

## 二球悬铃木冬芽休眠的温度特性

刘 震<sup>1</sup>, 王国霞<sup>2</sup>, 蒋建平<sup>1</sup>

(1. 河南农业大学林学院园艺学院, 郑州 450002; 2. 南京林业大学森林资源与环境学院, 南京 210037)

**摘要:**为了探讨树木冬芽休眠与分布的相互关系以及悬铃木冬芽休眠机理,研究了悬铃木冬芽休眠的温度特性。结果表明:(1)悬铃木冬芽具有浅冬休眠特性,在 25℃ 条件下即使深休眠期的冬芽也能够部分萌发,萌芽率达到 40%~60%,但在 15~20℃ 低温下不能萌发,而随着经历低温量的增加,休眠逐渐得到解除,在春季的 10~15℃ 低温下也能萌发;(2)悬铃木冬芽的休眠解除的低温范围较大,5℃ 与 12℃ 具有同样的低温效果,15℃ 也有较大的低温效果,甚至 20℃ 也有低温效果,不同于温带树种,但与横跨亚热带与暖温带分布的山桐子相似;(3)9~10 月份为悬铃木的休眠导入期,10 月下旬进入深休眠期,同时进入休眠解除期,经过冬季低温信号的诱导,休眠得以解除,保证春季冬芽的正常萌发;(4)悬铃木冬芽能否萌发取决于芽鳞的阻碍作用力与生长点、叶原基或花原基萌发力平衡状态,当阻碍力大于萌发力表现为冬芽不能萌发,当阻碍力小于萌发力表现为冬芽的萌发;(5)芽鳞除了具有阻碍作用和抵御冬季寒冷干燥气候外,还具有利用冬季低温解除其休眠的作用,在解除其休眠的过程中既提高了生长点、叶原基或花原基的萌发力,也降低了芽鳞的阻碍力;(6)悬铃木冬芽内的主芽和副芽休眠特性不同,在主芽萌芽能力弱时,副芽的萌芽能力增强,反之,主芽萌芽力强时,副芽的萌发就会受到抑制,当主芽能够经过冬季低温解除休眠能够萌发时,冬芽内的副芽重新进入休眠状态,可能是系统维持的一种生态适应;(7)二球悬铃木能横跨亚热带与暖温带广泛栽培正是由悬铃木冬芽休眠的生理生态特性决定的。

**关键词:**二球悬铃木;冬芽;休眠;温度特性

**文章编号:**1000-0933(2006)09-2870-07 **中图分类号:**Q945.79, Q948, S718.45 **文献标识码:**A

### Temperature characteristics of winter Buds' dormancy in *Platanus acerifolia*

LIU Zhen<sup>1</sup>, WANG Guo-Xia<sup>2</sup>, JIANG Jian-Ping<sup>1</sup> (1. College of Forestry and Horticulture, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China; 2. College of Forest Resource and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China). Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(9): 2870~2876.

**Abstract:** Temperature characteristics of winter buds' dormancy in *Platanus acerifolia* were observed in order to discuss the theory of tree dormancy and the relation between dormancy and tree distribution. Branches of 10~15cm were cut from the middle-aged trees in *Platanus acerifolia* located on the campus of Henan Agricultural University every 10~15 days during 2002-9-3~2003-2-18, and treated by 3 types: branches with full buds, branches with no buds scales, branches with no central buds (see fig. 1). Lots of 15 of the same type of branches were placed in 3 carafes filled by water, and then respectively placed in a plant growth chamber under conditions of continuous illumination (1200 lx) at 15℃, 20℃, 25℃. As the same time, The cuttings of branches of 2002-11-18 were pre-chilled to a low temperature for 0, 20, 40, 60 and 80 days at 5℃ and 12℃, and were placed in a plant growth chamber under conditions of continuous illumination (1200 lx) at 15℃, 20℃ and 25℃. The sprouting of winter buds was observed every week. Results were as follows: (1) Winter buds in *Platanus acerifolia* had characteristics of shallow dormancy, only 40%~60% of the buds during period of deep dormancy could sprout even at 25℃, but none sprouted at 15℃ and 20℃. But the dormancy buds began to sprout even at low temperature of 10~15℃ in spring after experiencing low temperature in

**基金项目:**教育部留学回国人员科研启动资助项目;河南省科技厅厅长基金资助项目

**收稿日期:**2006-02-20; **修订日期:**2006-07-29

**作者简介:**刘震(1964~),男,河南沈丘人,博士,教授,主要从事森林培育学与树木生理生态研究. E-mail: liuzh20@163.com

**Foundation item:** The project was supported by Foundation of Research Start up for Returned Student From Abroad; Officer Foundation of The Science and Technology Department of Henan Province

**Received date:** 2006-02-20; **Accepted date:** 2006-07-29

**Biography:** LIU Zhen, Ph.D., Professor, mainly engaged in silviculture and eco-physiology of trees. E-mail: liuzh20@163.com

winter; (2) The effect of releasing winter buds in *Platanus acerifolia* from dormancy at 5 °C was the same as at 12 °C. 15 °C and 20 °C also had a slighter effect of lower temperature. The range of lower temperature to release dormancy was larger than with other temperate zone trees, but similar with *Idesia polycarpa* distributing in subtropical zone and warmth temperate zone. (3) The inducing period of winter buds' dormancy was from September to October, the last ten days of October is the most deep period of dormancy, then the dormancy was released by lower temperature in winter; (4) Whether the force balance of oppressing from scale and sprouting from growth point and phyllome or flower anlage was broken decided whether or not the winter buds would sprout. When the sprouting force from growth point and phyllome or flower anlage was larger than the oppressing force from scale, the buds could sprout, contrarily, they could not; (5) The buds scales in *Platanus acerifolia* not only took a part of the oppressing function to sprout and resist winter's coldness to protect growth point and phyllome or flower anlage, but also took a part of the releasing buds dormancy by using winter's low temperature. The sprouting force of growth point and phyllome or flower anlage became larger and larger, but the oppressing force from scales became smaller and smaller with the releasing of buds dormancy; (6) The central buds inside winter buds was different from ancillary buds inside winter buds. When the sprouting force of central buds was infirm, those of the ancillary buds became stronger, Contrarily, when the sprouting force of central buds was strong, the sprouting of ancillary buds was restrained. When the dormancy of central buds was released by experiencing winter's low temperature and could sprout, the ancillary buds inside winter buds newly enter deep dormancy. This indicated an eco-physiological adaptation to stay alive; (7) This eco-physiological adaptability of winter buds dormancy in *Platanus acerifolia* resulted in it being widely cultivated from subtropical zone to temperate zone.

**Key words:** *Platanus acerifolia*, winter buds; dormancy; temperature characteristics

休眠是多年生树木对冬季寒冷干燥气候的一种生态适应,表现为种子休眠和冬芽休眠<sup>[1~9]</sup>。分布于温带的树种普遍具有冬休眠的特性,分布于亚热带的树种中也存在着具有冬休眠的树种,不同分布区的树种、类型或种群适应不同的气候条件产生了不同的冬休眠类型<sup>[1]</sup>。具有南方冬休眠类型的山桐子(*Idesia polycarpa*)是横跨亚热带和暖温带分布的落叶阔叶树种,分布于暖温带的山桐子休眠深度比分布于亚热带的深,而分布于亚热带的常绿阔叶树种红栌楠(*Machilus Thunbergii*)却没有冬休眠特性,但分布于暖温带的红栌楠具有浅冬休眠特性<sup>[1,3~5,7]</sup>。分布于亚热带的山桐子和红栌楠分别以获得浅冬休眠和没有冬休眠来适应亚热带的气候,其系统维持战略显然是不同的。同样横跨亚热带与暖温带分布的落叶阔叶树种泡桐种子(*Paulownia tomentosa*; *P. fortunei*)具有冬休眠特性<sup>[2,10]</sup>,但泡桐顶芽(*Paulownia tomentosa* × *P. fortunei* 33)却没有发育成适应冬季寒冷干燥的冬休眠芽,靠侧芽发育成冬休眠芽来适应冬季寒冷和干燥<sup>[11,12]</sup>。研究不同分布区树种、类型或种群的冬休眠特性对丰富休眠理论,探讨树木分布与气候的关系具有非常重要的意义,尤其气候温暖化趋势日趋明显的今天,更具有重要的现实意义<sup>[10]</sup>。落叶阔叶树种悬铃木是世界著名的行道树种和园林绿化树种,天然分布范围广泛,在我国普遍种植的以杂种二球悬铃木(*Platanus acerifolia*)为多。二球悬铃木为分布于北美的一球悬铃木(*Platanus occidentalis*)与法国的三球悬铃木(*Platanus orientalis*)的杂交种,栽培范围极广,大连、北京以南的亚热带与暖温带地区均有栽培,生长良好。那么,二球悬铃木冬芽又是以怎样的休眠方式来适应不同气候的呢?它的休眠类型与山桐子和红栌楠有什么不同呢?尤其悬铃木顶芽也在秋季脱落死亡,侧芽为柄下芽,并且叶片脱落较晚,研究悬铃木冬芽休眠的温度特性对了解悬铃木系统维持战略和丰富树木冬芽休眠理论具有重要的指标性意义。同时,在研究悬铃木冬芽(包括叶芽和花芽)休眠特性的过程中可以揭示悬铃木花芽(为混合芽)的休眠特性,为无球悬铃木新品种选育和人工调控悬铃木开花结实提供重要的理论依据。2001年陆长梅等就悬铃木越冬芽在冬季的生理适应做了报道<sup>[13]</sup>,刘震等 2002~2003 年系列报道了悬铃木开花结实的生物生态学特性<sup>[14~17]</sup>,但至今未见有关悬铃木冬芽休眠温度特性方面的报道。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

材料为定植在郑州市河南农业大学校园内的壮年悬铃木大树树冠中部向阳枝条。其生育环境属于暖温

带大陆性气候,四季分明,年平均气温 14.2 ,极端最高温度 43 ,极端最低温度 - 17.9 ,  $\geq 10^{\circ}\text{C}$  积温 4717 ,无霜期 215d,年平均降水量为 650.1mm。全年日照时数约为 2400h。

## 1.2 实验设计与方法

从 2002 年 9 月 3 日开始到 2003 年 2 月 18 日,每隔 15~20d 采集一次悬铃木枝条,长度为 10~15cm,对枝条上的冬芽进行 3 种处理,分别为:完整芽枝、剥芽鳞枝、除主芽枝(悬铃木冬芽比较特别,除了为柄下芽外,在每个芽中一般中间分化出 1 个较大的主芽,萌发展叶或展球,同时在主芽两侧还分别分化成 1 个副芽,多数不萌发或萌发成小叶甚至小果球,这里除主芽枝就是除掉冬芽中间主芽的枝条)(图 1),每次每种处理采 15 个枝条,水培于三角瓶中后,分别置于 15、20 和 25 的全光照(1200 lx)人工气候箱中,每周观测 1 次萌芽情况,直至不再萌发为止。冬芽萌发以展叶或出球为标准。计算平均萌芽率。

同时,把 2002-11-18 采集的壮年期悬铃木完整芽枝条放在 5 和 12 的生化培养箱中分别进行 0,20,40,60,80d 的低温处理后,分别转至 15、20 和 25 的全光照(1200 lx)人工气候箱中,观察各个枝条上冬芽的萌发情况,并计算萌芽率。

## 2 结果分析

### 2.1 不同时期的二球悬铃木冬芽在不同温度条件下的萌芽率

图 2 是不同时期的二球悬铃木冬芽在 15 连续光照条件下的萌芽率。从图 2 可以看出,11 月中旬以前,无论是完整芽,还是剥芽鳞芽和除主芽后留下的副芽,萌芽率都非常低,在 40% 以下,副芽几乎不萌发,而进入 11 月中下旬,萌芽率明显上升,但到 2 月中旬时,剥芽鳞芽和副芽不再萌发。对同一时期的萌芽率进行比较,完整芽的萌芽率最高,最高可以达到 100%,剥芽鳞芽次之,最高达 80%,副芽萌芽率最低,最高也只有 46.7%。

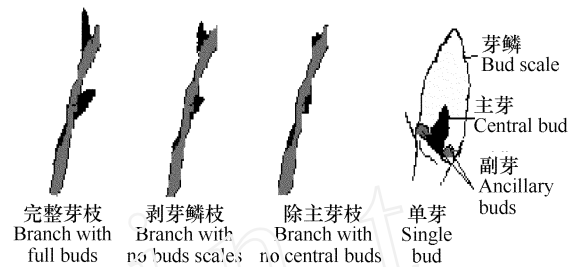


图 1 处理悬铃木冬芽的枝条示意图

Fig. 1 Three types of treated branches with different buds

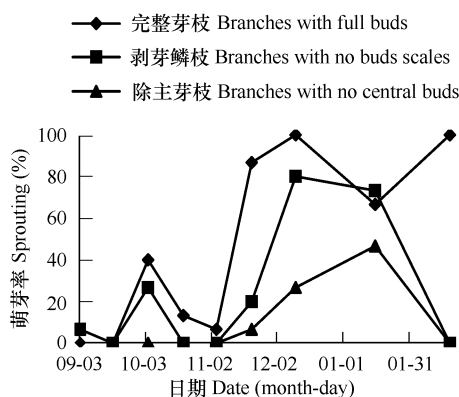


图 2 不同日期二球悬铃木冬芽在 15 连续光照下的发芽率

Fig. 2 Sprouting of winter buds of different date in *Platanus acerifolia* at 15

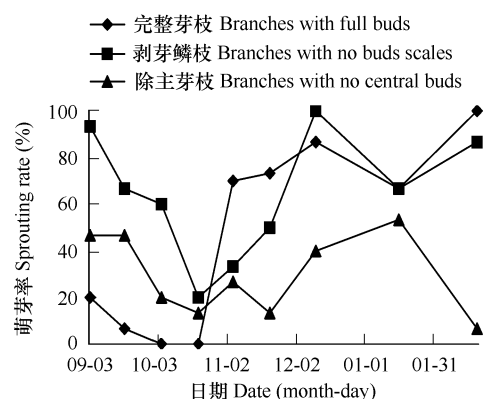


图 3 不同日期二球悬铃木冬芽在 20 连续光照下的发芽率

Fig. 3 Sprouting of winter buds of different date in *Platanus acerifolia* at 20

从图 3 可以看出,在 20 条件下,10 月中旬前的萌芽率都是随着日期的延后而降低,其中,完整芽的萌芽率最低,最高只有 20%,副芽次之,最高为 46.7%,剥芽鳞芽最高,最高萌芽率达到了 93.3%;10 月中旬后,完整芽和剥芽鳞芽的萌芽率都逐渐升高,到 12 月上中旬达到最大,而后维持在较高的萌芽率水平,而副芽到 11 月下旬前维持在较低的萌芽率水平,然后才开始逐渐升高,到 1 月中旬萌芽率达到最高,为 53.3%,到了 2 月中旬又降低到几乎不萌芽的程度。

从图 4 可以看出,在 25℃ 条件下,完整芽萌芽率变化趋势呈倒抛物线形,从 9 月份到 10 月下旬萌芽率逐渐降低,由 100% 降到 60% 以下,在 11~12 月份萌芽率最低,维持在 40%~60% 之间,进入 1 月份之后,又逐渐回升,到 2 月中旬冬芽已经能够 100% 发芽了;剥芽鳞芽在整个冬芽期内萌芽率都维持在较高的水平,除了 1 月 16 日的 70% 萌芽率相对较低之外,其它时期的萌芽率差异不明显,且都在 90% 以上;除主芽后副芽萌芽率在 9 月 3 号处理时为 90%,9 月 18 号骤然下降至 20%,10 月 4 号下降为 10%,到 10 月 20 号时萌芽率又突然上升到 100%,而后开始随时间逐渐下降,至 2 月 18 号处理时萌芽率降至 10%。

## 2.2 低温处理对二球悬铃木冬芽萌发的影响

图 5 表示未进行低温处理的 2002-11-18 的悬铃木冬芽在 25℃、20℃、15℃ 连续光照条件下的萌发过程。从图 5 可以看出,25℃ 条件下悬铃木冬芽开始萌发需要的时间为 35d,从开始萌芽到枝条不再萌发持续的时间为 28d;20℃ 条件下冬芽开始萌发需要的时间为 63d,从萌芽开始到枝条不再萌发持续的时间为 59d;15℃ 条件下冬芽开始萌发需要的时间为 90d,从萌芽开始到枝条不再萌发持续的时间为 43d。温度越高萌发时间越早,但萌芽率越低,25℃ 的萌芽率最低为 45%,20℃ 次之,为 65%,15℃ 的萌芽率最高为 80%,说明 15℃ 具有解除休眠的一定低温效果,而 20℃ 也有微弱的低温效果。

从图 6 可以看出,11 月 18 日的悬铃木冬芽经过 5 和 12℃ 低温处理 20、40、60、80d 后,与没有经过低温处理的悬铃木冬芽相比,萌芽率明显升高,萌芽率绝大多数在 95% 以上,萌芽时间缩短,萌芽速度加快;5℃ 和 12℃ 之间的低温效果几乎相同;经过相同时间的低温处理后,悬铃木冬芽萌发速度随发芽温度的升高而加快,经过 20d 低温处理的悬铃木冬芽在 15、20 和 25℃ 发芽温度下的发芽速度差异最明显,随着低温处理时间的延长,3 种发芽温度间的萌芽速度差异越来越小,60d 低温处理的悬铃木冬芽在 15、20 和 25℃ 温度下都能快速发芽,发芽速度差异最小,80d 的低温处理反而使 15 和 20℃ 温度下萌芽率有所降低,萌芽速度有所减缓。

## 3 讨论

综合以上结果可知,悬铃木冬芽具有与一般温带树种相似的休眠特征<sup>[1,5~9]</sup>,也有悬铃木独自の休眠特性。在休眠导入期,25℃ 温度条件下萌芽率逐渐降低,而在 20℃ 以下难于发芽,以防止秋季冬芽萌发面临冬季寒冷的危害;进入 10 月下旬后进入深休眠期,同时进入休眠解除期,但由于经历低温量的不足,使得 11~12 月份的 25℃ 温度下萌芽率仍然较低,再经过 1 月份低温之后,冬芽休眠逐渐得到解除,可能发芽温度范围继续向低温方向扩大,到春季当外界气温大于其发芽可能最低温度时,即使在 10~15℃ 的较低温度下也能 100% 萌发,重新开始生长,结束休眠解除期<sup>[1,2,5]</sup>。

在休眠深度最深时期,在 25℃ 发芽温度下 40%~60% 的悬铃木冬芽能够萌发,而且 20d 的低温处理就使萌芽率达到了 100%,说明了悬铃木冬芽的休眠深度与山桐子冬芽相似,具有浅冬休眠特性,而没有像意大利杨树(*Populus × euramericana* cv. 'F214')那样具有深休眠的特性,在深休眠期即使 25℃ 发芽温度下也不萌发<sup>[5,6]</sup>;从解除悬铃木冬芽休眠的低温范围看,5℃ 与 12℃ 具有同样的低温效果,15℃ 较 5℃ 与 12℃ 的低温效果

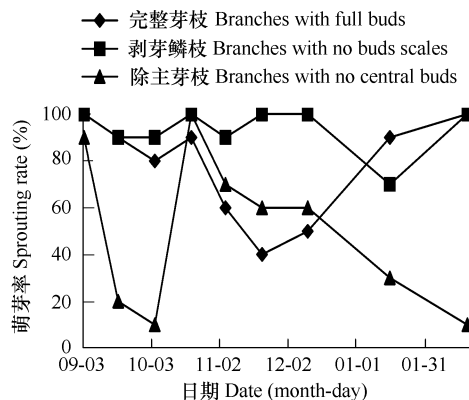


图 4 不同日期二球悬铃木冬芽在 25℃ 连续光照下的发芽率

Fig. 4 Sprouting of winter buds of different date in *Platanus acerifolia* at 25

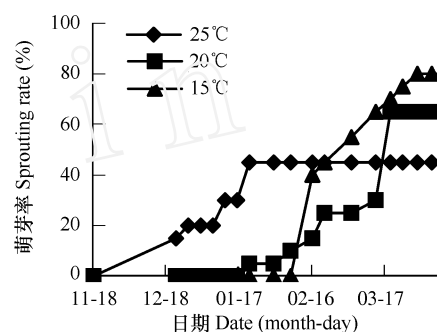


图 5 未做低温处理的 11 月 18 日悬铃木冬芽萌发过程

Fig. 5 Sprouting process of winter buds of 11~18h in *Platanus acerifolia* at 25, 20, 15

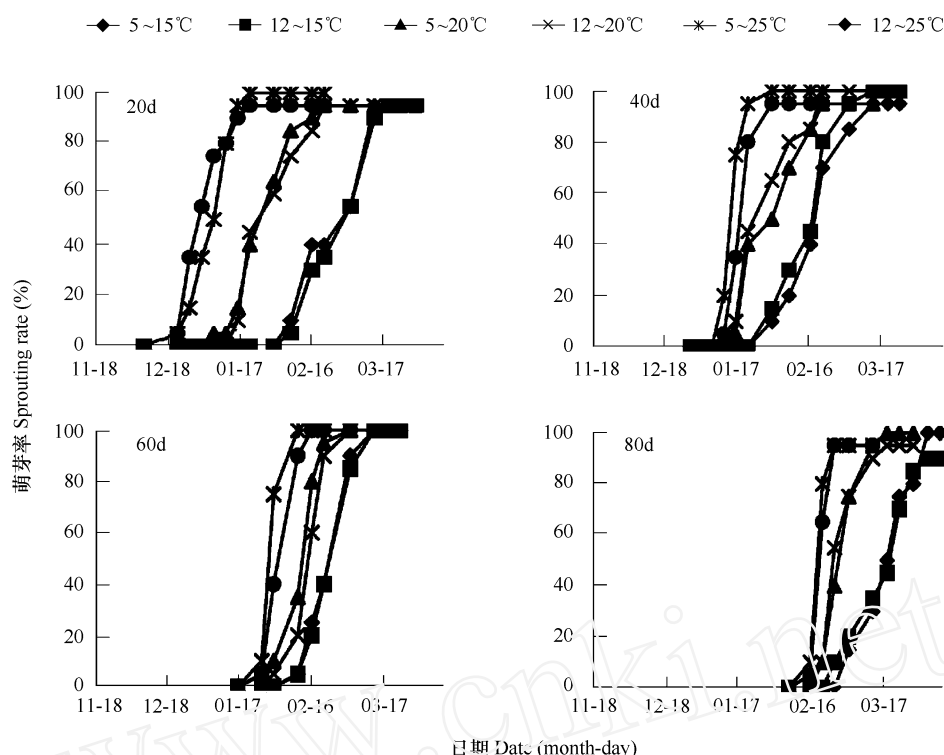


图6 11月18日的悬铃木冬芽在经过不同时间5、12 低温处理后在15、20、25 连续光照条件下的萌发过程

Fig. 6 Sprouting process of winter buds of 18. Nov. pre-chilled by different periods of 5, 12 in *Platanus acerifolia* under condition of continuous illumination at 15, 20, 25

稍差,而20 也有解除悬铃木冬芽休眠的效果。它不同于北方冬休眠类型的0~10 低温尤其5 的低温解除休眠效果最好的温带树种,但与南方冬休眠类型的山桐子相似,解除山桐子冬芽休眠的有效低温为5 ~15 ,但20 却没有解除休眠的低温效果<sup>[1~4]</sup>,说明解除悬铃木冬芽休眠的低温范围更宽,该特性可能与悬铃木冬芽为柄下芽,而且具有绒毛保护有关,反映了悬铃木气候生态适应性极强的特点。

根据上述分析,悬铃木冬芽的休眠与分布于暖温带的山桐子相似,与红润楠或北方系冬休眠类型不同,属于南方系冬休眠类型。正因为如此,二球悬铃木才能在横跨亚热带与暖温带的广大范围内栽培,不至于像分布于亚热带的红润楠那样,冬芽不休眠,在暖温带的冬季低温下也萌发而不能越冬<sup>[7]</sup>,也不至于因为解除悬铃木冬芽休眠的低温量不足而导致悬铃木冬芽不能萌发或萌发后不能生长的结果发生<sup>[1~4]</sup>,说明气候温暖化对悬铃木生存的影响将会很小,预示着选出的无球少球悬铃木新品种将有广泛的推广应用范围。

根据不同温度下不同时期去除芽鳞的悬铃木冬芽萌发情况,可以得出芽鳞在冬芽萌发中的作用。在10月底以前的休眠导入期,芽鳞对冬芽的萌发具有明显的阻碍作用,叶原基、生长点或花原基的重新生长需要25 的较高温度,15 相对低温不能使其萌发,20 的温度能使休眠导入初期的剥芽鳞芽萌发,而随着休眠深度的加深,20 的温度也逐渐不能满足其萌发所需要的能量,导致萌芽率的降低。在这个过程中,由于芽鳞的阻碍与叶原基、生长点或花原基休眠的加深,完整芽在25 条件下萌芽率表现为逐渐降低,而在15 与20 条件下表现为难于发芽<sup>[1,5]</sup>;在进入深休眠之后的11月份悬铃木冬芽,在15 与20 温度条件下,没有芽鳞的冬芽萌发率反而低于有芽鳞的萌发率,但在25 温度下却相反,剥芽鳞芽的萌发率明显高于不剥芽鳞的。分析其原因,由于15 与20 具有解除二球悬铃木冬芽休眠的效果,而25 却没有,说明了芽鳞与低温解除休眠具有密切关系;进入12月份之后,15 与20 温度下悬铃木完整芽萌芽率与剥芽鳞芽差别不明显,并高于25 温度下的完整芽萌芽率,到了1月份之后,15、20 与25 温度下的萌芽率才趋于一致,说明随着经历低温时间的延长,悬铃木冬芽休眠逐渐得到解除,芽鳞的作用也变得越来越弱。到2月中旬剥除芽鳞的悬

铃木冬芽在 20 与 25 温度下具有与完整芽同样高的萌芽率,但在 15 温度下却不能萌发,原因不明。没有芽鳞的悬铃木冬芽即使在休眠深度最深的 10~11 月,在 25 条件下萌发率接近 100%,说明了芽鳞的阻碍作用也应是导致休眠的原因之一。

总之,悬铃木冬芽的休眠与芽鳞具有密切的关系,芽鳞除了具有促进休眠和抵御冬季寒冷干燥气候外,还具有利用冬季低温解除其休眠的作用。冬芽能否萌发取决于叶原基、生长点或花原基的生长力与芽鳞阻碍力的平衡能否打破,如果生长力大于阻碍力,冬芽就表现为萌发,反之,就表现为不能萌发<sup>[5]</sup>。低温通过芽鳞解除休眠的过程可能是通过在提高了生长点、叶原基或花原基的萌发力的同时降低芽鳞的阻碍力,打破二者的平衡,从而保证春季冬芽的正常萌发。CB 具有诱导悬铃木冬芽休眠的作用并与低温关系密切的结论<sup>[18,19]</sup>说明悬铃木芽鳞中的激素水平可能与悬铃木冬芽休眠诱导和萌发关系密切。

冬芽内的副芽在冬芽期内的萌芽率变化趋势与冬芽内的主芽相似,都有难于发芽的相对时期;不同之处在于 15 与 20 温度下所有时期的萌芽率都较低,不存在休眠解除后萌芽率可以升高到 100%的程度。25 温度下的 10 月中下旬副芽虽然具有较高的萌芽率,但随后萌芽率却逐渐降低,与 15 与 20 温度条件下一样到 2 月中旬时,副芽已经不能再萌发了。主芽和副芽休眠特性不同,当主芽萌芽能力弱时,副芽萌芽力变强,反之,主芽又对副芽萌发具有一定的抑制作用。可以认为,悬铃木在进化过程中,副芽的形成是有备外在风险的系统维持战略,当主芽能够经过冬季低温解除休眠能够萌发时,副芽重新进入休眠,不萌发以备非常时之用。

## References:

- [1] Liu Z. Studies on the dormancy in *Idesia polycarpa* distributing in the subtropical zone. Bulletin of Mie University Forest, 2000, 24:107~161.
- [2] Liu Z. Effect of prechilling on the germination of seeds of *Paulownia tomentosa*. Acta Agriculturae Universitatis Henanensis, 1999, 33(3):279~281.
- [3] Liu Z, Nakashima A, Kushida T, et al. Effect of winter's temperature on the sprouting of winter buds in *Idesia polycarpa*. Environmental System Research, 1998, 26:239~244.
- [4] Liu Z, Wang L. Temperature characteristics of winter buds dormancy in *Idesia polycarpa* of different origins. Journal of Henan Agricultural University, 2000, 34(3):252~254, 297.
- [5] Nagata H, Nakashima A, Yurugi Y. Bud dormancy in woody plants. Bulletin of Mie University Forest, 1994, 18:17~42.
- [6] Nagata H. Bud dormancy in woody plants. Chemical Control of Plant, 1969, 4(1):33~39.
- [7] Nagata H, Yurugi Y. Studies on dormancy in woody plants IV Relationship between ecotype and dormancy in *Machilus thunbergii* SIEB. et ZUCC. The Summary of Bioresources, Mie University, 1990, 4:147~156.
- [8] Villiers T A. Dormancy and the survival of plants. London:Edward Arnold, 1975. 1~67.
- [9] Vegis A. Dormancy in higher plants. Annual Review Plant Physiology, 1964, 15:185~224.
- [10] Liu Z, Wang Y M, Jiang J P. Eco-physiological study on seed dormancy in *Paulownia fortunei* from different provenances. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(5):959~964.
- [11] Liu Z, He S L, Wang Y M, et al. Study on the temperature characteristics of dormancy development of terminal and lateral buds in *Paulownia*. Scientia Silvae Sinicae, 2004, 40(3):46~50.
- [12] Liu Z, Bi H T, Jiang J P, et al. The laws of branching and trunk extension sprouted from lateral buds in *Paulownia* trees. Scientia Silvae Sinicae, 2005, 41(4):42~47.
- [13] Lu C M, Wu G R, Zhou C F, et al. The physiological adaptation of *Platanus acerifolia* bud in winter. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2001, 21(4):650~655.
- [14] Liu Z, Jiang J P, Yang H Q, et al. Study on bio-ecological characteristics of *Platanus acerifolia* in blooming and bearing. Flower buds' development and distribution on crown and sprig. Journal of Henan Agricultural University, 2002, 36(1):50~54.
- [15] Liu Z, Jiang J P, Yang H Q, et al. Study on bio-ecological characteristics of *Platanus acerifolia* in Blooming and Bearing. Changing of flower buds' development with increase of D B H. Journal of Henan Agricultural University, 2002, 36(1):54~58.
- [16] Liu Z, Yang H Q, Jiang J P. Study on bio-ecological characteristics of *Platanus acerifolia* in blooming and bearing. Differences of flower buds' development and blooming between Zhengzhou city and Jigongshan Mountain. Journal of Henan Agricultural University, 2003, 36(4):330~333.
- [17] Liu Z, Wang G X, Jiang J P, et al. Study on bio-ecological characteristics of *Platanus acerifolia* in blooming and bearing. The regularity of growth

and development of branches sprouted by flower buds. Journal of Henan Agricultural University, 2003, 37(2): 149 ~ 153, 136.

- [18] Nagata H. Gibberellin-induced dormancy in winter buds of *Platanus orientalis* L. Journal of Japanese Forestry Society, 1979, 61(6): 211 ~ 214.
- [19] Nagata H, Tsuda Y. Effects of low-temperature and Gibberellin on the sprouting of the winter buds of *Platanus orientalis*. Bulletin of Mie University Forests, 1974, (9): 9 ~ 18.

#### 参考文献:

- [2] 刘震. 低温湿层处理对毛泡桐种子发芽率的影响. 河南农业大学学报, 1999, 33(3): 279 ~ 281.
- [4] 刘震, 王玲. 不同种源山桐子冬芽休眠的温度特性. 河南农业大学学报, 2000, 34(3): 252 ~ 254, 297.
- [10] 刘震, 王艳梅, 蒋建平. 不同种源白花泡桐种子的休眠生理生态研究. 生态学报, 2004, 24(3): 90 ~ 95.
- [11] 刘震, 何松林, 王艳梅, 等. 泡桐顶侧芽休眠发育的温度特性研究. 林业科学, 2004, 40(3): 46 ~ 50.
- [12] 刘震, 毕会涛, 蒋建平, 等. 泡桐侧芽萌发成枝接干规律. 林业科学, 2005, 41(4): 42 ~ 47.
- [13] 陆长梅, 吴国荣, 周长芳, 等. 悬铃木越冬芽在冬季的生理适应. 西北植物学报, 2001, 21(4): 650 ~ 655.
- [14] 刘震, 蒋建平, 杨海青, 等. 悬铃木开花结实生物生态学特性研究. 悬铃木花芽分化分布规律. 河南农业大学学报, 2002, 36(1): 50 ~ 53.
- [15] 刘震, 蒋建平, 杨海青, 等. 悬铃木开花结实生物生态学特性研究. 悬铃木花芽分化随胸径变化的规律性. 河南农业大学学报, 2002, 36(1): 54 ~ 58.
- [16] 刘震, 杨海青, 蒋建平. 悬铃木开花结实生物生态学特性研究. 郑州市与信阳鸡公山悬铃木花芽分化及开花的差异性. 河南农业大学学报, 2002, 36(4): 330 ~ 333.
- [17] 刘震, 王国霞, 蒋建平, 等. 悬铃木开花结实生物生态学特性研究. 花芽萌发成枝的生长发育规律. 河南农业大学学报, 2003, 37(2): 149 ~ 153, 136.