



5 种野生无髯鸢尾种子休眠与萌发特性研究

卢明艳^{1,2}, 杜 研¹, 毕晓颖^{2*}

(1 新疆林业科学院 园林绿化研究所, 乌鲁木齐 830000; 2 沈阳农业大学 园艺学院, 沈阳 110161)

摘 要:以 5 种野生无髯鸢尾种子为材料, 从种子的吸水率和发芽率两个方面分析休眠原因与打破休眠促进萌发的方法, 为中国鸢尾属植物的种质资源保护与应用提供技术支持。结果表明: (1) 5 种野生无髯鸢尾种子的吸水率比较显示, 玉蝉花和山鸢尾的种皮透水性最好, 其次是燕子花的种皮透水性, 溪荪的种皮透水性最差; 种皮的透水、透气性差及致密的胚乳是抑制马蔺种子萌发的主要原因; 另外, 变温可增加野生无髯鸢尾种子种皮和胚乳的透水性。 (2) 马蔺和溪荪种子的种皮对萌发存在强烈的抑制作用, 而燕子花、山鸢尾和玉蝉花种子的种皮抑制作用不显著; 珠孔端胚乳是 5 种野生鸢尾种子休眠的主要因素。 (3) 温度对 5 种野生无髯鸢尾种子萌发影响很大, 变温处理显著提高了马蔺、溪荪、玉蝉花种子的萌发率, 且最适条件为: 变温 30 ℃/20 ℃、8 h 光照/16 h 黑暗, 但该条件对山鸢尾和燕子花种子萌发的影响不显著, 即单一因子不能打破燕子花和山鸢尾种子的休眠。研究发现, 5 种野生无髯鸢尾种子休眠和萌发特征各异, 主要影响因素也不尽相同, 但珠孔端胚乳是 5 种野生无髯鸢尾种子休眠的主要因素; 低温层积处理与变温 30 ℃/20 ℃相结合能明显提高野生无髯鸢尾属种子的发芽率, 是其种子打破休眠的有效措施。

关键词:野生无髯鸢尾; 种子; 休眠; 萌发

中图分类号: Q945.35

文献标志码: A

Study on Seed Dormancy and Germination Characteristics with Five Species of Wild Apogons *Iris*

LU Mingyan^{1,2}, DU Yan¹, BI Xiaoying^{2*}

(1 Garden and Landscape Research Institute, Xinjiang Academy of Forestry Sciences, Urumqi 830000, China; 2 College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China)

Abstract: Five kinds of seeds of beardless *Iris* species were used as materials. The purpose of this study was to understand the reasons of seminal dormancy and germination method through conducting the absorbent and germination experiments. This can provide technical support for the protection and application of *Iris* germplasm resources. The results are as followed: (1) the results of water-absorbing of five wild Apogons *Iris* seed showed that the water permeability of *I. ensata* Thunb. and *I. setosa* Pall. was the best, followed by *I. laevigata* Fisch, while the water permeability of *I. sanguinea* Donn. ex Horn. was poor. The permeability to water and gas and density of the endosperm is one of the main reasons for the inhibition of seed germination of *I. lactea* Pall. var. *chinensis* Kodiz. In contrast, the dense endosperm is the main factor affecting the germination of the seeds, and the alternating temperature can increase the permeability of the seed coat and endosperm. (2) There was a strong inhibitory effect on seed coat of *I. lactea* Pall. var. *chinensis* Kodiz. and *I. sanguinea* Donn. ex Horn. for germination, while the inhibition

收稿日期: 2017-04-07; 修改稿收到日期: 2017-09-11

基金项目: 辽宁省教育厅科学技术研究项目 (L2010491)

作者简介: 卢明艳 (1983—), 女, 硕士, 园艺师, 主要从事鸢尾属植物及经济树种的引种、示范与推广。E-mail: 305736040@qq.com

* 通信作者: 毕晓颖, 博士, 副教授, 研究生导师, 主要从事观赏植物种质资源与遗传育种。E-mail: bixiaoyingyuan@163.com.cn

of seed cost of *I. laevigata* Fisch., *I. ensata* Thunb. and *I. setosa*, Pall. was not significant. The tipped micropylar endosperm is the main factor in the dormancy of five wild *Iris*. (3) The effects of temperature influenced seed germination of *Iris* greatly, alternating temperature significantly or very significantly increased seed germination rate of *I. lactea* Pall. var. *chinensis* Kodiz., *I. sanguinea* Donn. ex Horn., *I. ensata* Thunb., and the optimum alternating temperature was 30 °C/20 °C, 8 h light/16 h dark, but seed germination rate, germination energy of *I. setosa* Pall. and *I. lactea* var. *chinensis* Kodiz. had not significant difference, therefore, the single factor could not break the seed dormancy of *I. laevigata* Fisch. and *I. setosa* Pall.. A study found that seed dormancy and germination characteristics in five species of wild Apogons *Iris* were different, the main influencing factors were different, but the tipped micropylar endosperm is the main factor in the dormancy of five wild *Iris*. It needed to adopt comprehensive measures with cold stratification combined alternating temperature 30 °C/20 °C, which was the effective measures on breaking seed dormancy to greatly enhance the wild Apogons *Iris* seed germination rate.

Key words: wild Apogons *Iris*; seed; dormancy; germination

鸢尾属(*Iris*)植物是多年生宿根草本植物,中国种质资源丰富多样^[1]。因其品种繁多,适应性强,花大色艳,花型奇特,是绿化城市的优良材料之一,还可用于药物和饲料^[2],在切花和园林绿化上应用前景广阔。野生鸢尾植物主要采用分株繁殖^[3],但繁殖系数较低,还可利用播种繁殖,但多数鸢尾种子具有休眠现象^[4-5],人工繁殖发芽率低,给鸢尾资源引种栽培、育种等工作带来了一定的困难,阻碍了其在园艺栽培上的应用。迄今,大量学者已对鸢尾种子休眠原因及解除休眠方法进行了研究^[6-8],对无髯鸢尾种子的系统研究仅见路覃坦等^[9]、Sun 等^[10]、张丹等^[11]、卓露等^[12]、卢明艳等^[13]的相关报道,涉及种类包括山鸢尾(*I. setosa* Pall.)、玉蝉花(*I. ensata* Thunb.)、金脉鸢尾(*I. chrysographes*)、西南鸢尾(*I. bulleyana*)、细叶鸢尾(*I. tenuifolia*)、喜盐鸢尾(*I. halophila*)、野鸢尾(*I. dichotoma* Pallas)和马蔺(*I. lactea* Pall. var. *chinensis* Kodiz.)等少数种。然而,不同鸢尾属植物种子的休眠原因各不相同,种子休眠的原因主要分为种皮机械阻碍、萌发抑制物存在、种胚后熟未完成以及外界环境条件限制等^[14],主要采用光照、温度、层积、药剂、离体胚培养和辐射处理等处理打破其休眠^[7-8,12-13,15-16]。本研究以具有地域代表性的材料——辽宁省沈阳市的马蔺(*I. lactea* Pall. var. *chinensis* Kodiz.)、溪荪(*I. sanguinea* Donn. ex Horn.)种子和采自吉林省安图县二道白河的燕子花(*I. laevigata* Fisch.)、玉蝉花(*I. ensata* Thunb.)和山鸢尾(*I. setosa* Pall.) 5 种野生无髯鸢尾种子为材料,系统地研究了其休眠原因与萌发特性,旨在打破阻碍中国野生鸢尾资源引种开发利用的瓶颈,为中国鸢尾属植物的种质资源保护、杂交育种、种子扩繁等提供理论指导。

1 材料和方法

1.1 实验材料

参试的 5 种野生无髯鸢尾材料中,马蔺和溪荪种子采自海拔 72 m 的沈阳农业大学花卉基地,玉蝉花、燕子花和山鸢尾种子采自吉林省安图县二道白河海拔 850、900 和 960 m 处林缘的自然种群。实验均采用当年成熟的种子,采后在室温下保存待用。

1.2 种子吸水率测定

各材料取完整和去种皮种子各 30 粒(马蔺、溪荪种皮结合紧密,仅取完整种子),加蒸馏水 80 mL,分别放入 30 °C(8 h 光照)/20 °C(16 h 黑暗)和恒温 25 °C(光照时间 8 h · d⁻¹)环境下,每隔 2 h 取出称重,12 h 后每 12 h 取出称重,直到重量不变为止,最后计算种子吸水率。2 次重复。种子吸水率是种子增加的重量与风干种子重量的百分比。

1.3 种子发芽率测定

1.3.1 种皮和胚乳切除处理 以室温干藏的种子为实验材料(下同),将种子用蒸馏水浸泡 24 h,进行如下处理:Ⅰ. 剥除种皮;Ⅱ. 剥除种皮加种皮培养物;Ⅲ. 剥除种皮,切除珠孔端胚乳;Ⅳ. 保留种皮,切除珠孔端胚乳;CK. 完整种子。将处理后种子在恒温 25 °C(光照时间 8 h · d⁻¹)下进行发芽试验,3 次重复,每次重复 30 粒种子,马蔺进行发芽试验 90 d,其余 4 种鸢尾进行发芽试验 30 d。

1.3.2 马蔺种子各部位切除处理 将马蔺种子浸泡 2 d 后,进行如下处理:a. 切除种脐;b. 纵切;c. 去种孔端种皮;d. 保留种皮,切除珠孔端胚乳,露出胚根;e. 保留种皮,切除 1/3~1/4 珠孔端胚乳,露出胚根;f. 保留种皮,切除 1/2 珠孔端胚乳,露出胚根;CK. 完整种子(对照)。将处理后种子在 30 °C(8 h

光照)/20 ℃(16 h 黑暗)环境中进行发芽试验,47 d 后统计萌发数据。

1.3.3 温度及变温处理 种子经蒸馏水浸泡 24 h 后,分别置于恒温 15 ℃、20 ℃、25 ℃、30 ℃(8 h 光照/16 h 黑暗)环境,以及变温 15 ℃/5 ℃、25 ℃/15 ℃、30 ℃/20 ℃(8 h 光照/16 h 黑暗)环境下进行发芽试验,30 d 后统计萌发数据。重复 3 次,每次重复 30 粒种子。

1.3.4 低温沙藏处理 马蔺、燕子花、玉蝉花、山鸢尾种子经蒸馏水浸泡 24 h 后与湿沙混合均匀,置于 4 ℃冰箱中分别保存 2、4、6、8、10、12、14 和 16 周,然后在变温 30 ℃/20 ℃(8 h 光照/16 h 黑暗)环境下进行发芽试验 30 d,马蔺进行发芽试验 90 d。重复 3 次,每次重复 30 粒种子。

1.4 种子抑制物生物学测定

1)种子粗提物制备:参考叶要妹的抑制物生物鉴定方法^[17],随机取马蔺、燕子花、玉蝉花和山鸢尾种子各 90 粒,分离种皮和胚乳,分别放入三角瓶中加蒸馏水 20 mL 于 37 ℃恒温下浸提取 24 h,过滤溶液定容至 50 mL,制成种皮及胚乳粗提液待用。

2)粗提物抑制活性生物测定:以清水为对照,小白菜种子为生物鉴定种子。分别取 5 种野生鸢尾种子的种皮和胚乳粗提液 5 mL,注入培养皿(直径 90 mm)中,不足部分用蒸馏水补充,放入小白菜种子 30 粒,恒温 25 ℃条件下暗培养,24 h 后测定发芽率,48、72 和 96 h 后分别测定小白菜幼根长,以清水为对照,3 次重复。

1.5 数据处理

以上所有萌发试验,均以胚根露出种皮 1 mm 为萌发标准。相关数据用 SPSS 17.0 软件进行方差分析。相关计算公式如下:

$$\text{发芽率}(\%) = \frac{\text{种子发芽数}}{\text{种子总数}} \times 100\%$$
$$\text{发芽势}(\%) = \frac{\text{发芽种子数达到高峰时的发芽数}}{\text{种子总数}} \times 100\%$$

2 结果与分析

2.1 野生鸢尾种子的吸水率比较

5 种野生鸢尾种子的吸水率均表现出增加的趋势,且其增幅最大值均出现在吸水 2 h 时(图 1)。其中,溪荪、马蔺的种皮透水性较差,与胚乳相比更能阻碍水分的进入,尤其是马蔺种皮和胚乳组织致密,即使在变温 30 ℃/20 ℃环境下也没有增加其种皮和胚乳的透水性,这表明种皮的透水、透气性差及致密的胚乳是马蔺种子难以萌发的主要原因之一。相

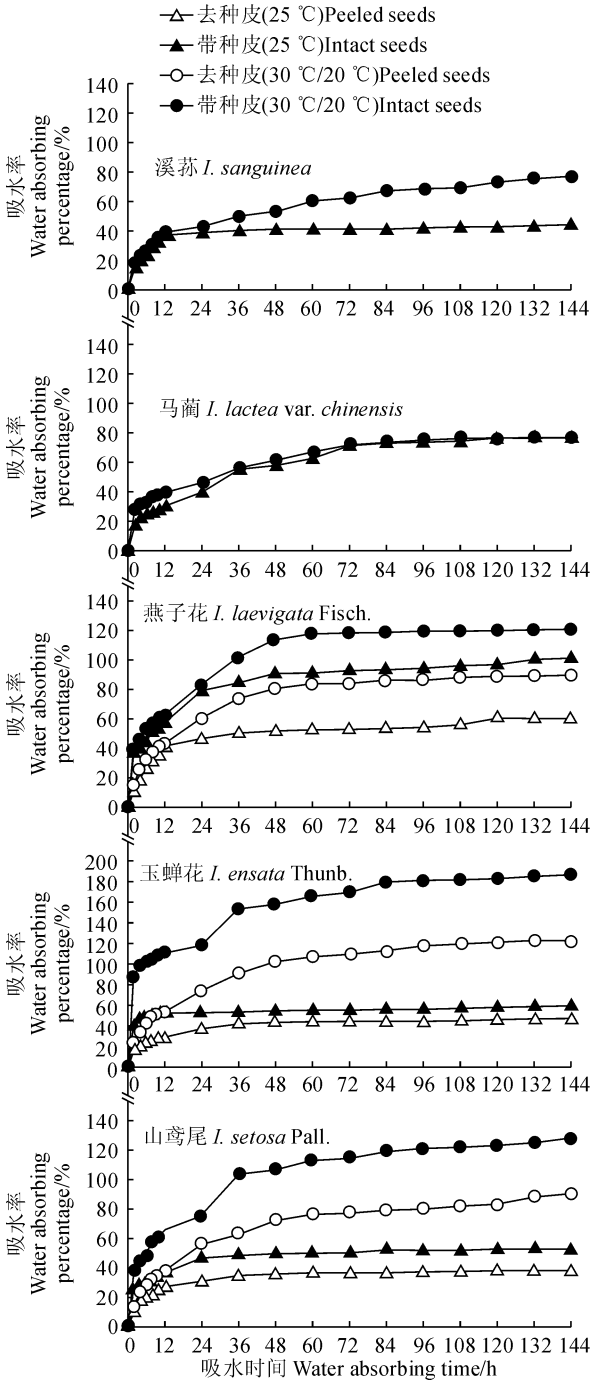


图 1 不同处理对 5 种野生无髯鸢尾种子吸水特性的影响
Fig. 1 Effect of water absorption of five species of wild Apogons Iris seeds

比较而言,致密的胚乳是影响马蔺种子萌发的主要因素。玉蝉花和山鸢尾的种皮透水性较好,这与种皮组织疏松有一定的关系,去种皮后种子吸水率比带种皮的显著下降,原因是其种子的胚乳组织较种皮致密,不易透水,没有了种皮的吸水以及持水特性;而在变温 30 ℃/20 ℃环境下,玉蝉花和山鸢尾种子的吸水率均大于恒温 25 ℃环境,又表明变温增加了种皮和胚乳的透水性,使其种子的吸水率增加。

燕子花种皮具有一定的透水性,但因为种皮中富含油脂,使其透水性较玉蝉花和山鸢尾差,带种皮的种子吸水率明显高于去种皮的,其种子吸水率与变温 30 ℃/20 ℃还是恒温 25 ℃关系不大,这说明其种子胚乳透水性较种皮差。由此推测种皮不是燕子花种子难以萌发的主要原因。

2.2 野生鸢尾种子萌发特性比较

2.2.1 种皮和胚乳对野生鸢尾种子萌发的影响

表 1 显示,马蔺和溪荪仅剥除种皮种子(处理 I)的发芽率和发芽势均极显著高于完整种子(CK);马蔺种子剥除种皮加种皮培养物处理(处理 II)的发芽率和发芽势显著高于其处理 I 种子,而溪荪处理 II 种子的发芽率和发芽势却极显著低于其处理 I 种子;燕子花、山鸢尾处理 II、I 及 CK 种子的发芽率和发芽势均为 0,而玉蝉花这些处理种子的发芽率和发芽势也很低且处理间差异均不显著。在切除珠孔端胚乳处理(处理 III、IV)下,马蔺种子发芽率和发芽势均不同程度高于其他处理(处理 II 除外),但大多差异不显著,溪荪种子发芽率和发芽势均极显著高于其余处理,而燕子花、山鸢尾和玉蝉花种子发芽率和

发芽势均达到与马蔺和溪荪一样较高水平。以上结果表明马蔺和溪荪种皮对种子萌发存在强烈的抑制作用,且种皮中存在萌发抑制物,而燕子花、山鸢尾和玉蝉花外种皮均没有抑制它们种子萌发,其外种皮均不存在萌发抑制物;珠孔端胚乳对 5 种野生鸢尾种子萌发的抑制作用强于种皮,这种抑制作用主要是珠孔端胚乳所致。另外,溪荪、燕子花、玉蝉花和山鸢尾种子的发芽率和发芽势在切除种孔端胚乳处理与其去种皮、去种皮加种皮培养物和对照处理间差异显著或极显著,且其在第 1 天就开始萌发,进一步说明珠孔端胚乳是造成溪荪、燕子花、玉蝉花、山鸢尾种子休眠的主要因素。

2.2.2 切除不同部位对马蔺种子萌发的影响 马蔺种子始萌发天数在切除种脐后比对照缩短了 17 d,而其他处理比对照缩短了 23 d,且第 1 天就开始萌发(表 2)。就发芽率而言,切除种脐、去种孔端种皮、去种孔端胚乳、去种孔端 1/3~1/4 胚乳处理马蔺种子的发芽率均极显著高于对照的,发芽率均达到 97.78%以上;但去种孔端 1/2 胚乳处理的发芽率与对照差异不显著,说明适当切除珠孔端胚乳是

表 1 种皮和胚乳对野生鸢尾种子萌发的影响

Table 1 Effects of seed coat and endosperm on seed germination of wild <i>Iris</i>						
项目 Item	处理 Treatment	马蔺 <i>I. lactea</i> var. <i>chinensis</i>	溪荪 <i>I. sanguinea</i>	燕子花 <i>I. laevigata</i> Fisch.	玉蝉花 <i>I. ensata</i> Thunb	山鸢尾 <i>I. setosa</i> Pall.
始萌发天数 Days of initial germination/d	CK	20	9	—	11	—
	I	1	7	—	9	—
	II	1	8	—	18	—
	III	1	1	1	1	1
	IV	1	1	1	1	1
发芽率 Germination rate/%	CK	3.33cB	3.33dD	0.00bB	3.33cC	0.00bB
	I	88.89bA	55.56bB	0.00bB	7.78cC	0.00bB
	II	91.11abA	33.33cC	0.00bB	10.00cC	0.00bB
	III	100.00aA	93.33aA	100.00aA	90.00aA	95.56aA
	IV	94.45abA	92.22aA	98.00aA	72.22bB	95.55aA
发芽势 Germination energy/%	CK	3.33cC	3.33eE	0.00cC	3.33bB	0.00bB
	I	50.00bB	43.33cC	0.00cC	7.78bB	0.00bB
	II	75.56aA	29.22dD	0.00cC	10.00bB	0.00bB
	III	70.00aAB	65.56aA	95.56aA	67.67aA	75.55aA
	IV	75.56aA	54.44bB	80.00bB	61.11aA	85.56aA

注: I. 剥除种皮; II. 剥除种皮加种皮培养物; III. 剥除种皮, 切除珠孔端胚乳; IV. 保留种皮, 切除珠孔端胚乳; CK. 完整种子; 不同小写字母表示 0.05 水平差异显著, 不同大写字母表示 0.01 水平差异极显著。下同

Note: I. Peeled seeds; II. Peeled seeds with seed coat culture; III. Peeled seeds without micropylar endosperm; IV. Detipped seeds; CK. Intact seeds; Different normal letters mean significant difference at 0.05 level, different capital letters mean significant difference at 0.01 level ($P<0.01$, $n=3$). The same as below

促进马蔺种子萌发的有效措施。从马蔺种子发芽势上看,去种孔端 1/3 ~ 1/4 胚乳处理最高(100.00%),并与其他处理间均差异极显著,去种孔端胚乳处理次之(96.67%),切除种脐(82.22%)和去种孔端种皮处理(46.67%)也极显著高于对照,而纵切和去种孔端 1/2 胚乳处理却显著低于对照,说明去种孔端 1/3~1/4 胚乳和去种孔端胚乳处理能有效缩短马蔺种子萌发所用的时间,使种子萌发速度加快,萌发集中、整齐。即促进马蔺种子发芽的最适切除部位处理是去种孔端 1/3~1/4 胚乳。

2.2.3 不同温度及变温处理对野生鸢尾种子萌发的影响 由表 3 可知,温度对马蔺、溪荪、玉蝉花种子萌发影响很大,变温 30 ℃/20 ℃处理的发芽率和发芽势极显著高于恒温 15 ℃、20 ℃、25 ℃、30 ℃和变温 15/5 ℃、25 ℃/15 ℃处理,马蔺、溪荪和玉蝉花种子的发芽率分别达到 10.00%、85.56% 和 23.33%,它们的发芽势分别为 10.00%、53.33% 和

17.78%。可见,马蔺、溪荪、玉蝉花种子最适萌发温度为变温 30 ℃/20 ℃。同时,温度对山鸢尾种子萌发也有一定影响。变温 25 ℃/15 ℃、30 ℃/20 ℃处理的发芽率、发芽势与其他处理间差异显著,表明变温处理有利于山鸢尾种子的萌发,且最适萌发温度为变温 30 ℃/20 ℃。另外,燕子花在不同温度和变温处理下,仅在变温 30 ℃/20 ℃时有 1 粒种子萌发。因此,单一温度不能打破燕子花种子休眠。

2.2.4 不同低温沙藏时间对野生鸢尾种子萌发的影响 由表 4 可知,低温沙藏对玉蝉花、燕子花、山鸢尾和马蔺种子的发芽率有显著或极显著促进作用,低温沙藏后各种子的发芽率在变温 30 ℃/20 ℃下均有大幅度的提高;随着低温沙藏时间的延长,4 种鸢尾种子的发芽率均呈先升高后略下降的趋势,玉蝉花种子低温沙藏 4 周的发芽率最高(78.89%),燕子花和山鸢尾种子低温沙藏 8 周的发芽率最高(分别为 70.00%、55.56%),马蔺种子低温沙藏 14 周

表 2 切除种子不同部位对马蔺种子萌发的影响
Table 2 Effect of removal of different parts on seed germination of *I. lactea* var. *chinensis*

处理 Treatment	始萌发天数 DIG/ d	发芽率 GR/%	发芽势 GE/%
完整种子(CK) Intact seed	24	28.89bB	28.89eE
切除种脐 Resection hilum	7	100.00aA	82.22cC
纵切 Longitudinal	1	97.78aA	26.67fE
去种孔端种皮 De-tipped micropylar end of seed coat	1	100.00aA	46.67dD
去种孔端胚乳 De-tipped micropylar endosperm	1	100.00aA	96.67bB
去种孔端 1/3~1/4 胚乳 De-tipped micropylar endosperm of 1/3-1/4	1	100.00aA	100.00aA
去种孔端 1/2 胚乳 De-tipped micropylar endosperm of 1/2	1	26.67bB	22.22gF

表 3 不同温度处理对 5 种野生鸢尾种子发芽率和发芽势的影响
Table 3 Effect of different temperature treatments on seed germination rate and germination energy of five species of wild *Iris*

指标 Index	温度 Temperature/℃	马蔺 <i>I. lactea</i> var. <i>chinensis</i>	溪荪 <i>I. sanguinea</i>	燕子花 <i>I. laevigata</i> Fisch.	玉蝉花 <i>I. ensata</i> Thunb.	山鸢尾 <i>I. setosa</i> Pall.
发芽率 Germination rate/%	15	0.00bB	0.00bB	0.00aA	0.00cC	0.00bA
	20	0.00bB	0.00bB	0.00aA	0.00cC	0.00bA
	25	0.00bB	0.00bB	0.00aA	0.00cC	0.00bA
	30	0.00bB	0.00bB	0.00aA	0.00cC	0.00bA
	15/5	0.00bB	0.00bB	0.00aA	0.00cC	0.00bA
	25/15	0.00bB	2.22bB	0.00aA	8.89bB	1.11abA
	30/20	10.00aA	85.56aA	1.11aA	23.33aA	2.22aA
发芽势 Germination energy/%	15	0.00bB	0.00bB	0.00aA	0.00cC	0.00bA
	20	0.00bB	0.00bB	0.00aA	0.00cC	0.00bA
	25	0.00bB	0.00bB	0.00aA	0.00cC	0.00bA
	30	0.00bB	0.00bB	0.00aA	0.00cC	0.00bA
	15/5	0.00bB	0.00bB	0.00aA	0.00cC	0.00bA
	25/15	0.00bB	2.22bB	0.00aA	7.78bB	1.11abA
	30/20	10.00aA	53.33aA	1.11aA	17.78aA	2.22aA

的发芽率最高(73.33%)。这说明低温沙藏与变温30℃/20℃相结合能明显地提高这4种鸢尾种子的发芽率,是打破玉蝉花、燕子花、山鸢尾和马蔺种子休眠的有效措施。

2.3 种皮和胚乳水提物的抑制作用

由表5可知,马蔺种子的种皮、胚乳提取液对白菜种子的萌发均有极显著抑制作用,由此推测致密的种皮和胚乳内的抑制物质可能是马蔺种子休眠的原因之一;燕子花种子种皮和胚乳提取液处理的白菜种子发芽率显著低于对照,说明其种皮和胚乳

中含有抑制种子萌发物质;玉蝉花和山鸢尾种子胚乳提取液处理的白菜种子发芽率显著低于对照,也说明其胚乳中含有抑制种子萌发物质;同时,各野生鸢尾种子的种皮和胚乳浸提液处理对白菜种子的胚根长有不同程度的影响。其中,马蔺种子的种皮浸提液和玉蝉花种子的胚乳浸提液均对白菜胚根生长产生极显著抑制作用,但马蔺、燕子花和山鸢尾的胚乳浸提液对白菜胚根生长起促进作用,说明这3种野生鸢尾鸢尾种子胚乳中的营养物质有助于白菜种子胚根生长。

表4 不同低温沙藏时间对野生鸢尾种子发芽率的影响

Table 4 Effects of different period of sand storage in low-temperature on seed germination rate of wild *Iris*

层积时间(周) Stratification duration (week)	发芽率 Germination rate/%			
	马蔺 <i>I. lactea</i> var. <i>chinensis</i>	玉蝉花 <i>I. ensata</i> Thunb.	燕子花 <i>I. laevigata</i> Fisch.	山鸢尾 <i>I. setosa</i> Pall.
0	8.89eD	18.89eD	1.11hG	10.00deCD
2	55.56cB	76.67abA	4.44gG	4.44efD
4	30.00dC	78.89aA	18.89fF	3.33fD
6	28.89dC	72.22bcAB	24.44eE	15.56cdC
8	51.11cB	76.67abA	70.00aA	55.56aA
10	54.44cB	77.78aA	64.44bB	50.00aA
12	66.67bA	68.89cBC	43.33cC	26.67bB
14	73.33aA	63.33dC	35.56dD	18.89cBC
16	65.55bA	—	—	—

注:—表示未测
Note: — stands for not detected.

表5 种子浸提液对小白菜种子萌发的影响

Table 5 Effect of seed extract solution on germination of Chinese cabbage seeds

种名 Species	浸提液 Extract solution	发芽率 Germination rate/%	平均根长 Average length of root/mm		
			2 d	3 d	4 d
马蔺 <i>I. lactea</i> var. <i>chinensis</i>	种皮 Seed coat	86.67bB	1.04cC	1.58cC	1.97cC
	胚乳 Endosperm	87.78bB	2.29aA	4.49aA	5.62aA
	CK	94.44aA	1.62bB	2.86bB	3.33bB
燕子花 <i>I. laevigata</i> Fisch.	种皮 Seed coat	88.89bA	1.78aA	3.59aA	4.04aA
	胚乳 Endosperm	87.78bAB	2.06aA	3.35aA	3.45aA
	CK	94.44aA	1.62aA	2.86aA	3.33aA
玉蝉花 <i>I. ensata</i> Thunb.	种皮 Seed coat	93.33aA	1.72aA	3.05aA	4.00aA
	胚乳 Endosperm	88.89aA	1.00bB	1.52bB	1.59cB
	CK	94.44aA	1.62aA	2.86aA	3.33bA
山鸢尾 <i>I. setosa</i> Pall.	种皮 Seed coat	91.11abA	1.62bA	3.58bAB	4.38aAB
	胚乳 Endosperm	88.89bA	2.21aA	4.66aA	5.33aA
	CK	94.44aA	1.62aA	2.86aA	3.33aA

3 讨 论

种子休眠是指在一定时间内,具有活力的种子在适宜的外界条件下却不能萌发的现象^[18]。种子休眠的原因主要分为种皮机械阻碍、萌发抑制物存在、种胚后熟未完成以及外界环境条件限制等^[14]。

种皮机械阻碍引起种子休眠主要是因为种皮的不透水性、不透气性和种皮的机械障碍,这方面的研究报道很多^[19-20]。研究发现某些鸢尾种皮对其种子胚的生长起着物理的机械阻碍作用^[21]。本研究表明马蔺种皮透水性较差,且种皮和胚乳致密,说明种皮的透水、透气性差及致密的胚乳是马蔺种子抑制萌发的主要原因之一,但不是影响萌发的主要因素;燕子花的种皮具有一定的透水性,因其种皮中富含油脂,且燕子花、玉蝉花和山鸢尾的外种皮没有抑制种子萌发,且也不存在萌发抑制物;去种皮能促进溪荪种子的萌发,表明种皮的机械阻力是影响溪荪种子萌发的主要因素。

种子中萌发抑制物质是导致休眠的主要原因之一^[22]。本研究发现溪荪种子的种皮中含有抑制物,玉蝉花和山鸢尾种子的胚乳内含有抑制物;燕子花种皮和胚乳中含有抑制萌发的物质,而其外种皮不存在萌发抑制物质,说明内种皮和胚乳中含有抑制萌发的物质;且种皮和胚乳内的抑制物质是致使马蔺种子休眠的原因之一。

Blumenthal 等^[23]认为假种皮鸢尾的萌发抑制程度是由珠孔端胚乳的厚薄、胚乳细胞不同所形成的机械阻力大小不同决定的。此后,路覃坦等^[9]发现种皮对无髯鸢尾种子萌发有一定的抑制作用,种子休眠的主要原因之一是胚乳,特别是珠孔端胚乳对胚生长的机械阻力,以及珠孔端胚乳对鸢尾属种

子的抑制作用,随后发现切除种孔端胚乳可有效破除种子休眠^[24]。本研究发现适当切除珠孔端胚乳是促进马蔺种子萌发的有效措施,其发芽的最适切除部位为去种孔端胚乳 1/4~1/3,其发芽率和发芽势分别为 100.00%和 96.67%,这与徐本美等^[25]的研究结果一致;珠孔端胚乳与种皮相比在更大程度上抑制了马蔺种子的萌发,且珠孔端胚乳也是造成溪荪、燕子花、玉蝉花、山鸢尾种子休眠的主要因素。

种子的萌发速度主要取决于吸水速度和温度。变温处理可有效破除未经过生理休眠和存在硬实种子的休眠,对许多野生植物种子特别有效^[26-27]。变温处理也有利于鸢尾属种子萌发,早在 19 世纪 80 年代国外就报道了昼夜变温处理有促进种子萌发的效果。变温有利于改变种皮的伸缩性而引起种皮破裂,并刺激种子代谢。大多数鸢尾植物的种子发芽率在常温 25℃最高^[28-30];部分鸢尾种子在变温条件下萌发,25℃/10℃、15℃/25℃、35℃/25℃等是萌发的最适温度^[12,31]。本研究发现,溪荪种子发芽率在恒温条件下为 0,在变温 30℃/20℃时为 85.56%,因此,变温能有效打破溪荪种子的休眠,为强迫休眠;同样,变温处理也显著或极显著地提高了马蔺、溪荪、玉蝉花种子的萌发率,它们的最适变温条件为 30℃/20℃、8 h 光照/16 h 黑暗;但该处理条件对山鸢尾、燕子花种子的发芽率、发芽势的影响并不显著,由此可见,单一因子不能打破山鸢尾和燕子花休眠,这与刁晓华^[32]研究燕子花经低温沙藏 90 d 后常温下则可提高其发芽率至 87.80%的结果不一致,需采用综合措施。本研究发现,低温层积处理与变温 30℃/20℃相结合会明显地提高 5 种野生无髯鸢尾属种子的发芽率,是其种子打破休眠的有效措施。

参考文献:

[1] 赵毓棠. 中国植物志[M]. 北京:科学出版社, 1985, 16(1): 148-172.

[2] 张铁军,夏光成. 抗风湿中草药彩色图谱[M]. 北京:中国中医药出版社, 1997.

[3] 郭 瑛,高亦珂. 鸢尾属植物种子休眠原因及提高萌发率方法综述[J]. 种子, 2006, 25(2):42-44.

[4] GUO Y, GAO Y K. Review on the dormancy causes and germination-promoting measures of iris Seeds[J]. Seed, 2006, 25(2):42-44.

[5] STOLTZ L P. Iris seed dormancy[J]. Physiol. Plant, 1968, 3:1 328-1 331.

[6] 赵国凡,王兴理. 植物组织培养概论[M]. 大连:大连工学院出版社, 1988, 175:290-291.

[7] RANDOLPH L F. Stratification and priming may improve seed germination of purple coneflower, Blue-flag Iris and evening primrose [J]. International Society for Horticultural Science (ISHS), 2004, 629:391-395.

[8] 张伟艳,王 玲,卓丽环,等. 东北 3 种野生鸢尾种子生物学比较研究[J]. 种子, 2006, 25(12):34-37.

[9] ZHANG W Y, WANG L, ZHUO L H, et al. Comparative study on seeds biology of three species of Iris[J]. Seed, 2006, 25(12):34-37.

[10] 肖月娥,俞新平,胡永红,等. 西南鸢尾种子萌发特性初步研究[J]. 种子, 2008, 27(2):18-20.

[11] XIAO Y E, YU X P, HU Y H, et al. Study on the character-

istics of seed germination of *Iris bulleyana*[J]. *Seed*, 2008, **27**(2):18-20.

[9] 路覃坦, 张金政, 孙国峰, 等. 4 种中国野生无髯鸢尾种子休眠原因的研究[J]. 园艺学报, 2008, **35**(10):1 497-1 504.
LU T T, ZHANG J Z, SUN G F, *et al.* Dormancy causes of the seeds of four species of wild apogons *Iris* in China[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2008, **35**(10):1 497-1 504.

[10] SUN Y C, ZHANG Y J, WANG K. NaOH scarification and stratification improve germination of *Iris lacteal* var. *chinensis* seed[J]. *Hortiscience*, 2006, **41**(3):773-774.

[11] 张 丹, 张金政, 孙国峰, 等. 细叶鸢尾种子休眠原因及解除休眠的方法研究[J]. 草业学报, 2011, **20**(6):109-117.
ZHANG D, ZHANG J Z, SUN G F, *et al.* A study on the causes of *Iris tenuifolin* dormancy and the methods for breaking dormancy[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2011, **20**(6):109-117.

[12] 卓 露, 管开云, 李文军, 等. 喜盐鸢尾种子休眠与萌发特性初步研究[J]. 干旱区研究, 2014, **31**(4):739-743.
ZHUO L, GUAN KY, LI W J, *et al.* Study on the dormancy and germination of *Iris halophila* Seeds[J]. *Arid Zone Research*, 2014, **31**(4):739-743.

[13] 卢明艳, 毕晓颖, 郑 洋, 等. 野鸢尾种子萌发特性的研究[J]. 种子, 2009, **28**(7):90-93.
LU M Y, BI X Y, ZHENG Y, *et al.* Studies on seed germination characteristics of *Iris dichotoma* Pallas [J]. *Seed*, 2009, **28**(7):90-93.

[14] 李 康, 李丹青, 张佳平, 等. 鸢尾属植物种子休眠研究进展[J]. 植物科学学报, 2016, **34**(4): 662-668.
LI K, LI D Q, ZHANG J P, *et al.* Review on seed dormancy in *Iris*[J]. *Plant Science Journal*, 2016, **34**(4): 662-668.

[15] 徐秀梅, 张新华, 王汉杰. Co60- γ 射线辐射对马蔺种子萌发的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2003, **27**(1): 55-58.
XU X M, ZHANG X H, WANG H J. A study on the germination of *Iris lacteal* Pall. Var *chinensis* Koid Z. seeds under Co⁶⁰- γ radiation[J]. *Journal of Nanjing Forestry University*(Natural Sciences Edition), 2003, **27**(1):55-58.

[16] 刘 冰, 毕晓颖, 郑 洋, 等. 3 种鸢尾属植物种子吸水及发芽特性研究[J]. 种子, 2012, **31**(1):34-37.
LIU B, BI X Y, ZHENG Y. Study on soaking and germination characteristics of three *Iris* species seeds[J]. *Seed*, 2012, **31**(1):34-37.

[17] 叶要妹, 王彩云, 史银莲. 对节白蜡种子休眠原因的初步探讨[J]. 湖北农业大学学报, 1999, (4):45-47.
YE Y M, WANG C Y, SHI Y L. Preliminary study on cause of seed dormancy of *Fraxinus hupensis* [J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 1999, (4):45-47.

[18] BASKIN J M, BASKIN C C. A classtification system for seed gormancy[J]. *Seed Science Research*, 2004, **14**:1-16.

[19] A. A. KHAN. 种子休眠和萌发的生理生化[M]. 王沙生, 译. 北京: 农业出版社. 1989.

[20] 慕小倩, 史 雷, 赵云青, 等. 曼陀罗种子休眠机理与破眠方法研究[J]. 西北植物学报, 2011, **31**(4):683-689.
MU X Q, SHI L, ZHAO Y Q, *et al.* Study on seed dormancy and germination breaking methods of *Datura stramonium* Linn[J]. *Acta Bot. Boreali. Occident. Sci.*, 2011, **31**(4):683-689.

[21] 伍碧华, 颜 济, 周永红, 等. 种皮对扁竹兰鸢尾(*I. confusa*) 及其杂种种子萌发的抑制作用[J]. 四川农业大学学报, 1998, **16**(3):337-340.
WU B H, YAN J, ZHOU Y H, ZUO W X, *et al.* Inhibitory effects of coat on seed genrmation in *Iris confuse* and its hybrid[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 1998, **16**(3):337-340.

[22] RANDOLPH, L. F. and COX, L. G. Factors influencing the germination of *Iris* seed and the relation of inhibiting substances to embryo dormancy[J]. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 1943, **43**:284-300.

[23] BLUMENTHAL, LERNER H. R, ELLA W. Germination preventing mechanisms in *Iris* seeds[J]. *Annals of Botany*, 1986, **58**(4):551-561.

[24] 路覃坦, 张金政, 孙国峰, 等. 四种国产野生无髯鸢尾种子休眠类型的研究[J]. 草业学报, 2009, **18**(2):130-137.
LU T T, ZHANG J Z, SUN G F, *et al.* Study on the dormancy type of seeds of four species of wild *Iris* in China[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2009, **18**(2):130-137.

[25] 徐本美, 龙雅宜. 关于野生花卉种子萌发的研究[J]. 种子, 1991, **6**:44-47.
XU B M, LONG Y Y. Study on the germination of seeds of wild flower[J]. *Seed*, 1991, **6**:44-47.

[26] KONDO T, SATO C, BASKIN J M, *et al.* Post-dispersal embryo development, germination phenology, and seed dormancy in *Cardiocrinum cordatum* var. *glehnii* (Liliacees. str.), a perennial herb of the broadleaved deciduous forest in Japan[J]. *Am. J. Botany*, 2006, **93**:849-859.

[27] 潘春柳, 邓志军, 黄燕芬, 等. 绞股蓝种子休眠机理及其破除方法研究[J]. 西北植物学报, 2013, **33**(8):1 658-1 664.
PAN C L, DENG Z J, HUANG X F, *et al.* Study on seed Dormancy and germination breaking methods of *Gynostemma pentaphyllum* (Thunb) Makino[J]. *Acta Bot. Boreali. -Occident. Sci.*, 2013, **33**(8): 1 658-1 664.

[28] LEE E J, KOH J, JEA C. Improvement of seed germination in native *Iris sanguinea* Donn ex Hom[J]. *Korean Journal of Horticultural Science & Technology*, 2002, **20**(4):345-351.

[29] 孙 颖. 东北野生鸢尾属 6 种植物种子生物学及种苗发育过程的研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2004.

[30] 马玉梅, 王天歌, 温豆豆, 等. 短筒紫苞鸢尾种子萌发特性的研究[J]. 新疆农业大学学报, 2015, (6):439-443.
MA Y M, WANG T G, WEN D D, *et al.* Seed germination characteristics of *Iris ruthenica* Ker. -Gawl. Var. *brevituba* Maxim[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2015, (6):439-443.

[31] 张 云, 马玉梅, 秦景逸, 等. 膜苞鸢尾种子休眠及萌发特性研究[J]. 草地学报, 2016, (5):1 062-1 067.
ZHANG Y, MA Y M, QIN J Y, *et al.* Dormancy and germination of *Iris scariosa* seeds[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2016, (5):1 062-1 067.

[32] 刁晓华. 四种鸢尾属植物花卉生物学研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.

(编辑: 裴阿卫)