α -NAA 及 UV-B 辐射对栝楼幼苗生长及蒸腾作用的影响

刘 芸^{1,2} 钟章成^{1*} 龙 云¹ 操国兴² Marinus J. A. WERGER³

(1 西南师范大学生命科学学院, 重庆 400715) (2 西南农业大学农学及生命科学学院, 重庆 400716)

(3 荷兰乌德列支大学植物生态系, 乌德列支 80084, 3508)

摘 要 研究了温室条件下紫外线-B(UV-B)辐射($0.029 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)和外施 α -萘乙酸(α -NAA)($2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$)相互作用对栝楼(*Trichosanthes kirilowii*)幼苗生长及蒸腾速率的影响。本实验设一个对照(T_0)和 3 个处理:外施 α -NAA(T_1), 增加 UV-B 辐射(T_2), 增加 UV-B 辐射并外施 α -NAA(T_3)。实验结果:增强 UV-B 辐射明显降低栝楼的株高及叶面积, 根、茎、叶重均较对照低, 因而总生物量也较对照低, 干物质积累量减少。UV-B 辐射增强, 对栝楼植株含水量几乎无影响, 但却明显增加叶气孔阻力, 降低蒸腾速率。与对照(T_0)相比, 外施 α -NAA(T_1)明显增加株高及叶面积, 根、茎、叶重均增加, 因而单株总生物量较对照增加, 但干物质积累量增幅不大, 植株水分含量较对照略高; 叶气孔阻力呈降低趋势, 蒸腾速率呈增大趋势。在有 UV-B 辐射下外施 α -NAA(T_3), 与 T_2 相比, 植株高度、叶重及叶面积降低趋势明显减轻, 但根、茎生物量, 单株总生物量及干物质积累量并无明显增加; 叶气孔阻力降低, 蒸腾速率增大。分析认为, 栝楼幼苗根系发达, 根冠比接近 1, 而 UV-B 辐射下补充 α -NAA 对根、茎影响小, 同时本试验处理时间短(5 周), 表现为对生物量增加及干物质积累量的影响效果不明显, 但株高、叶面积明显增加, 且在一定程度上减小了叶的气孔阻力, 增大了蒸腾速率。结果表明:UV-B 辐射能对栝楼的根、茎、叶生物量及干物质积累量产生影响, 同时也能引起栝楼叶气孔阻力增加及蒸腾速率降低, 但若同时外施 α -NAA, 则这种影响有减轻的趋势。该结果暗示, α -NAA 能增强栝楼幼苗对 UV-B 辐射的耐受能力, 可能是弥补了 UV-B 辐射引起的 IAA 含量的降低, 减少了内源 ABA 的积累, 减轻叶片气孔阻力, 增大蒸腾速率, 促进了植株生长。

关键词 栝楼 α -萘乙酸 UV-B 辐射 生长 扩散阻力 蒸腾速率

EFFECTS OF α -NAA AND UV-B RADIATION ON THE GROWTH AND TRANSPIRATION OF *TRICHOSANTHES KIRILOVII* SEEDLING

LIU Yun^{1,2} ZHONG Zhang-Cheng^{1*} LONG Yun¹ CAO Guo-Xing² and Marinus J. A. WERGER³

(1 Faculty of Life Science, Southwest China Normal University, Chongqing 400715, China)

(2 Department of Agronomy and Life Science, Southwest Agricultural University, Chongqing 400716, China)

(3 Department of Plant Ecology, Utrecht University, TB Utrecht 80084, 3508, Holland)

Abstract The depletion of the stratospheric ozone layer has been well documented. So ultraviolet-B (UV-B) radiation (280-320 nm) reaching the earth surface has increased since the 1970s. Although extensive studies were conducted about negative biological and ecological effects of enhanced UV-B radiation, little was known about the inside mechanism and effects of increased UV-B irradiation and feasible protective measures of plants. In this paper, the effects of naphthyl acetic acid (α -NAA) ($2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) and UV-B radiation ($0.029 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) on the growth and transpiration rate in pots in greenhouse-grown *Trichosanthes kirilowii* seedlings were investigated. Four treatments were included in the experiment: no addition of α -NAA and UV-B radiation (T_0), addition of α -NAA (T_1), exposure to enhanced UV-B radiation (T_2), addition of α -NAA and exposure to UV-B radiation (T_3). The results showed that enhanced UV-B radiation reduced the height and leaf area of plants, and the weight of roots, stems and leaves. As a result, total biomass and accumulation of dry matter were decreased. Exposure to UV-B radiation significantly increased the stomatal diffuse resistance and decreased the transpiration rate; however it hardly affected the water content of seedlings. Compared to the controls (T_0), addition of α -NAA (T_1) significantly increased the plant height, leaf area, weights of roots, stems and leaves as well as total biomass, but only slightly increased the dry matter weight and water content. In the fourth treatment (T_3), the reductions of plant height, leaf weight and leaf area were smaller than those in the third treatment (T_2). Moreover, the weight of roots, stems, total biomass and accumulation of dry matter in T_3

increased slightly. The analysis indicated that the seedlings have flourishing roots, RSR was nearly 1, and UV-B radiation scarcely affects roots. Since the experiment time period was short (five weeks), the effects on biomass and accumulation of dry matter when plants were given addition of α -NAA and exposed to UV-B (T_3) were not significant. However, the addition of α -NAA apparently reduced the effects of UV-B radiation on plant height and leaf area. The experiment showed that interaction of UV-B and α -NAA can mitigate the negative effects of UV-B radiation on the biomass of roots, stems, leaves and accumulation of dry matter, and can also decrease stomatal resistance of plant leaves and increase transpiration rates. The result suggests that the α -NAA can strengthen the ability of plant seedlings to suffer enhanced UV-B radiation. It is possible that α -NAA makes up for the decreased content of IAA caused by UV-B radiation and reduces the content of endogenous ABA, which reduces the stomatal resistance of plant leaves and consequently increases transpiration rate of plant leaves, promoting plant growth.

Key words *Trichosanthes kirilowii*, α -NAA, UV-B radiation, Biomass, Diffuse resistance, Transpiration rate

平流层臭氧(O_3)减少和由此导致的太阳紫外线-B(UV-B, 280 ~ 320 nm)辐射增强是人们普遍关注的全球环境问题之一。大量研究结果表明,增加 UV-B 辐射会影响植物生长及生理生化过程(Teramura, 1983; Barnes *et al.*, 1990; Kramer *et al.*, 1991; 侯扶江等, 1998; Kreslavski *et al.*, 2001)。Ros 和 Tevini (1995)认为 UV-B 对生长的影响可能是由于光解降低了吲哚乙酸含量或活性,继而引起细胞壁扩张性降低。Tevini 和 Teramura (1989)研究发现,外施 3-甲基氧吲哚可使植株下胚轴伸长受到抑制,植株矮化。可见,UV-B 辐射和外施 3-甲基氧吲哚对植株生长的影响类似。IAA 受光氧化后可形成光氧化产物 3-甲基氧吲哚。侯扶江等(1998)也认为 IAA 本身在 UV 波段有吸收峰,UV 辐射可能改变 IAA 的合成与分配,从而导致植株矮化。推测 UV-B 辐射使植株矮化,可能是由于改变了 IAA 的含量使其光氧化形成 3-甲基氧吲哚所致。本文以攀援植物栝楼(*Trichosanthes kirilowii*)为材料,选择植物生命周期中感受逆境最为敏感的幼苗期作为研究对象,外施 α -萘乙酸(α -NAA),在增强的 UV-B 辐射下培育栝楼幼苗,并测定其对栝楼幼苗生长及蒸腾作用的影响,进一步探讨 UV-B 辐射使植株矮化的内在机理;并试图探索 UV-B 辐射日益加剧后如何采取积极措施,保护人类赖以生存的植物资源和生态环境。目前这类工作报道较少,因而本研究在紫外辐射生态学和农业实践上都具有一定的理论和实践意义。

1 材料和方法

1.1 材料及处理方法

选择攀援植物栝楼的幼苗为实验材料。栝楼种子由重庆市药用植物研究院提供。种子经 5% 次氯酸钠消毒 30 min,用自来水冲洗,温水浸泡 24 h,盆播,置于温室内。昼夜温度 25 $^{\circ}\text{C}$ /12 $^{\circ}\text{C}$,光照强度为 320 ~ 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,相对湿度 70% $\pm$ 10%。

待长出 3 片真叶后将材料分为 4 组:第一组作为对照(T_0),不进行 UV-B 及 α -NAA 处理;第二组外施 α -NAA,但不进行 UV-B 处理(T_1);第三组进行 UV-B 处理,但不外施 α -NAA(T_2);第四组既用 UV-B 处理,又外施 α -NAA(T_3)。用国产紫外灯管(购自北京光源研究所)增加 UV-B 辐射(280 ~ 320 nm),用北京师范大学生产的 UV-B 辐射测定仪测 297 nm 处辐射强度。在预备实验的前提下,设计 T_2 和 T_3 增加的 UV-B 辐射强度均为 0.029 $\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (以植物冠层为准),不断调整灯管与植物冠层间的距离以保持植物接受恒定剂量的 UV-B 辐射,同时每天调换同一处理组中植株的位置,以保证同一处理组内植株接受的紫外辐射较为均匀。每天处理 8 h(9:00 ~ 17:00)。 T_1 和 T_3 同时外施 α -NAA,浓度为 2 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,隔天喷施 1 次。每天浇水 1 次,每 5 d 施 1 次稀释 3 倍的完全营养液。每隔 7 d 对各处理植株进行各项指标测定,重复 2 次,每项测定随机选取各处理植株 10 盆。

1.2 指标测定

随机取样,测定株高、叶面积、干鲜重(干重测定方法为 105 $^{\circ}\text{C}$ 杀青 30 min,再在 80 $^{\circ}\text{C}$ 烘干至恒重)、根冠比和含水量[(植株的鲜重减去干重)/植株的鲜重]。

用 LI-1600 型稳态气孔计测定叶片蒸腾速率和气孔阻力。测定时,选取已完全展开的生长状况和叶龄及叶位一致的叶片(从植株基部往上数)。

2 结果与分析

2.1 UV-B 辐射和 α -NAA 对栝楼生长的影响

UV-B 辐射能使栝楼植株明显矮化(图 1),在 UV-B 处理 7 d 后,这种矮化作用就十分明显。UV-B 处理的植株(T_2)各测定期株高分别较对照 T_0 降低 12.7%、21.7%、33.5%、39.3%、53.9%,可见,温室条件下栝楼对增强的 UV-B 辐射很敏感。

图1 UV-B辐射和 α -NAA相互作用对栝楼株高的影响
Fig.1 Effect of interaction of UV-B radiation and α -NAA on height of *Trichosanthes kirilowii* seedling
T₀:对照 Control T₁:外施 α -NAA Addition of α -NAA T₂:增加UV-B辐射 Enhanced UV-B radiation T₃:UV-B辐射下外施 α -NAA Addition of α -NAA and exposure to UV-B radiation

试验中还观察到,株高降低主要是节间缩短而不是节数减少,说明UV-B辐射并不是简单地延缓植物生长速度,而是与某些内在生长特性有关(Teramura, 1983; Hopkins *et al.*, 1996)。植物伸长生长受到细胞激动素、吲哚乙酸的影响,而吲哚乙酸在UV-B范围内吸收,并且在高UV-B时会发生光解(李元等, 2000),因而株高降低。外施 α -NAA可使栝楼生长加快,增加株高,即使在有UV-B辐射下,这种作用仍然存在,T₃处理各测定定期株高较T₂分别增加41.3%、34.2%、40.3%、42.1%、45.6%。而T₃处理在第七天和第十四天测定时,其株高较对照T₀分别高出23.4%、5.0%,随处理时间延长,到处理21、28、35 d测定时,T₃株高较对照T₀分别降低6.7%、13.8%、32.9%。可见,给栝楼幼苗外施 α -NAA,可减轻紫外辐射对其生长的影响。但随UV-B处理时间延长,即使在外施 α -NAA的情况下(T₃),UV-B处理的植株矮化作用也十分显著,说明在本试验中随时间延长,UV-B辐射影响的累积效应超过了 α -NAA对植株生长的影响效应。

UV-B辐射不但使栝楼植株矮化,还能造成栝楼的生物量下降(表1)。

UV-B辐射明显减少幼苗的生物量,从表1可以看出,幼苗的根、茎、叶鲜重及全株干重,UV-B辐射处理的都较未处理的明显降低,但对根冠比及水分含量没有影响。外施 α -NAA有利于提高幼苗生物量,但对根冠比及全株干重、水分含量无影响。UV-B辐射下外施 α -NAA可使栝楼根、茎、叶及全株生物量都有提高的趋势,尤其使叶鲜重及叶面积明显增加,植株干物质积累量也有增加的趋势,但对

根、茎鲜重及根冠比、水分含量影响不显著(T₂和T₃相比),因而两种处理下全株生物量无论干、鲜重并无显著差异。本试验说明UV-B辐射下 α -NAA的生理作用仍只是促进叶片扩大、茎伸长,而对根、茎鲜重及全株干、鲜重无明显影响。

2.2 UV-B和 α -NAA对气孔扩散阻力和蒸腾速率的影响

实验结果表明UV-B辐射明显地增加幼苗叶片的气孔阻力(图2)。随着处理时间的延长,T₀和T₁的气孔阻力下降,但T₂和T₃的气孔阻力均增加。T₂和T₀相比,各期气孔阻力分别增加9.9%、28.6%、52.9%、96.2%、168.7%。T₃和T₀相比,各期气孔阻力分别增加7.9%、22.4%、40.2%、61.9%、113.3%。可见外施 α -NAA有助于降低气孔扩散阻力,即使在有增强UV-B辐射处理条件下,这种作用仍然存在。

图2 UV-B辐射和 α -NAA相互作用对栝楼幼苗气孔扩散阻力的影响
Fig.2 Effect of interaction of UV-B radiation and α -NAA on stomatal diffuse resistance of *Trichosanthes kirilowii* seedling
T₀, T₁, T₂, T₃:同图1 See Fig.1

图3 UV-B辐射和 α -NAA相互作用对栝楼幼苗蒸腾速率的影响
Fig.3 Effect of interaction of UV-B radiation and α -NAA on transpiration rate of *Trichosanthes kirilowii* seedling
T₀, T₁, T₂, T₃:同图1 See Fig.1

表 1 UV-B 辐射和 α-NAA 相互作用对栝楼幼苗单株生物量的影响
Table 1 Effects of interaction of UV-B radiation and α-NAA on the biomass of single *Trichosanthes kirilowii* seedling

处理 Treatment	根鲜重 Root fresh weight (g)	茎鲜重 Stem fresh weight (g)	叶鲜重 Leaf fresh weight (g)	植株鲜重 Plant fresh weight (g)	植株干重 Plant dry weight (g)	含水量 Water content (%)	根冠比 RSR	叶面积 Leaf area (cm ²)
T ₀	1.695 ± 0.08 ^b	1.119 ± 0.10 ^b	0.597 ± 0.09 ^b	3.411 ± 0.13 ^b	0.420 ± 0.02 ^a	87.7 ± 3.3 ^a	0.987 ± 0.08 ^a	56.5 ± 1.6 ^b
T ₁	1.995 ± 0.11 ^a	1.212 ± 0.05 ^a	0.966 ± 0.07 ^a	4.173 ± 0.07 ^a	0.441 ± 0.07 ^a	89.4 ± 2.6 ^a	0.916 ± 0.04 ^a	68.8 ± 2.7 ^a
T ₂	1.315 ± 0.06 ^c	0.943 ± 0.06 ^c	0.392 ± 0.02 ^d	2.650 ± 0.14 ^c	0.339 ± 0.09 ^b	87.2 ± 1.0 ^a	0.985 ± 0.10 ^a	28.3 ± 1.9 ^d
T ₃	1.428 ± 0.05 ^c	0.951 ± 0.08 ^c	0.495 ± 0.04 ^c	2.874 ± 0.05 ^c	0.348 ± 0.03 ^b	87.9 ± 2.8 ^a	0.988 ± 0.07 ^a	37.3 ± 1.4 ^c

数据为平均值 ± 标准误 (n = 10), 同一列数据中字母不同者表示差异性显著 (p < 0.05) The values are means ± SE (n = 10). Data with different letters are significantly different (p < 0.05) in the same column T₀, T₁, T₂, T₃: 同图 1 See Fig. 1

UV-B 辐射能降低幼苗叶片的蒸腾速率,图 3 表明随 UV-B 处理时间的延长,蒸腾速率不断降低,而未经 UV-B 处理的 T₀ 和 T₁ 则随幼苗生长,蒸腾速率呈上升趋势。UV-B 辐射能降低幼苗气孔导度和蒸腾速率,这一现象与侯扶江等(1998)的结果一致。T₁ 处理结果表明外施 α-NAA 可提高叶片蒸腾速率,但若同时用 UV-B 处理(T₃),蒸腾速率仍呈下降趋势,与 T₀ 相比,其下降程度分别是 16.5%、29.6%、44.6%、60.0%、70.3%,只是较 T₂ 的下降程度(分别是 21.6%、39.8%、57.0%、74.0%、81.8%)有所减轻。细胞分裂素和生长素能促进气孔张开,而脱落酸则会使气孔关闭、降低蒸腾(王忠,2000)。本试验观察到,外施 α-NAA 能使叶扩散阻力减轻,蒸腾速率增加。UV-B 处理则有相反的作用,补充 α-NAA,这种影响减小。栝楼根系发达,正常情况下完全能满足植株生命活动所需水分及养分,但 UV-B 处理的栝楼幼苗叶鲜重、叶面积均较对照明显降低,因而降低了光合面积;同时 UV-B 辐射可以导致脱落酸积累(杨景宏等,2000),可能由此而增大了气孔扩散阻力,降低了蒸腾速率,不利于栝楼幼苗对水分和矿物质的吸收和运输,影响光合作用顺利进行,表现为植株生长缓慢,干物质积累减少(图 1,表 1)。

3 结 论

- 3.1 株高降低已经作为衡量植物对 UV-B 辐射敏感性的一个指标(李元等,2000)。UV-B 辐射增加使植株生长受抑,表现为矮化,植株各器官及总生物量增加均受到影响,干物质积累量也相应下降,试验结果与 Teramura 和 Murali (1986)一致。UV-B 辐射对栝楼根冠比无影响。
- 3.2 UV-B 辐射可导致气孔阻力增加,蒸腾速率下降,该结果与 Teramura (1983)的一致。UV-B 辐射对栝楼植株水分含量无影响。
- 3.3 α-NAA 为人工合成的生长素类物质,不受吲哚乙酸氧化酶的降解作用,能在植物体内保留较长时

间,比外用 IAA 有较大的稳定性,其对植物的作用与 IAA 类似,可使细胞壁介质酸化和蛋白质形成,最终表现出细胞长大的作用(王忠,2000)。本试验 T₁ 和 T₀ 相比,株高、叶面积及各生物量均显著增加,植株水分含量略有增加;而植株干物质积累量差异不明显。α-NAA 促进叶片扩大、茎伸长,因而 T₁ 与 T₀ 相比,T₃ 和 T₂ 相比,叶鲜重、叶面积、株高差异达显著水平。说明外施 α-NAA 可能补充了植物体内因 UV-B 辐射而引起的 IAA 含量的不足,从而促进植物生长。

3.4 UV-B 辐射导致植物内源激素 ABA 积累(杨景宏等,2000),可引起气孔阻力增加,气孔关闭,且 ABA 增加与 IAA、GA、CTK 含量减少密切相关(王忠,2000),如在 UV-B 辐射下水稻随着处理时间的延长,叶片内的 IAA 含量下降,ABA 含量上升(黄少白等,1998)。NAA、IAA、GA₃、6-BA 均与 ABA 有拮抗作用,使植物内源 ABA 形成受阻,能降低 ABA 峰值和推迟高峰出现时间(张有林等,2000)。本试验用 α-NAA 处理(T₁),与 T₀ 相比,气孔阻力下降而蒸腾速率增加;与 T₂ 相比,这种趋势更加明显;而用 UV-B 辐射与 α-NAA 共同处理植株(T₃)也发现,α-NAA 可以减轻 UV-B 辐射的影响。由此推测外施 α-NAA 可能在一定程度上补充了内源 IAA 的含量,通过降低植物体内 ABA 积累,从而减轻叶片气孔阻力,增加蒸腾速率。

总之,对植株补充 α-NAA,能降低 UV-B 辐射对栝楼幼苗的影响,可能是弥补了 UV-B 辐射引起的 IAA 含量的降低,以及减少了内源 ABA 的积累,促进了植株生长。这一结果对 UV-B 辐射日益增加的今天,有非常重要的意义。但具体 UV-B 辐射剂量与外施 α-NAA 浓度之间有无一定比例关系,在大田试验中表现如何,尚需进一步试验。此外,UV-B 辐射对植物的影响是多方面的,如它能造成细胞损害,加剧膜脂过氧化作用和蛋白质水解,以及造成 DNA 损伤,本实验也发现采用 α-NAA 减轻紫外线辐射对

植物的影响是有限度的。

参 考 文 献

- Barnes, P. W., S. W. Flint & M. M. Caldwell. 1990. Morphological responses of crop and weed species of different growth forms to ultraviolet-B radiation. *American Journal of Botany*, **77**: 1354 ~ 1360.
- Hopkins, L., M. A. Bond & A. K. Tobin. 1996. Effect of UV-B on the development and ultrastructure of the primary leaf of wheat (*Triticum aestivum*). *Journal of Experimental Botany*, **47** (Suppl.): 20.
- Hou, F. J. (侯扶江), G. Y. Ben (贲桂英), J. Y. Yan (颜景义), F. Han (韩发), S. B. Shi (师生波) & J. Wei (魏捷). 1998. Effects of supplemental ultraviolet (UV) radiation on the growth and photosynthesis of soybean growing in the field. *Acta Phytocologica Sinica* (植物生态学报), **22**: 256 ~ 261. (in Chinese with English abstract)
- Huang, S. B. (黄少白), Q. J. Dai (戴秋杰), X. Z. Liu (刘晓忠), S. B. Peng (彭少兵) & B. S. Vergara. 1998. Influence of supplemental ultraviolet-B radiation on IAA and ABA content in the leaves of rice. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), **15** (Suppl.): 87 ~ 90. (in Chinese with English abstract)
- Kramer, G. F., H. A. Normal, D. E. Krizek & R. M. Mirecki. 1991. Influence of UV-B radiation on polyamine, lipid peroxidation and membrane lipids of cucumber. *Phytochemistry*, **30**: 2101 ~ 2108.
- Kreslavski, V. D., T. I. Balakhnina, M. S. Khristin & N. G. Bukhov. 2001. Pre-treatment of bean seedlings with choline compounds increases the resistance of photosynthetic apparatus to UV-B radiation and elevated temperatures. *Photosynthetica*, **39**: 363 ~ 368.
- Li, Y. (李元) & M. Yue (岳明). 2000. Ultraviolet radiation ecology. Beijing: China Environmental Science Press. 47, 56, 62. (in Chinese)
- Ros, J. & M. Tevini. 1995. Interaction of UV-radiation and IAA during growth of seedling and hypocotyl segments of sunflower. *Journal of Plant Physiology*, **146**: 295 ~ 302.
- Teramura, A. H. & N. S. Murali. 1986. Interspecific differences in growth and yield of soybean exposed to ultraviolet-B radiation under greenhouse and field conditions. *Environmental and Experimental Botany*, **26**: 89 ~ 95.
- Teramura, A. H. 1983. Effects of ultraviolet-B radiation on the growth and yield of crop plants. *Physiologia Plantarum*, **58**: 415 ~ 427.
- Tevini, M. & A. H. Teramura. 1989. UV-B effects on terrestrial plants. *Photochemistry and Photobiology*, **50**: 479 ~ 487.
- Wang, Z. (王忠). 2000. Plant physiology. Beijing: China Agriculture Press. 70, 271 ~ 273, 288 ~ 289. (in Chinese)
- Yang, J. H. (杨景宏), T. Chen (陈拓) & X. L. Wang (王勋陵). 2000. Effect of enhanced UV-B radiation on endogenous ABA and free proline contents in wheat leaves. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **20**: 39 ~ 42. (in Chinese with English abstract)
- Zhang, Y. L. (张有林), J. P. Chen (陈锦屏), M. Z. Wang (王明珍), B. S. Zhang (张宝善) & J. Q. Han (韩军歧). 2000. Studies on abscisic acid (ABA) change of grape during storage. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica* (西北植物学报), **20**: 604 ~ 609. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 蒋高明 责任编辑: 姜联合