

# 葡萄休眠的自然诱导因子及其对休眠诱导期冬芽呼吸代谢的调控\*

王海波<sup>1,2</sup> 王孝娣<sup>1,2</sup> 史祥宾<sup>1,2</sup> 王宝亮<sup>1,2</sup> 郑晓翠<sup>1,2</sup> 刘凤之<sup>1,2\*\*</sup>

(<sup>1</sup>中国农业科学院果树研究所, 辽宁兴城 125100; <sup>2</sup>农业部园艺作物种质资源利用重点实验室, 辽宁兴城 125100)

**摘要** 以高需冷量葡萄品种‘夏黑’为试材,研究短日照、长日照和自然光照 3 个条件下,葡萄冬芽休眠的自然诱导因子及其对休眠诱导期冬芽呼吸代谢的调控机制.结果表明:自然低温、短日照 2 个环境因素单独或共同作用均能诱导葡萄冬芽进行自然休眠.短日照在诱导葡萄冬芽进入自然休眠的过程中起主导作用,自然低温起辅助作用;温度相同条件下,日照时间越短对葡萄冬芽自然休眠的诱导作用越强.总呼吸速率达到峰值是葡萄冬芽休眠诱导期结束的标志.在自然休眠诱导期间,葡萄冬芽磷酸戊糖途径运行活性和容量占总呼吸的比例迅速上升,其中自然条件的葡萄冬芽分别由 16.0%和 20.1%上升至 22.3%和 26.0%.自然低温是诱导葡萄冬芽底物氧化水平上呼吸途径发生变化的主导因素,短日照起促进作用.在葡萄冬芽自然休眠诱导期间,交替途径运行活性和容量占总呼吸的比例迅速上升,其中自然条件葡萄冬芽分别由 19.4%和 27.3%上升至 38.2%和 46.8%.自然低温和短日照均可诱导葡萄冬芽电子传递链水平上呼吸途径发生变化.

**关键词** 葡萄;冬芽;休眠诱导;诱导因子;呼吸代谢

**文章编号** 1001-9332(2015)12-3707-08 **中图分类号** S662.1 **文献标识码** A

**Natural inducing factors of grape bud dormancy and their regulation on respiratory metabolism during dormancy induction.** WANG Hai-bo<sup>1,2</sup>, WANG Xiao-di<sup>1,2</sup>, SHI Xiang-bin<sup>1,2</sup>, WANG Bao-liang<sup>1,2</sup>, ZHENG Xiao-cui<sup>1,2</sup>, LIU Feng-zhi<sup>1,2</sup> (<sup>1</sup>*Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng 125100, Liaoning, China*; <sup>2</sup>*Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (Germplasm Resources Utilization), Ministry of Agriculture, Xingcheng 125100, Liaoning, China*). -*Chin. J. Appl. Ecol.*, 2015, **26**(12): 3707–3714.

**Abstract:** High chilling requirement grape (*Vitis vinifera*-*V. labrusca* cv. Summer Black) was used to evaluate its dormancy under short sunlight day (SD), long sunlight day (LD) and natural condition (CK). The results indicated that grape bud dormancy could be induced by natural low temperature and short sunlight alone or together. Short sunlight was the main contributor to the dormancy of grape bud, followed by natural low temperature. SD had more effect on dormancy induction under the same temperature when compared with LD. The grape dormancy induction stopped when the total respiratory rate reached the highest level. During the dormancy induction period, the proportion of pentose phosphate pathway (PPP) operation activity or capacity to total respiratory rate increased from 16.0% to 20.1% or 22.3% to 26.0%, respectively; similarly, the proportion of operation activity or capacity of alternate pathway to total respiratory rate rapidly increased, i.e., from 19.4% to 27.3% or 38.2% to 46.8%. Both low temperature and short sunlight could induce change of respiratory pathway on electron transport chain level.

**Key words:** grape; bud; dormancy induction; inducing factor; respiratory metabolism.

\* 国家现代农业产业技术体系建设专项 (nycytx-30-zp)、农业部引进国际先进农业科学技术计划项目 (2011-G28)、国家自然科学基金项目 (41101573) 和中国农业科学院科技创新工程项目 (CAAS-ASTIP-2015-RIP-04) 资助。

\*\* 通讯作者. E-mail: liufengzhi6699@126.com

2015-02-13 收稿, 2015-10-04 接受。

我国设施葡萄产业发展极为迅速,截至2013年仅促早栽培面积已经超过3.3万 $\text{hm}^2$ <sup>[1]</sup>,占我国葡萄栽培面积的5%左右,是我国许多地区农民增收致富的主要途径.然而,休眠调控技术的限制,增加了设施葡萄果实上市期的调控难度,进而影响设施葡萄的经济效益.休眠是植物发育过程中周期性暂停现象.休眠能增强植物对不良环境的抵抗力,使其在恶劣的季节中存活下来,是植物对环境变化的一种适应性表现<sup>[2]</sup>.休眠诱导是自然休眠的开始阶段,受环境因素的诱导,通过内部控制使芽逐步进入休眠.诱导植物自然休眠的环境因素因植物种类不同而异<sup>[3-11]</sup>,而关于诱导葡萄冬芽进入自然休眠的环境因素仍不明确.

呼吸代谢是维持植物生命活动的基础,植物通过不同的呼吸代谢途径获得不同的能荷、还原力和中间产物以适应不同发育时期的生理需求;对于不同生长发育阶段和不同的器官,呼吸代谢途径不完全相同<sup>[12-14]</sup>.很多研究表明,呼吸与植物休眠诱导有密切联系,芽体进入休眠后,体内的生理生化活动并未停止,特别是在休眠诱导期,有些过程甚至被激活<sup>[15]</sup>,呼吸代谢的持续进行是休眠过程的显著特点<sup>[16]</sup>.因此,本文以欧美杂种‘夏黑’葡萄为试材,研究环境因素对葡萄冬芽自然休眠诱导的作用,确定诱导葡萄冬芽进入休眠的自然因子,为休眠调控新技术的提出和改进提出科学依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试材料为3年生欧美杂种高需冷量品种‘夏黑’( *Vitis vinifera*-*V. labrusca* cv. Summer Black,需冷量850~900 h),砧木贝达,定植于辽宁兴城中国农业科学院果树研究所葡萄核心技术试验示范园(40.45° N,120.51° E),株行距1 m×3.5 m,树形采取单层水平龙干形,叶幕形采取V形叶幕,肥水管理采取水肥一体化,其他管理同常规.

### 1.2 试验设计

于2012年8月1日—11月3日进行试验.试验设3个处理:1)长日照处理(LD):每隔2 m在试验行树体上方50 cm处安装植物生长灯(上海合鸣照明设备有限公司制造,功率40 W)进行人工补光,光谱组成:40%红、60%蓝,每日日落前0.5 h开启,日光照时间达16 h时关闭,温度为自然温度;2)短日照处理(SD):在试验行树体上方安装黑色不透光遮光布进行遮光,使日光照时间缩短到8 h,温度为自

然温度;3)对照(CK):自然光照和温度条件.每处理3个柱空,每柱空7株试验树,不同处理之间间隔3行作为保护行.

2012年8月15日—11月3日,落叶结束每10 d采集1次各处理新梢第3~7节枝段各20条.其中,4条新梢从第3节至第7节切割成单芽枝段,采取单芽扦插沙基培养法在光照培养箱中进行休眠进程的界定;其余16条新梢将基部放入盛有清水的盆中保存备用,从第3节至第7节混合取芽,进行呼吸速率和呼吸途径的测定.

### 1.3 测定项目与方法

**1.3.1 休眠诱导进程的界定** 参照Jian等<sup>[3]</sup>的方法并略有改动:试验期间每隔10 d采样1次,每次采集20个第3至第7节的新梢枝段,采样后将新梢切割成单芽枝段,插入盛有湿沙的培养盘中放入光照培养箱进行单芽培养.沙基湿度为用手握紧刚开始滴水为宜.白天温度保持在25℃,夜间温度保持在20℃.光照强度 $40 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,光照时间:光/暗,16 h/8 h.空气湿度保持在80%以上.记录萌芽时间:第一个芽萌发所需时间 $\geq 10$  d,表明采样培养之日为进入休眠诱导期;第一个芽萌发所需时间 $\geq 30$  d,表明采样培养之日为休眠诱导期结束,完全进入深度休眠期.第一个芽萌发所需时间越长,表明采样培养之日的休眠程度越深.

**1.3.2 呼吸速率及呼吸途径的测定** 利用液相氧电极(英国Hansatech公司,Oxy-Lab)通过测定溶液中氧气浓度变化来计算芽的呼吸速率及呼吸途径变化.将葡萄芽表面鳞片剥除,将葡萄芽切割成4部分混合均匀,称取0.02 g,置于密闭小瓶中(容量约为10 mL),加入反应液,使用真空抽气机,充分抽净芽内空气(约15 min),将芽包裹在纱布(避免芽与转子接触)中放入反应杯,加入2 mL反应液(反应液置于25℃恒温水浴).启动转子,并开始测量,待反应曲线稳定后,记录数据.采用专一性呼吸抑制剂法测量各呼吸途径所占比例(%).氟化钠(NaF)是糖酵解(EMP)关键酶烯醇化酶的抑制剂;丙二酸是三羧酸循环(TCA)中琥珀酸脱氢酶的抑制剂;磷酸钠( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ )是磷酸戊糖(PPP)途径中6-磷酸葡萄糖脱氢酶的抑制剂;氰化钠(NaCN)是细胞色素途径电子传递链的抑制剂;水杨基氧肟酸(SHAM)是抗氰呼吸途径的抑制剂.先测定样本的总呼吸量,再加入呼吸抑制剂测定同一样本的呼吸量,然后求得呼吸途径所占比例.各呼吸参数计算如下:

运行活性所占比例=(总呼吸量-加入该途径抑

制剂后的呼吸量)/总呼吸量×100%

容量所占比例=(加入除该途径外所有途径的抑制剂的呼吸量-剩余呼吸量)/总呼吸量×100%

蛋白质脂肪三羧酸途径的呼吸量=总三羧酸途径的呼吸量-糖酵解三羧酸途径的呼吸量.其中,NaCN 浓度为 5 mmol·L<sup>-1</sup>,NaF、Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>、SHAM 浓度为 10 mmol·L<sup>-1</sup>,丙二酸浓度为 50 mmol·L<sup>-1</sup>,缓冲液为 20 mmol·L<sup>-1</sup>、pH 6.8 的磷酸缓冲液.

1.4 数据处理

采用 DPS 软件对试验数据进行方差分析(α=0.05).

2 结果与分析

2.1 温度与光周期对葡萄冬芽自然休眠诱导的影响

从表 1 和图 1 可知,短日照处理葡萄冬芽于 8 月 15 日进入休眠诱导期,比对照提前 10 d 左右,此时日均温为 24.4 ℃,是葡萄生长发育的适宜温度.表明单一的短日照光周期可以诱导葡萄冬芽进入休眠.因此,光周期是葡萄休眠诱导的自然因子之一.

表 1 第一个芽萌发所需天数  
Table 1 Days for the first bud break

采样日期 Sampling date	短时间日照 Short sunlight day	对照 Control	长时间日照 Long sunlight day
08-15	11	9	8
08-25	17	14	9
09-04	25	18	15
09-14	30	23	20
09-24	36	28	24
10-04	40	35	29
10-14	43	40	34
10-24	45	42	40
11-03	46	45	42

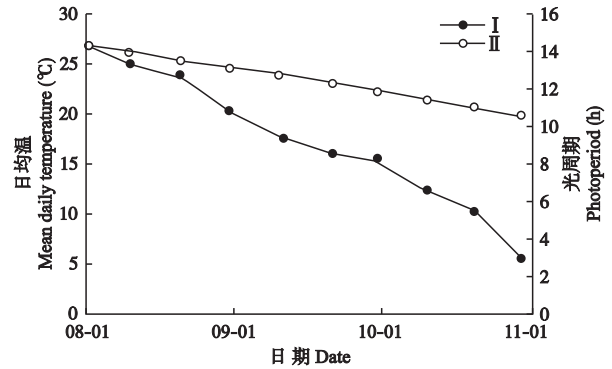


图 1 试验地日均温和光周期  
Fig.1 Daily mean temperature and photoperiod at the experimental station.  
I : 日均温 Daily mean temperature; II : 光周期 Photoperiod.

在长日照处理中,虽然没有光周期的变化,但随着自然气温的逐渐降低,葡萄冬芽于 9 月 4 日(日均温 17.6 ℃)进入休眠诱导期,仅比对照推迟约 10 d.这表明与单一的短日照光周期相同,单一的自然低温(日均温 17.6 ℃左右)也可以诱导葡萄冬芽进入休眠.因此,温度也是葡萄休眠诱导的自然因子之一.

在自然条件下,随着日照时间的逐渐缩短,当气温较高时,葡萄冬芽进入休眠诱导期,到 8 月 25 日葡萄冬芽萌芽所需时间为 14 d,比未进入休眠的 8 月 15 日(日照长度约 13.8 h)时延长 5 d,此时日均温为 22.6 ℃,这是葡萄生长发育的适宜温度,而日照长度约为 13.4 h,比 8 月 15 日的 13.8 h 缩短 0.4 h.这表明在自然条件下,短日照光周期(13.4 h 左右的日照长度)在诱导葡萄冬芽进入休眠的过程中起主导作用,自然低温起辅助促进作用.

2.2 温度与光周期对葡萄自然休眠诱导进程中冬芽总呼吸的影响

从图 2 可以看出,在整个自然休眠诱导期,短日照、长日照和对照处理葡萄冬芽的总呼吸速率变化趋势均呈单峰曲线.在自然休眠诱导初期,葡萄冬芽的总呼吸速率随着气温降低而降低,随着自然休眠诱导进程的推进,当 9 月 4 日日均温降至 18 ℃以下后,葡萄冬芽的总呼吸速率迅速上升并于自然休眠诱导结束时达到峰值;进入深休眠后,呼吸速率一直下降至较低水平.

在自然休眠诱导进程中,各处理葡萄冬芽的总呼吸速率达到峰值的时间和峰值大小存在明显差异,其中,短日照处理于 9 月 24 日达到高峰,峰值为 198.81 mmol·g<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>,增幅为 27.9%,用时最短;

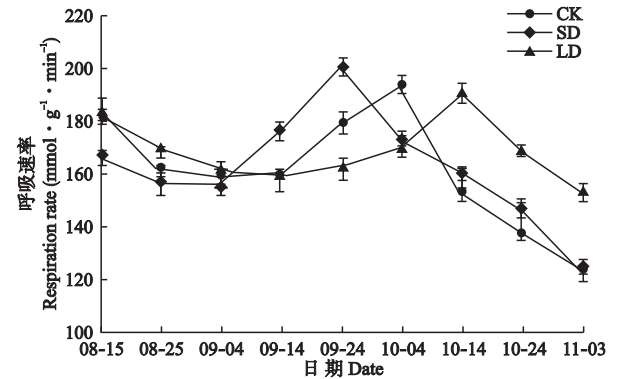


图 2 自然休眠诱导过程中葡萄冬芽总呼吸速率的变化  
Fig.2 Change of total respiration rate of grape buds during dormancy induction.  
CK: 对照 Control; SD: 短日照 Short sunlight day; LD: 长日照 Long sunlight day. 下同 The same below.



对照于 10 月 4 日达到高峰, 峰值为  $192.42 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , 增幅为 20.1%, 用时居中; 长日照处理于 10 月 14 日达到高峰, 峰值为  $189.56 \text{ mmol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ , 增幅为 19.6%, 用时最长. 因此, 短日照处理冬芽的总呼吸速率最早达到峰值且增幅最大, 对照次之, 长日照处理冬芽的总呼吸速率最晚达到峰值且增幅最小.

2.3 温度与光周期对自然休眠诱导进程中底物氧化水平上呼吸代谢的影响

2.3.1 对运行活性的影响 从图 3 可以看出, 在整个自然休眠诱导期内, 随着自然休眠诱导进程的推进, 各处理葡萄冬芽总 TCA 和 EMP-TCA 途径的运行活性占总呼吸的比例均呈下降趋势, 而 PPP 途径的运行活性占总呼吸的比例迅速上升, 例如对照由 16.0% 上升至 22.3%; 蛋白质脂肪 TCA 途径和剩余呼吸的运行活性占总呼吸的比例基本保持稳定.

葡萄冬芽总 TCA、EMP-TCA 和 PPP 途径运行活性占总呼吸的比例在 9 月 4 日之前变化幅度较小, 9 月 4 日日均温降至  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$  以下后, 变化幅度逐渐增大. 短日照处理葡萄冬芽总 TCA 和 EMP-TCA 途径运行活性占总呼吸的比例低于对照, 而长日照处理高于对照; 短日照处理葡萄冬芽 PPP 途径运行活性占总呼吸的比例高于对照, 长日照处理低于对照.

虽然在整个自然休眠诱导期间各处理总 TCA 途径运行活性占总呼吸的比例呈下降趋势, 但均保持在 47% 以上, 占主导地位; 各处理 EMP-TCA 途径的运行活性在总 TCA 途径运行活性中均保持在 67% 以上, 表明在自然休眠诱导期间, 呼吸代谢的底物仍然以糖类物质为主, 脂肪和蛋白质为辅.

2.3.2 对容量的影响 从图 4 可以看出, 随着自然休眠诱导进程的推进, 各处理葡萄冬芽底物氧化水平上各呼吸代谢途径容量的变化趋势一致, 总 TCA、EMP-TCA 和 PPP 途径的容量占总呼吸的比例的变化趋势与运行活性基本同步, 其中对照 PPP 途径的容量占总呼吸的比例由 20.1% 上升至 26.0%; 但蛋白质脂肪 TCA 途径的容量占总呼吸的比例呈上升趋势, 而其运行活性基本保持稳定.

短日照处理葡萄冬芽 PPP 途径和蛋白质脂肪 TCA 途径的容量占总呼吸的比例高于对照, 而 EMP-TCA 途径的容量占总呼吸的比例低于对照; 长日照与之相反, PPP 途径和蛋白质脂肪 TCA 途径的容量占总呼吸的比例低于对照, EMP-TCA 途径容量占总呼吸的比例高于对照.

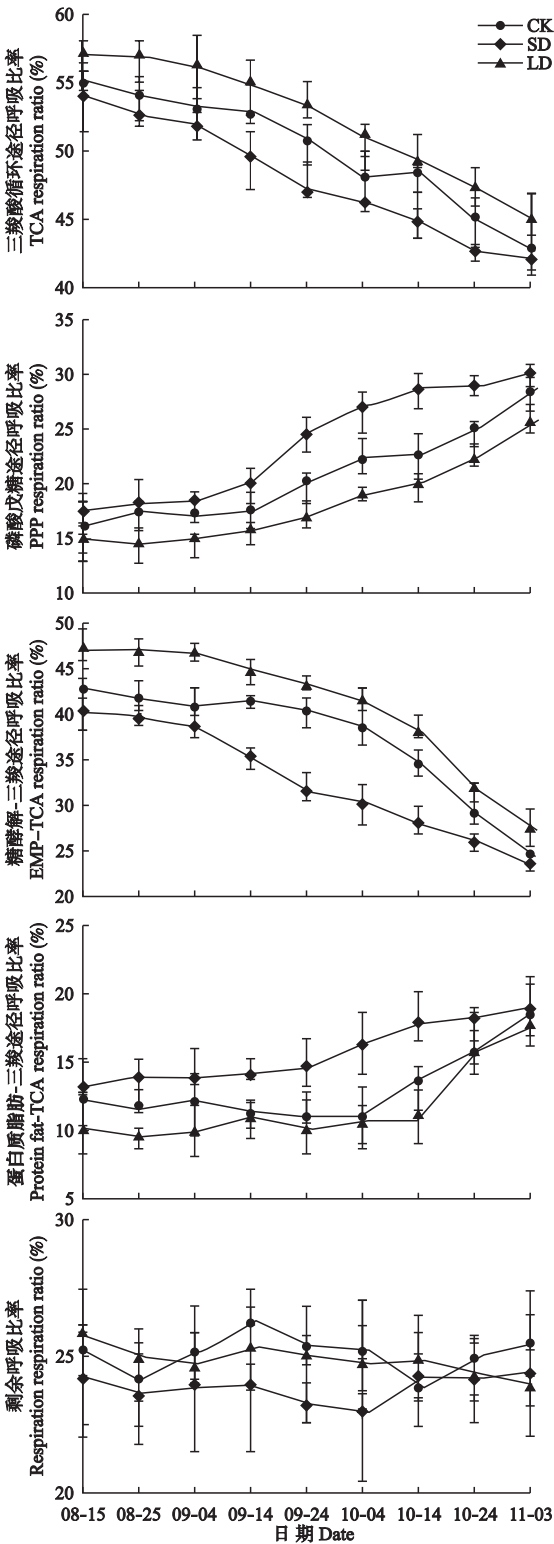


图 3 自然休眠诱导进程中葡萄冬芽底物氧化水平上呼吸代谢途径的运行活性  
Fig.3 Operation activity of respiration pathway at substrate level of grape buds during dormancy induction.

2.4 温度与光周期对自然休眠诱导进程中电子传递链水平上呼吸代谢的影响

2.4.1 对运行活性的影响 从图5可以看出, 在整

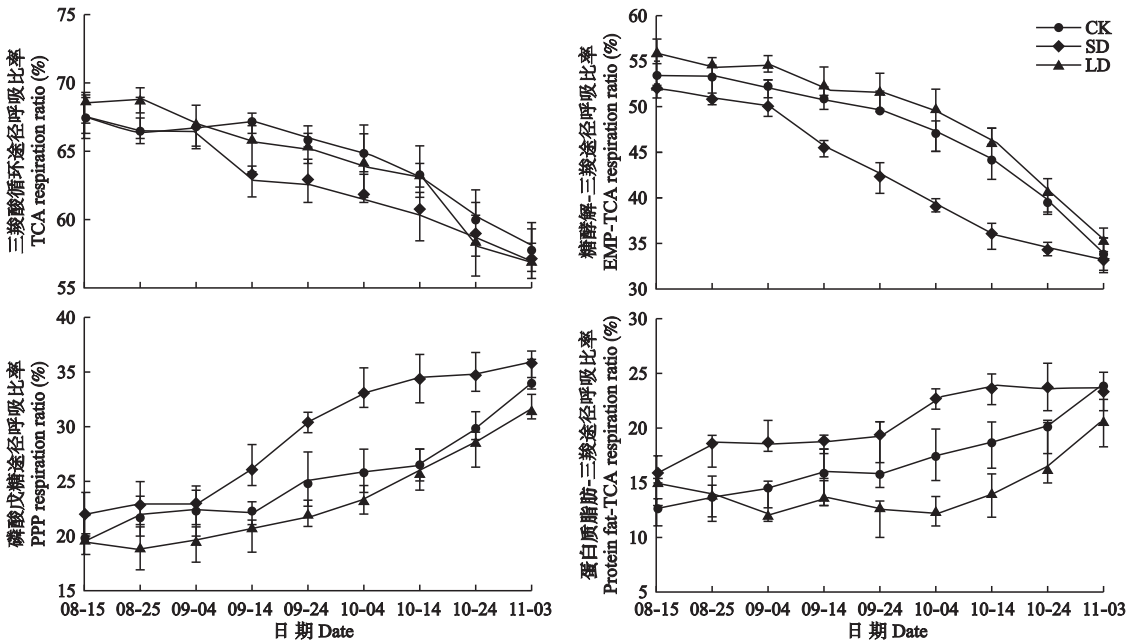


图 4 自然休眠诱导进程中葡萄冬芽底物氧化水平上呼吸代谢途径的容量

Fig.4 Capacity of respiration pathway at substrate level of grape buds during dormancy induction.

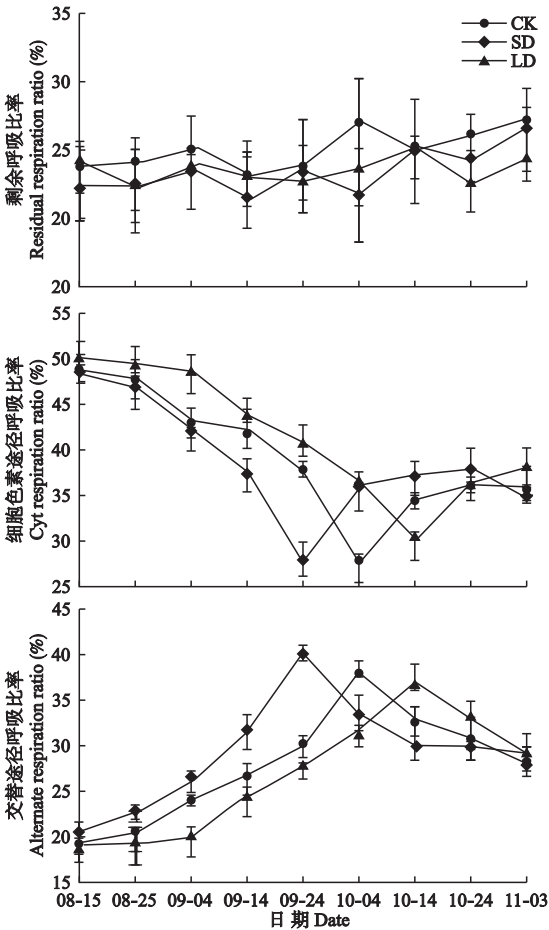


图 5 自然休眠诱导进程中冬芽电子传递链水平上呼吸代谢途径的运行活性

Fig.5 Operation activity of respiration pathway at electronic transmission chain level of grape buds during dormancy induction.

个自然休眠诱导期内,各处理交替途径运行活性占总呼吸比例的变化趋势均呈单峰曲线;进入自然休眠诱导期,葡萄冬芽交替途径运行活性占总呼吸的比例迅速升高,于自然休眠诱导结束时达到峰值,其中,短日照处理峰值(40.3%)最高且增幅最大(19.8%),对照峰值(38.2%)和增幅(18.8%)居中,

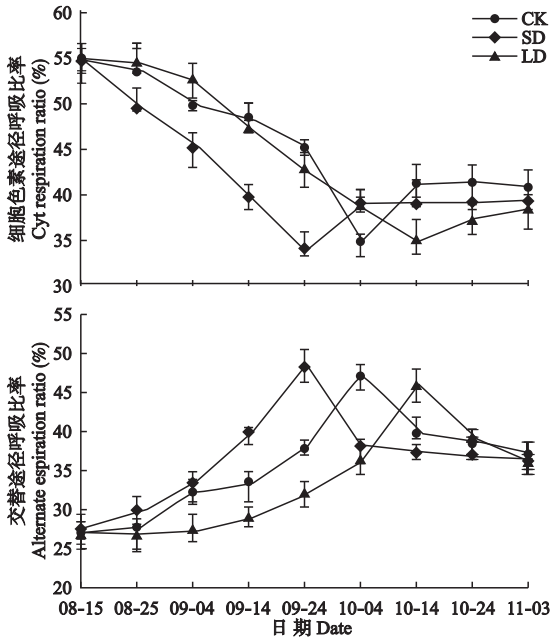


图 6 自然休眠诱导进程中葡萄冬芽电子传递链水平上呼吸代谢途径容量

Fig.6 Capacity of respiration pathway at electronic transmission chain level of grape buds during dormancy induction.

长日照处理峰值(37.0%)最低且增幅最小(17.7%)。细胞色素途径相反,即进入自然休眠诱导期迅速下降,于自然休眠诱导结束时达到谷底。剩余呼吸在整个自然休眠诱导期内基本稳定。

**2.4.2 对容量的影响** 从图6可以看出,随着自然休眠诱导进程的推进,在整个自然休眠诱导期间,各处理葡萄冬芽的交替途径和细胞色素途径容量占总呼吸比例的变化趋势基本一致,交替途径和细胞色素途径的容量占总呼吸比例的变化趋势与运行活性基本同步,例如对照交替途径的容量占总呼吸比例由27.3%上升至46.8%。

在整个自然休眠诱导期间,短日照处理葡萄冬芽交替途径的容量占总呼吸的比例和增幅高于对照,而长日照处理葡萄冬芽交替途径的容量占总呼吸的比例和增幅低于对照;细胞色素途径容量占总呼吸的比例和变化幅度在各处理之间相差不大。

### 3 讨 论

对于大多数木本植物,光周期和温度是调控木本植物生长和休眠循环的重要环境信号,因植物种类不同而异。Jian等<sup>[3-4]</sup>研究发现,短日照是诱导白杨(*Populus deltoides*)休眠的真正原因,自然温度的降低不能诱导白杨植株停止生长、进入休眠。而Heide等<sup>[5]</sup>和束怀瑞<sup>[17]</sup>研究发现,苹果和梨的休眠诱导不受光周期影响,而12℃以下的自然低温能有效诱导苹果和梨停止生长,进入休眠。Tung等<sup>[6]</sup>研究认为,在冷杉休眠诱导中,早期温度和水分起重要作用,中期受光照和温度的共同影响,后期短日照和低温能加速休眠。Stewart等<sup>[18]</sup>对温暖地区植物的研究表明,只有低温与短日照共同作用才能诱导某些植物休眠。王海波等<sup>[7]</sup>研究发现,短日照和自然低温均能诱导桃进入休眠,但作用机制不同。Nigond<sup>[8]</sup>研究认为,12~18℃是欧亚种葡萄品种佳利酿进入休眠的适温。Fennel等<sup>[9]</sup>发现,13 h的日照长度可使美洲种葡萄进入休眠诱导期。本研究表明,欧美杂种夏黑葡萄冬芽的自然休眠诱导受光周期和温度影响,日照长度13.4 h左右的短日照和日均温17.6℃左右的自然低温单独或联合作用均能诱导冬芽进入休眠。因此,在生产实践中可以通过采取安装植物生长灯和加温设备等农业工程技术措施避开短日照和自然低温,以实现无休眠或秋促早栽培,进而实现鲜食葡萄的周年供应。

落叶果树芽体在自然休眠诱导期间的呼吸速率变化与自然休眠诱导进程密切相关<sup>[19-20]</sup>。本研究发

现,在自然休眠诱导初期,葡萄冬芽的总呼吸速率随气温的逐渐降低而降低。随着自然休眠诱导进程的推进,9月4日日均温降至18℃以下后,葡萄冬芽的总呼吸速率迅速上升并于自然休眠诱导结束时达到峰值,表明自然休眠诱导期间葡萄冬芽的总呼吸速率的变化主要由自然低温诱导产生,总呼吸速率的暂时升高可能与芽内生理变化密切相关<sup>[2,7,21]</sup>,为之后的休眠越冬做好准备。在自然低温条件下,短日照增加总呼吸速率的增幅并加速这一过程,而长日照的效果与之相反,说明短日照光周期对自然休眠诱导有促进作用。

葡萄冬芽自然休眠诱导进程的推进伴随着底物氧化水平上呼吸途径的转变<sup>[20,22]</sup>。本研究发现,在自然休眠诱导期间,葡萄冬芽的总TCA、EMP-TCA和PPP等底物氧化水平上各途径的运行活性和容量占总呼吸比例在9月4日之前变化幅度较小,9月4日日均温降至18℃以下后,变化幅度逐渐增大,表明底物氧化水平上呼吸途径变化与总呼吸一样主要受自然低温诱导。在自然温度条件下,短日照能加速葡萄冬芽在自然休眠诱导期间底物氧化水平上呼吸途径的变化进程,而长日照延缓这一变化进程,表明短日照可促进底物氧化水平呼吸代谢的变化。在整个自然休眠诱导期间,虽然不同处理葡萄冬芽的总TCA途径部分转向PPP途径,但总TCA途径仍占据主体地位,均保持在47%以上。这是因为其产生ATP的效率极高,可为自然休眠诱导期葡萄冬芽的生理活动提供充足能量;而PPP途径所占比例的升高能显著增加葡萄冬芽内NADPH和5-磷酸核酮糖等中间产物的含量,为各种生化反应提供电子供体和原料,合成与抗冻性发育和休眠相关的物质<sup>[23]</sup>。同时,不同处理葡萄冬芽EMP-TCA途径的运行活性在总TCA途径运行活性中均保持在67%以上,表明在自然休眠诱导期间,呼吸代谢的底物仍然以糖类物质为主,脂肪和蛋白质为辅,蛋白质脂肪TCA途径容量占总呼吸比例的迅速增加为深休眠期葡萄冬芽部分呼吸代谢底物由糖类转变为蛋白质和脂肪做好准备。

交替途径对桃芽休眠诱导的开始有重要作用,短日照可促进自然休眠诱导期间交替途径运行活性和容量的迅速增加<sup>[24-26]</sup>。本研究中,在整个自然休眠诱导期间,短日照处理和对照葡萄冬芽交替途径的运行活性与容量在较高的日均温(短日照24.4℃;对照22.6℃)下迅速增加,表明其交替途径的激发是由13.4 h(对照)或更短的日照长度单独诱导



的.长日照条件下,葡萄冬芽交替途径的运行活性和容量于日均温低于 17.6 °C 的 9 月 4 日迅速增加,表明低于 18 °C 的自然低温也能单独诱导激发交替途径.短日照交替途径的运行活性和容量占总呼吸的比例和增幅均高于对照,而长日照低于对照,表明在温度相同的条件下,日照时间越短,对休眠的诱导作用越强.

#### 4 结 论

自然低温、短日照单独或共同作用均能诱导葡萄冬芽进入自然休眠.短日照光周期在诱导葡萄冬芽进入自然休眠的过程中起主导作用,自然低温起辅助促进作用;温度相同条件下,日照时间越短,对葡萄冬芽自然休眠的诱导作用越强.

总呼吸速率达到峰值是葡萄冬芽休眠诱导期结束的标志.葡萄冬芽总呼吸速率的变化主要由自然低温诱导产生,短日照光周期对其有促进作用.PPP 途径运行活性和容量占总呼吸比例的迅速上升是葡萄冬芽自然休眠诱导期间在底物氧化水平上呼吸途径发生的典型变化.自然低温是诱导葡萄冬芽底物氧化水平上呼吸途径发生变化的主导因素,短日照起促进作用.交替途径运行活性和容量占总呼吸比例的迅速上升是葡萄冬芽自然休眠诱导期间在电子传递链水平上呼吸途径发生的典型变化.低温和短日照均可诱导葡萄冬芽电子传递链水平上呼吸途径发生变化.

#### 参考文献

- [1] Wang H-B (王海波), Zhao J-Q (赵君全), Wang X-D (王孝娣), *et al.* The influence of changes of endogenous hormones in shoot on the grapes flower bud differentiation in greenhouse. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2014, **47**(23): 4695–4705 (in Chinese)
- [2] Faust M, Erez A, Rowland LJ, *et al.* Bud dormancy in perennial fruit trees: Physiological basis for dormancy induction, maintenance, and release. *HortScience*, 1997, **32**: 623–629
- [3] Jian LC, Li PH, Sun LH, *et al.* Alteration in ultrastructure and subcellular localization of  $\text{Ca}^{2+}$  in poplar apical bud cells during the induction of dormancy. *Journal of Experimental Botany*, 1997, **48**: 1195–1270
- [4] Jian L-C (简令成), Lu C-F (卢存福), Deng J-M (邓江明), *et al.* Inducing factor and regulating role of intracellular  $\text{Ca}^{2+}$  level for woody plant bud dormancy. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 2004, **10**(1): 1–6 (in Chinese)
- [5] Heide OM, Prestrud AK. Low temperature, but not photoperiod, controls growth cessation and dormancy induc-

- tion and release in apple and pear. *Tree Physiology*, 2005, **25**: 109–114
- [6] Tung CH, Deyoe DR. Dormancy induction in container-grown *Abies* seedlings: Effects of environmental cues and seedlings age. *New Forest*, 1991, **5**: 13–22
- [7] Wang H-B (王海波), Wang X-D (王孝娣), Cheng C-G (程存刚), *et al.* Inducing factor and regulating role of  $\text{Ca}^{2+}$  for peach bud dormancy induction. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2008, **19**(11): 2333–2338 (in Chinese)
- [8] Nigond J. Research of the Dormancy and Sprout in Grape. Paris: National Institute of Agronomic Research, 1967: 170
- [9] Fennel A, Hoover E. Photoperiod influences growth, bud dormancy and cold acclimation in *Vitis labruscana* and *V. riparia*. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1991, **116**: 270–273
- [10] Shimizu-Sato S, Mori H. Control of outgrowth and dormancy in axillary buds. *Plant Physiology*, 2001, **127**: 1405–1413
- [11] Gorter CJ. Photoperiodism of flowering in Lombartscaville apple. *Horticultural Research*, 1965, **5**: 1–4
- [12] Tang P-S (汤佩松). Regulation and control of multiple pathways of respiratory metabolism in relation to other physiological functions in high plants. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 1979, **21**(2): 93–104 (in Chinese)
- [13] Liang H-G (梁厚果), Lv Z-R (吕忠恕). Studies on respiration of bailanmelon fruits. III. Changes in respiration pathways during fruit development. *Acta Botanica Sinica* (植物学报), 1964, **12**(3): 267–273
- [14] Zhou G-K (周功克), Kong Y-Z (孔英珍), Li H-Y (李红玉), *et al.* Dynamic changes of respiration pathway and active oxygen levels in subcultured tobacco callus. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2000, **11**(6): 885–888 (in Chinese)
- [15] Arora R, Rowland LJ, Tanino K. Induction and release of bud dormancy in woody perennials: A science comes of age. *HortScience*, 2000, **38**: 911–921
- [16] Li Z-H (李政红), Gao D-S (高东升), Li X-L (李宪利). The relation between en-dormancy and changes in two main electron transport pathways of nectarine (*Prunus persica* var. *nectariana*) buds. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology* (植物生理与分子生物学学报), 2006, **32**(2): 156–162 (in Chinese)
- [17] Shu H-R (束怀瑞). Apples. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 245–249 (in Chinese)
- [18] Stewart CR, Martin BA, Reding L, *et al.* Respiration and alternative oxidase in corn seedling tissues during germination at different temperatures. *Plant Physiology*, 1990, **92**: 755–760
- [19] Li J (李瑾), Gao D-S (高东升), Yu Q (于芹), *et al.* Effect of photoperiod treatments on dormancy induction and changes of correlated respiratory rate of nectarine peach bud. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2009, **42**(1): 210–215 (in Chinese)
- [20] Tan Y (谭钺), Li L (李玲), Li D-M (李冬梅), *et al.* Effects of photoperiod on dormancy induction

and respiration of nectarine buds. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 2012, **18**(5): 838–842 (in Chinese)

[21] Wang H-B (王海波). Study on the Mechanisms of Endodormancy Induction and Short-term Heating Releasing Dormancy in Peach (*Prunus persica*) Bud. Master Thesis. Urumqi: Xinjiang Agricultural University, 2006 (in Chinese)

[22] Wang H-B (王海波), Wang X-D (王孝娣), Gao D-S (高东升), *et al.* Physiological changes of different chilling requirement peach cultivars during bud dormancy induction. *Journal of Fruit Science* (果树学报), 2009, **26**(4): 445–449 (in Chinese)

[23] Huang J (黄 骥), Wang J-F (王建飞), Zhang H-S (张红生). Advances on plant pentose phosphate pathway and its key enzymes. *Chinese Bulletin of Botany* (植物学通报), 2004, **21**(2): 139–145 (in Chinese)

[24] Li D-M (李冬梅), Tan Q-P (谭秋平), Zhang H-S (张海森), *et al.* Effects of photoperiod on cyanide-resistant respiration of nectarine leaf buds during dormancy induction. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 2010, **16**(6): 775–778 (in Chinese)

[25] Li D-M (李冬梅), Zhang H-S (张海森), Tan Q-P (谭秋平), *et al.* Regulation effects of short sunlight on two electron transport pathways in nectarine flower bud during dormancy induction. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2011, **22**(11): 2849–2854 (in Chinese)

[26] Yu Q (于 芹), Gao D-S (高东升), Xu X-M (徐小明), *et al.* Relationship between endodormancy induction and changes in two main electron transport pathways of nectarine buds. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2008, **41**(12): 4149–4154 (in Chinese)

---

**作者简介** 王海波,男,1978年生,副研究员. 主要从事果树栽培与生理研究. E-mail: haibo8316@163.com

**责任编辑** 孙 菊

---