出密切的相关性,但 50% CO₂处理 5 d 和 10 d 的板栗分别在货架期 3 d 和货架期初始时 ABA/ZR 比值较大,纯 N₂处理 10 d 明显抑制了 ABA/ZR 比值的增加,这与各处理影响板栗发芽的结果基本一致。

参考文献:

- [1] 王贵禧,梁丽松,宗亦臣.贮藏板栗休眠与萌芽的温度调控[J].林业科学,1999,35(3):29~33
- [2] 彭幼芬.种子生理学[M].湖南:中南工业大学出版社,1994:61~84
- [3] 梁丽松,王贵禧.高 CO₂和纯 N₂冲击处理对板栗货架期品质变化的影响[J].林业科学研究,2005,18(3):236~240
- [4] 郑玉善.板栗和锥栗种子发育过程中 ABA 生理效应的研究[J].林业科学,1998,34(4):1~7
- [5] 余朝霞,黄雪群,方志尚,等. GA 对林木种子萌发的调控研究进展[J].浙江林业科技,2003,23(1):73~76,80
- [6] Tuan-hua David Ho, Aurelio Gomez-Cadenas, Rodolfo Zentella,

- et al* Crosstalk between gibberellin and abscisic acid in cereal aleurone[J]. *J Plant Growth Regulation*, 2003, 22: 185 ~ 194
- [7] Zeevaert J A D, Creelmann R A. Metabolism dissection of the gibberellin/abscisic acid[J]. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 1988, 39: 439 ~ 473
- [8] 刘永庆,罗泽民, Karssen C M,等. 赤霉素和脱落酸对番茄种子发芽的生理调控——文献综述 [J]. *园艺学报*, 1995, 22 (3): 267 ~ 271
- [9] Hocher V, Scotta B, Maldiney R, *et al* Changes in levels of abscisic acid and its β -D-glucopyranosyl ester during tomato embryogenesis[J]. *Physiol Plant (Suppl)*, 1990, 79: A28
- [10] Huang W Z, Hsiao A I Factors affecting dormancy and germination of Johnson grass, *Sorghum halepense* (L.) Pers [J]. *Weed Science*, 1988, 28: 1 ~ 12
- [11] 王少先,彭克勤,萧浪涛,等. 逆境下 ABA 的积累及触发机制 [J]. *植物生理学通讯*, 2003, 39 (5): 413 ~ 419
- [12] Wang X Q, Ullah H, Jones A M, *et al* G protein regulation of in channels and abscisic acid signaling in *A. thaliana* guard cells[J]. *Science*, 2001, 292: 2070 ~ 2072
- [13] Jia W S, Zhang J H, Liang J S Initiation and regulation of water deficit-induced abscisic acid accumulation in maize leaves and roots: cellular volume and water relations[J]. *J Exp Bot*, 2001, 52 (355): 295 ~ 300
- [14] 吴奇,韩继成,何钟佩. 冷藏期间板栗胚内激素含量的变化 [J]. *北京农业大学学报*, 1993, 19 (4): 11 ~ 14
- [15] Yamaguchi S, Smith M W, Brown R G, *et al* Phytochrome regulation and differential expression of gibberellin 3 β -hydroxylase genes in germinating *A. thaliana* seeds[J]. *Plant Cell*, 1998, 10: 2115 ~ 2126
- [16] 徐凯,孙启祥,肖圣元. 板栗种子休眠与萌发的研究 [J]. *中国农学通报*, 1998, 14 (1): 24 ~ 25, 28
- [17] 刘一和,胡小松,李全宏. 板栗长期冷藏技术研究 [A]. *食品科学论文集——纪念北京农业大学食品科学系成立十周年* [C]. 北京:北京农业大学出版社, 1994

www.cnki.net