



窄叶野豌豆种子的休眠与发芽特性

张 瑞,李廷山,胡小文*,王彦荣

(草地农业生态系统国家重点实验室,兰州大学 草地农业科技学院,兰州 730020)

摘要:以青藏高原野豌豆属窄叶野豌豆(*Vicia angustifolia*)种子为材料,就其休眠类型、发芽对温度与水分的响应以及休眠破除方法进行了研究。结果显示:(1)窄叶野豌豆新鲜种子具有复合休眠特性,而贮藏种子仅具有物理休眠特性。(2)与贮藏种子相比,新鲜种子的发芽温度范围变窄,高温显著抑制其种子的发芽,在25℃条件下新鲜种子的发芽率仅为4%,而贮藏种子可达90%以上。(3)新鲜种子发芽对水分的要求较高,在-0.4 MPa以及10℃、15℃、20℃条件下,新鲜种子的发芽率分别为85%、55%、8%,而贮藏种子的发芽率分别为95%、91%、89%。(4)氟啶酮(FL)和赤霉素(GA₃)对贮藏种子的发芽与发芽速率均无明显作用,但可显著提高新鲜种子的发芽速率;与贮藏种子相比,新鲜种子的发芽对脱落酸(ABA)的抑制作用更为敏感;除高浓度多效唑(PA)显著抑制新鲜种子的发芽外,其他浓度的PA对新鲜种子与贮藏种子均无显著影响。研究表明,脱落酸可能是引致窄叶野豌豆种子生理休眠的主要原因;硫酸及切破种皮处理均可破除贮藏种的物理休眠,其中硫酸处理20 min效果最好。

关键词:窄叶野豌豆;复合休眠;种子发芽;水分胁迫;温度

中图分类号:Q945.35

文献标志码:A

Seed Dormancy and Germination Characteristics of *Vicia angustifolia*

ZHANG Rui, LI Tingshan, HU Xiaowen*, WANG Yanrong

(State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

Abstract: Present study explored seed dormancy type, seed germination response to temperature and water potential, and dormancy break methods of *Vicia angustifolia*, which extensively distributed in the Qing-Tibetan Plateau. The results showed that: (1) Fresh *V. angustifolia* seeds exhibited combinational dormancy, but one year stored seeds exhibited physical dormancy (PY) only. (2) Compared to one year stored seeds, fresh seeds had a narrower germination temperature range, and high temperature significantly inhibited its seed germination. Stored seeds germinated to 90% at 25 °C, but fresh seeds germinated to 4% only. (3) Fresh seeds are more sensitive to water stress compared to stored seeds regardless of temperature. At 10 °C, 15 °C, 20 °C, stored seeds germinated to 95%, 91% and 89% at -0.4 MPa, respectively, and fresh seeds germinated to 85%, 55% and 8% only. (4) Fluridon (FL) and gibberellic acid (GA₃) had no obvious effect on the germination of stored seeds, but significantly promoted the germination speed of fresh seeds at 20 °C. Compared with the stored seeds, germination of fresh seeds are more sensitive to ABA inhibition. In addition to the highest concentration of paclobutrazol (PA, 100 μmol/L), PA had no significant effect on germination of fresh and stored seeds. This suggests that ABA may be the main reason responsible for physiological dormancy of *V. angustifolia* seeds. Sulfuric acid scarification and cut treatment both could release

收稿日期:2013-09-11;修改稿收到日期:2013-11-04

基金项目:国家自然科学青年基金(31001030);国家科技计划(2011BAD17B02)

作者简介:张 瑞(1990—),女,在读硕士研究生,主要从事草业科学研究。E-mail:rui0208@126.com

*通信作者:胡小文,博士,副教授,主要从事种子生物学研究。E-mail:huxw@lzu.edu.cn

seed physical dormancy effectively, and sulfuric acid scarification for 20 min is the optimal way to release physical dormancy of one year stored *V. angustifolia* seeds.

Key words: *Vicia angustifolia*; combinational dormancy; seed germination; osmotic stress; temperature

休眠是指具有生命力的种子在适宜环境和规定时间条件下仍不能发芽的现象^[1]。根据 Baskin 和 Baskin 的研究可将休眠划分为物理休眠、形态休眠、生理休眠、形态生理休眠和复合休眠^[1]。其中物理休眠,又称硬实,普遍存在于豆科植物种子中,这一类型休眠的主要原因是种皮或果皮不透水^[2]。一般认为,物理休眠对于调控种子在田间的发芽时间和地点起着重要作用,有利于种子长期保存,尤其是对于那些生长在恶劣环境下的物种的延续与繁衍具有重要意义^[3]。大部分具有物理休眠的豆科植物,种皮通透性改善后,种子能够吸水,可以在一个相对较宽的温度范围内发芽。但对于有些物种而言,种子在收获后,即使通过一些物理化学措施破除其物理休眠,种子仍不能或者只能在某个特定的温度范围内发芽,这是因为种子除物理休眠外,其种胚还具有生理休眠^[4]。这种由于种皮阻碍吸水和胚的生长共同抑制种子发芽的现象称为复合休眠^[1]。前人研究表明复合休眠广泛存在于一年生豆科植物中,该种休眠形式被认为是调控种子发芽适宜时机的一个双重保护机制。如在地中海地区,复合休眠能确保种子在一个凉爽潮湿的环境下发芽,从而增加幼苗成功建植的几率^[5-6]。然而,对于亚高山地带的豆科植物,高温往往不是限制种子发芽与幼苗建植的主要因素,分布在此区域的豆科植物种子是否具有复合休眠?如果有,其休眠机制是怎样的?

基于此,本研究以青藏高原常见一年生豆科植物窄叶野豌豆(*Vicia angustifolia*)为研究对象,从其发芽对温度、水分、植物生长调节剂的响应入手,确定其休眠类型,并对其休眠破除方法进行探讨,分析该种休眠形式的生态适应性,以深入了解该植物种的生态适应机制,为该物种的保护与栽培利用提供参考依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料及采集地概况

2011年8月下旬从甘肃省夏河县桑科乡采集窄叶野豌豆种子,带回实验室清选后于常温条件下贮藏1年待用(下文称贮藏种)。2012年8月下旬再次从同一地点采集窄叶野豌豆种子,清选风干后立即用于试验(下文称新鲜种)。在种子采集过程

中,为确保种子的代表性,两种批均采集百株植物以上。种子样品其他信息详见结果部分(表1)。

采集地位于甘肃省甘南藏族自治州境内夏河县(102°30' E, 35°16' N),海拔3 000 m,年平均气温2 °C,最高气温出现在7月,约为25 °C,最低气温在1月,达零下20 °C;年降水量520 mm,降水量主要集中于5~7月。该地区无霜期56 d,全年日照时间为2 296 h。土壤以黑钙土为主,草地植被以垂穗披碱草(*Elymus nutans*)等禾本科植物为建群种^[7]。

1.2 试验方法

1.2.1 种子千粒重的测定 分别随机数取两个种批种子100粒,重复8次,万分之一天平称重,求取平均值。

1.2.2 种子发芽试验的测定 分别随机取一定量两个种批的种子,20 °C黑暗条件下培养,每天补充水分,3个重复,每重复50粒种子,14 d后统计硬实、发芽、新鲜(新鲜种子数表示吸胀但未发芽的种子数)及死种子数。

1.2.3 种子含水量的测定 参考国际种子检验规程^[8],低恒温烘干法测定两个种批种子的含水量,3个重复。

1.2.4 种子生命力的测定 参考国际种子检验规程^[8],采用四唑(2,3,5-triphenyl tetrazolium chloride, TTC)染色法测定种子的生活力,随机取两个种批的种子,于胚根相对端切破种皮后,将种子浸入1%浓度的四唑溶液中,20 °C下染色24 h,3个重复,每重复50粒种子。染色完后纵切种子观察,胚全部染色的为有生命力的种子,没有被染色的种子记为无生命力的种子。

1.2.5 切破种皮后种子发芽对温度与水势的响应

随机取一定量两个种批种子,解剖刀切破种皮后,分别置于10 °C、15 °C、20 °C、25 °C不同水势条件下培养(0、-0.2、-0.4、-0.6、-0.8、-1.0、-1.2 MPa),每处理4个重复,每重复50粒种子;以胚根突出种皮视为发芽,每天统计发芽种子数,持续14 d。按照 Michel 等^[9]的方法配置不同浓度的PEG-6000溶液以模拟不同的水势条件。试验期间,每培养皿加入10 mL对应浓度的PEG溶液,为保持恒定的溶液水势,称重法测定培养皿重量变化,每天补充因蒸发而散失的水分。

1.2.6 切破种皮后种子发芽对植物生长调节剂的响应 按照 Hu 等的方法^[10] 配置 0、1、10、100 $\mu\text{mol/L}$ 浓度的多效唑(PA)、脱落酸(ABA)和赤霉素(GA₃)溶液,以及 0、0.1、1、10 $\mu\text{mol/L}$ 的氟啶酮(Fl)溶液。对两个种批种子种皮进行切破处理后,在 10 ℃黑暗条件下测定其发芽对不同浓度发芽抑制剂 PA 与 ABA 溶液的响应;20 ℃黑暗条件下测定其发芽对不同浓度发芽促进剂 GA₃ 与 Fl 溶液的响应。每处理 4 个重复,每重复 50 粒种子,培养期间,每培养皿加入 10 mL 对应浓度的溶液,发芽持续时间为 14 d。

1.2.7 物理休眠的破除 根据 1.2.2 的结果,物理休眠主要存在于贮藏种中,故物理休眠的破除方法研究仅在贮藏种中进行。

(1)切破处理 随机取一定量贮藏种,解剖刀切破胚根相对端种皮,之后进行发芽实验,3 个重复,每重复 50 粒种子,置于 20 ℃黑暗条件下培养 14 d,以胚根突出种皮视为发芽,每天补充水分,统计发芽数。

(2)硫酸处理 随机取一定量贮藏种,置于盛有 30 mL 98% 浓硫酸的小烧杯中搅拌,处理时间分别为 5、10、15、20、25、30 min,处理完后倒入金属筛中用清水多次冲洗,置于滤纸上晾干后如(1)测定其发芽。

(3)热水处理 随机取一定量贮藏种,置于盛有 80 ℃开水的小烧杯中,轻轻搅拌处理 1、3、5 min,处理完后置于滤纸上晾干后如(1)测定其发芽。

1.3 统计分析

应用方差分析(ANOVA)检验各处理对测定参数的效应,若效应显著,采用 Duncan 多重比较法比较各处理间均值;种批间测定参数均值的比较采用独立样本 T-检验。发芽速率 $1/t_{50}$ 的计算采用 Probit 法进行。发芽指数(GI) = $\Sigma Gt/Dt$,其中 Gt 表示在时间 t 日的发芽数; Dt 表示至 t 日的发芽天数。所有数据处理均采用 SPSS 17.0 软件,Excel 2010 制图。

2 结果与分析

2.1 种批基本信息

贮藏种与新鲜种在硬实率、发芽率与新鲜种子率上存在显著差异,如贮藏种的硬实率、发芽率与新鲜种子率分别为 91%、8%、0,而新鲜种为 25%、52%、22%。但在千粒重、生活力、含水量以及死种子率上,两种批无显著差异(表 1)。

2.2 切破种皮后种子发芽对温度与水势的响应

种批、温度、水势及其之间的互作均显著影响种子的发芽率与发芽速率。相比新鲜种,贮藏种具有相对较高的发芽率与发芽速率;高温对两种批种子的发芽均表现出一定的抑制作用,但在新鲜种上更为明显。随水势的降低,种子的发芽和发芽速率整体呈下降趋势,其中新鲜种相比贮藏种,其发芽对水分胁迫更为敏感(图 1、图 2)。

2.2.1 对温度的响应 温度显著影响两个种批窄叶野豌豆种子(划破种皮)的发芽率和发芽速率(图 1)。随着温度的升高,新鲜种和贮藏种的发芽率均呈现下降趋势,且新鲜种的发芽对高温抑制更为敏感,如在 25 ℃时,贮藏种发芽率为 80%,而新鲜种仅为 17%。不同温度条件下贮藏种的发芽速率均高于新鲜种,贮藏种的发芽速率随温度升高呈现先升高后下降的趋势,其中 20 ℃条件下的发芽速率最快。新鲜种发芽速率总体呈现随温度上升而下降的趋势,但 10 ℃与 15 ℃条件下二者发芽速率无显著差异。

2.2.2 对水势的响应 温度、水势、种批及其互作均显著影响种子的发芽与发芽速率(图 2)。随水势的降低,两种批种子的发芽率与发芽速率均呈现降低趋势。相比贮藏种,新鲜种的发芽对水分胁迫的抑制作用更为敏感,如在 10 ℃、15 ℃、20 ℃, -0.4 MPa 条件下新鲜种发芽率仅分别为 85%、55%、8%,而贮藏种分别为 95%、91%、89%。随温度的升高,水势对两个种批种子发芽的抑制作用更为明显,如在 10 ℃、15 ℃、20 ℃, -0.6 MPa 条件下新

表 1 供试种批基本信息

Table 1 The basic information of testing seed lots

种批 Seed lot	千粒重 1 000 weight/g	生活力 Viability/%	含水量 Moisture content/%	硬实率 Hard seed/%	新鲜种 Fresh seed/%	发芽数 Germination/%	死种子 Dead seed/%
贮藏种 Stored seeds	20.09a	98a	6.6a	91a	0b	8b	1a
新鲜种 Fresh seeds	20.53a	98a	7.4a	25b	22a	52a	1a

注:表中同列不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Notes: Different letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$). The same as below.

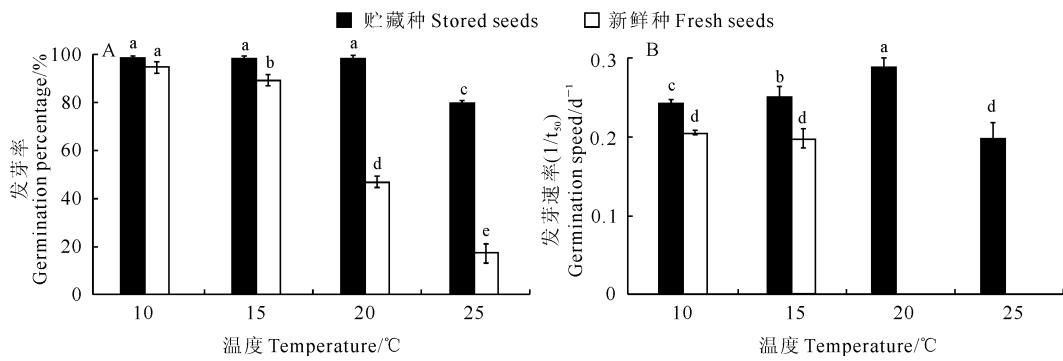
图1 不同温度对硬实破除后窄叶野豌豆种子发芽率(A)和发芽速率(B)的影响($1/t_{50}$)图中标不同字母者表示差异显著($P<0.05$);下同

Fig. 1 Germination percentage and speed of scarified stored and fresh seeds of

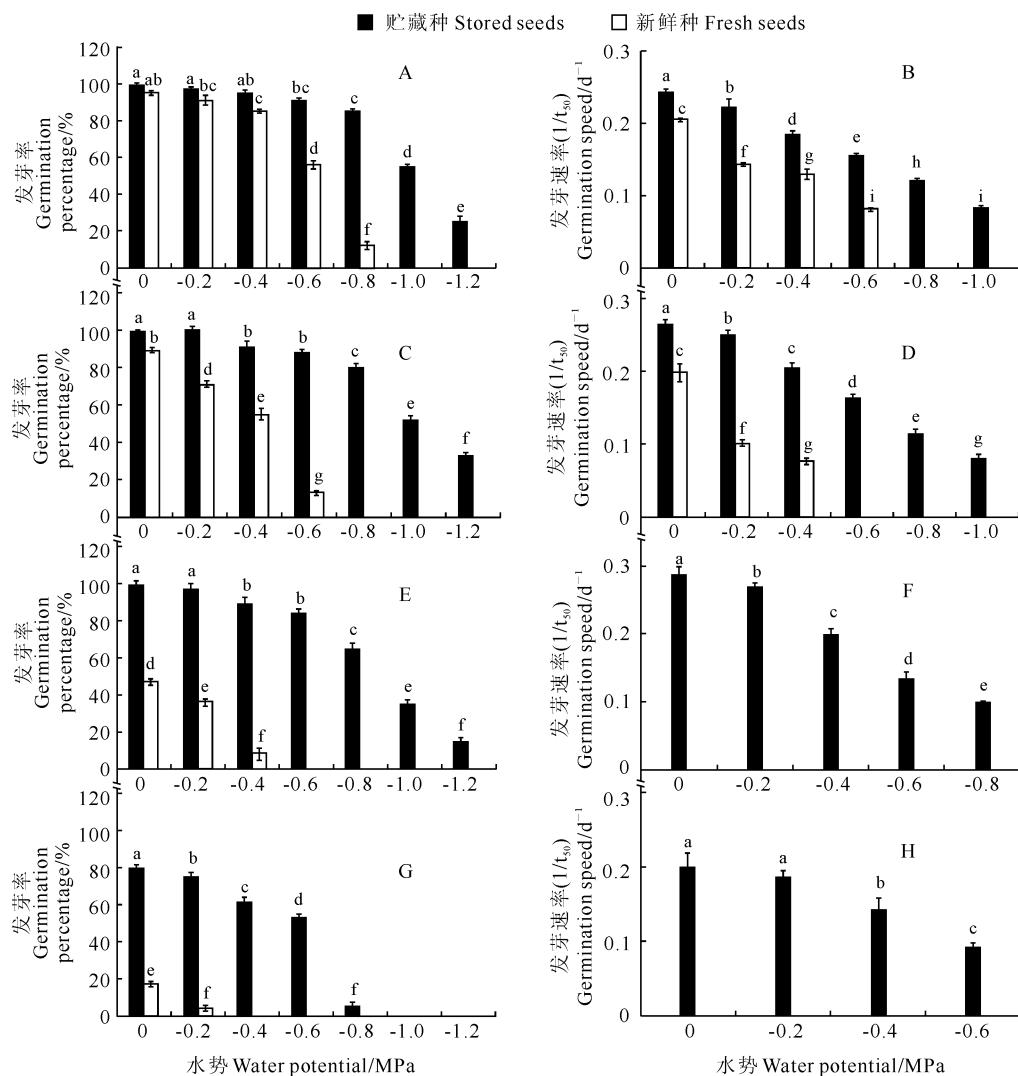
V. angustifolia incubated at 10, 15, 20 and 25°C for 14 d in the darkDifferent letters in the legend indicate significant difference ($P<0.05$). The same as below

图2 不同温度下水势对硬实破除后窄叶野豌豆种子发芽率(A、C、E、G)和发芽速率(B、D、F、H)的影响

A、B. 10 °C ; C、D. 15 °C ; E、F. 20 °C ; G、H. 25 °C

Fig. 2 Effect of water potential on germination percentage and germination speed ($1/t_{50}$)of scarified stored and fresh seeds of *V. angustifolia* incubated for 14 d in the dark

A, B. 10 °C ; C, D. 15 °C ; E, F. 20 °C ; G, H. 25 °C

鲜种发芽率仅分别为 56%、13%、0,而贮藏种分别为 91%、88%、84%。

2.3 种子物理休眠的破除

浓硫酸、热水、切破种皮 3 种休眠破除方法均可一定程度打破种子休眠,其中浓硫酸与切破种皮处理效果最好(表 2)。随浓硫酸处理时间的增加,种子的发芽率呈先升高后降低的趋势,其中 20 min 处理效果最好,发芽率达 97%。热水处理 1 min 时发芽率较对照有轻微增加,但随着热水处理时间的增加,种子的发芽率降低,死种子数也随之增加。切破

种皮可以显著提高发芽率,达 99%。

2.4 种子生理休眠机制及其破除

氟啶酮(FL)和赤霉素(GA₃)对贮藏种和新鲜种的发芽率均无显著作用,但 FL 和 GA₃ 可显著提高新鲜种的发芽指数(图 3)。在所有 FL 浓度处理下,新鲜种发芽指数显著增加,且与贮藏种无显著差异;随 GA₃ 浓度的增加,新鲜种发芽指数呈现先升高后下降的趋势,其中 1 $\mu\text{mol/L}$ GA₃ 处理发芽指数最高,100 $\mu\text{mol/L}$ GA₃ 处理发芽指数最低。

脱落酸(ABA)显著降低贮藏种和新鲜种的发

表 2 不同休眠破除方法对窄叶野豌豆种子发芽率、硬实率和死亡率的影响

Table 2 Effects of different dormancy break treatments on percentages of germination, dormancy and dead seed in *Vicia angustifolia*

处理技术 Treatment	处理温度或时间 Temperature or time	发芽率 Germination percentage/%	硬实率 Dormancy/%	死亡种子率 Percentage of dead seed/%
对照 control		7e	91a	2bcd
硫酸 Sulfuric acid	5 min	73c	25c	3abcd
	10 min	92b	6d	2bcd
	15 min	95ab	1de	3abcd
	20 min	97a	1de	1cd
	25 min	95ab	0	5abc
	30 min	92b	0	6a
热水 Hot water	80 ℃, 1 min	13d	85b	2bcd
	80 ℃, 3 min	8de	90a	2bcd
	80 ℃, 5 min	7e	87ab	5ab
刺破 Pierced	20℃, 14 d	99a	1e	1d

注:同一列不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)。

Notes: Different letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

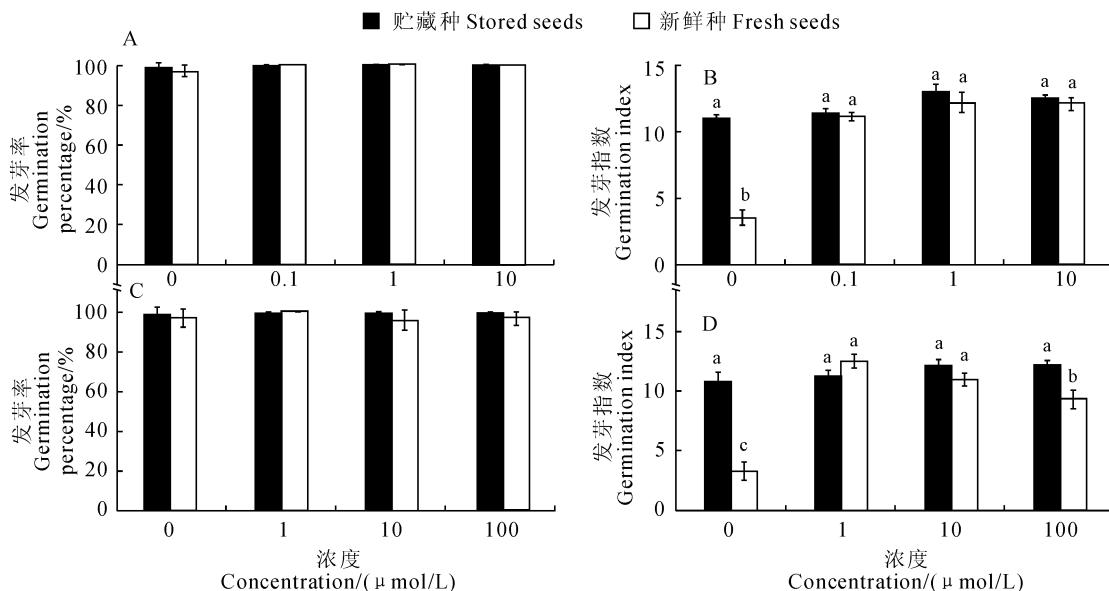


图 3 20 ℃条件下不同浓度氟啶酮(A、B)和赤霉素(C、D)对窄叶野豌豆新鲜种和贮藏种发芽率和发芽指数的影响

Fig. 3 Effect of fluridone(A, B) and gibberellic acid (C, D) on *V. angustifolia* seed germination percentage and index incubated at 20 ℃ after scarification

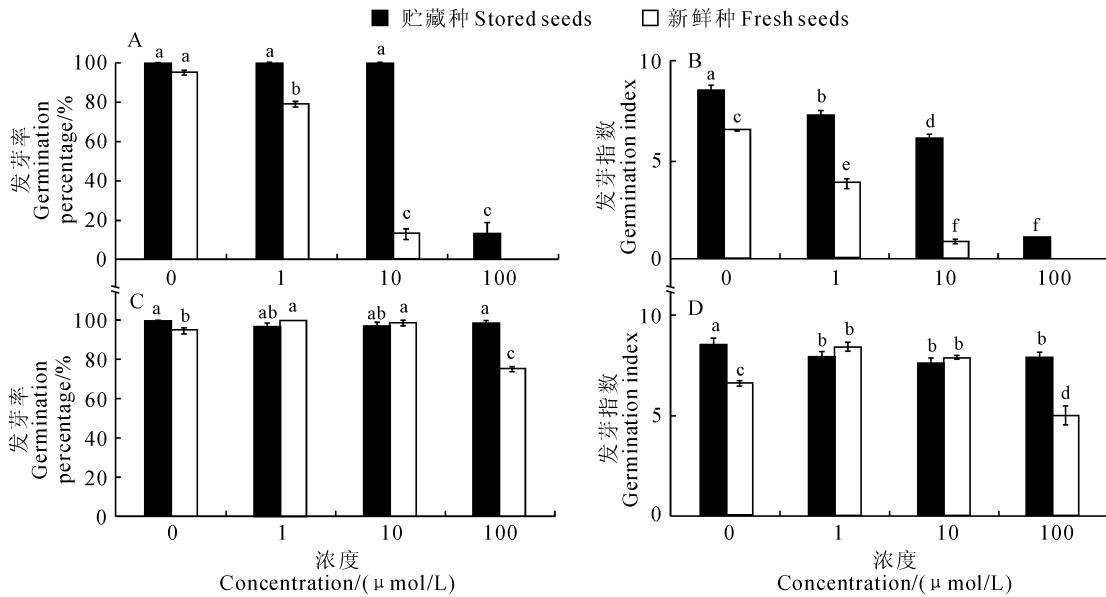


图 4 10 ℃条件下不同浓度脱落酸(A、B)和多效唑(C、D)对窄叶野豌豆新鲜种和贮藏种发芽率和发芽指数的影响

Fig. 4 Effect of abscisic acid (A, B) and paclobutrazol (C, D) on *V. angustifolia* seed germination percentage and index incubated at 10 °C after scarification

芽率和发芽指数。相比贮藏种,新鲜种的发芽率与发芽指数对ABA的抑制作用更为敏感,如1、10 $\mu\text{mol/L}$ ABA处理时,贮藏种发芽率分别为100%、100%,而新鲜种为79%、13%(图4)。除100 $\mu\text{mol/L}$ 多效唑(PA)处理显著降低新鲜种发芽率外,其它浓度PA处理对窄叶野豌豆种子发芽率无显著影响。多效唑处理显著影响两种批种子的发芽指数,随PA浓度的增加,贮藏种发芽指数显著下降,而新鲜种表现为先上升而后下降(图4)。

3 讨 论

3.1 种子的休眠类型

前人研究表明,物理休眠在豆科植物中普遍存在^[2,11-12]。与此一致,本研究也发现窄叶野豌豆新鲜种和贮藏种的吸胀率分别为75%和9%,切破种皮后吸胀率均达100%,说明两个种批窄叶野豌豆种子均存在物理休眠,且经室内贮藏后,未吸胀种子数显著增加,表明贮藏有利于种子物理休眠的形成。此外,新鲜种与贮藏种发芽对温度的响应存在较大差异,新鲜种仅在低温下发芽良好,高温显著抑制甚至完全阻碍种子发芽。与此相反,贮藏种能在较高温度范围内发芽,且最适发芽温度为20℃。这说明窄叶野豌豆新鲜种存在一定程度的生理休眠,其休眠特性主要表现为高温条件下发芽缓慢或发芽受抑制。Van Assche等^[13]的研究认为,豆科草本一年生植物种子,除具有物理休眠外,通常还具有一定程

度的生理休眠,即其种子在破除物理休眠后在一定温度条件下仍不发芽,特别是在高温条件下,其发芽速率与发芽率受到显著抑制,表现出该种特征的休眠形式又叫复合休眠。基于此,可以认为新收获窄叶野豌豆种子具有物理与生理休眠相结合的复合休眠,而在经1年贮藏后,其生理休眠解除,物理休眠程度增加,即贮藏种仅具物理休眠。本研究与李铁华^[14]的研究相符,其结果表明,钟萼木种子种胚已经形成但其中含有的抑制物质可以引起种子休眠,但其不是引发休眠的主要原因,种子内缺乏萌发促进物质和酶活性低是引发钟萼木种子休眠的关键。王晓娟^[15]在对沙葱胚胎学和种子休眠机理的研究中表明,种子离体胚在MS培养基上培养发芽率达85%,种皮中含有的抑制物质才是引发其种子休眠的主要原因。

3.2 物理休眠机制及其破除

物理休眠的主要原因是由于种皮或果皮不透水所引起,因而通过各种物理或化学的方法增加种皮透性是破除种子物理休眠的有效途径。已有大量研究表明利用划破种皮、强酸或强碱浸泡种子、砂纸打磨或热水浸泡等方法都能有效地破除物理休眠^[16-19]。

本研究表明,切破种皮可以使贮藏1年的窄叶野豌豆种子完全解除物理休眠,获得最大的发芽率。但这一方法相对耗时耗力,在生产中推广使用具有一定的局限性。浓硫酸常用于破除种子的物理休眠,如陈晓丽等^[20]研究苦豆子种子发现,浓硫酸处

理可以打破种子休眠,促进种子发芽。本研究发现浓硫酸处理种子 5~20 min,其休眠率逐渐降低,发芽率和发芽速率显著增加;当处理时间为 25~30 min 时,随之而来的是发芽率开始降低,死种子数增多,这可能是由于浓硫酸破坏了种子结构,降低了种子活力甚至导致死亡。高温广泛应用于豆科植物种子的硬实破除,但其休眠破除效果则因种、种群等存在较大变异。如胡小文等^[2]发现 80 ℃热水处理可有效破除豇豆(*Vigna unguiculata*)、苦豆子(*Sophora alopecuroides*)种子的休眠,这可能与高温软化种皮,去掉种皮表层的蜡质和油脂,进而提高透性有关^[21]。但龙启炎等^[22]的研究发现,热水处理对解除种子休眠无显著效果。与此一致,本研究也发现热水处理对窄叶野豌豆种子休眠的解除没有作用,这可能与植物所处生境及其自身特性有关。

3.3 生理休眠机制及其破除

3.3.1 种子发芽对温度与水分的响应 如上所述,生理休眠是由于种胚的生长势不够,引致种子在吸胀过程中不能突破种皮等外部结构的束缚而不能发芽的一种现象。前人研究表明^[4],种子在生理休眠解除后,其通常能在相对较低的水势条件下发芽。与此一致,本研究发现,相比贮藏种,在水分胁迫条件下,新鲜种的发芽受到更为强烈的抑制,如-0.6 MPa 水势条件下,在 15 ℃、20 ℃时,贮藏种发芽率分别为 88%、84%,而新鲜种的发芽率分别为 13%、0。这表明新鲜种子的发芽对水分具有更高的要求,即种子在传播后只有在水分充足的条件下才能发芽,而在水分受到限制的时候,其发芽必然受到抑制^[23]。考虑到窄叶野豌豆种子主要的具体生境与传播时间,种子在亚高山地区的传播时间一般为 8 月底到 9 月初,而此时又正是该地区水分相对亏缺的季节,因而,新鲜种生理休眠的一个重要功能可能是避免种子在传播后发芽,从而避免出苗后在冬季遭遇严酷环境,造成种子库的无谓损耗。此外,温度与水势对种子发芽的影响表现出显著的互作效应,即随着温度的升高,水势对种子发芽的抑制作用更为强烈,这在新鲜种中表现尤为明显,如在 10 ℃下,

当水势为-1.0 MPa 时,种子不发芽;而在 25 ℃时,水势为-0.4 MPa 时,即完全抑制种子的发芽。这表明种子在亚适宜条件下,其发芽受到更为强烈的抑制作用,这一特性将有利于避免种子在不适条件下发芽。打破生理休眠有多种方法,加入外源激素、变温、贮藏、层积等^[16]可破除种子生理休眠、促进种子发芽。与此一致,本研究也发现,经过 1 年贮藏后,窄叶野豌豆种子生理休眠完全消失。此外,植物生长调节剂如赤霉素、氟啶酮也可显著提高新鲜种的发芽率与发芽速率(发芽指数)。

3.3.2 植物生长调节剂与生理休眠 对于生理休眠,很多研究表明植物生长调节剂等可增长种胚的生长力,从而破除种子的生理休眠^[14,24]。脱落酸(ABA)和赤霉素(GA₃)在调控种子发芽和休眠具有重要作用^[25]。本研究发现,高浓度的外源 ABA 降低了新鲜种和贮藏种窄叶野豌豆种子的发芽率和发芽速率(发芽指数),而脱落酸的合成抑制剂 FL 的加入能够消除新鲜种和贮藏种之间的发芽差异,这就表明 ABA 的合成在保持种子休眠上起到了关键作用。此外,本研究还发现新鲜种较贮藏种对外源 ABA 更加敏感,贮存后能够减少胚初期对 ABA 的敏感性,从而释放生理休眠。这与 Bolingue 等^[26]研究蒺藜苜蓿(*Medicago truncatula*)种子所得出的结论相似。赤霉素(GA₃)能够增加新鲜种的发芽速率(发芽指数)和最终发芽率,说明赤霉素可增强窄叶野豌豆胚的生长能力,对其休眠解除有一定调控作用。但利用外源 PA 抑制赤霉素的生物合成,对贮藏种的发芽无明显影响,且对新鲜种也只有轻微的抑制作用,这表明赤霉素可能不是新鲜种生理休眠的主要限制因素。

综上所述,新收获的窄叶野豌豆种子具有复合休眠,经室内贮藏一年后生理休眠解除,而硬实率显著增加。窄叶野豌豆种子生理休眠的存在使得其发芽对水分的要求升高,发芽温度范围变窄,因而限制了其在传播后的迅速发芽,有利于其种质资源的贮藏。脱落酸是引致种子生理休眠的主要因素。

参考文献:

- [1] BASKIN J M, BASKIN C C. A classification system for seed dormancy[J]. *Seed Science Research*, 2004, 14(1): 1—16.
- [2] HU X W(胡小文), WU Y P(武艳培), WANG Y R(王彦荣), et al. Primary study of release method for legume seed dormancy[J]. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.* (西北植物学报), 2009, 29(3): 568—573(in Chinese).
- [3] HU X W, WU Y P, WANG Y R. Different requirements for physical dormancy release in two populations of *Sophora alopecuroides* rela-

- tion to burial depth[J]. *Ecological Research*, 2009, **24**(5): 1 051—1 056.
- [4] HU X W, LI T SH, WANG Y R, et al. Seed dormancy in four Tibetan Plateau *Vicia* species and characterization of physiological changes in response of seeds to environmental factors[J]. *Seed Science Research*, 2013, **23**: 133—140.
- [5] KIGEL J. Seed development and germination[M]. New York: Marcel Dekker, 1995: 645—699.
- [6] NORMAN H C, COCKS P S, SMITH F P, et al. Reproductive strategies in mediterranean annual clovers: germination and hardseededness [J]. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1998, **49**(6): 973—982.
- [7] 聂斌. 歪头菜种子硬实的形成、自然释放及其人工破除[D]. 兰州: 兰州大学, 2011.
- [8] International Seed Testing Association. International rules for seed testing: rules 1999; adopted at the Twenty-fifth International Seed Testing Congress, South Africa 1998, to become effective in 1 July 1999[C]. International Seed Testing Association, 1999.
- [9] MICHEL B E, KAUFMANN M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000[J]. *Plant Physiology*, 1973, **51**(5): 914—916.
- [10] HU X W, HUANG X H, WANG Y R. Hormonal and temperature regulation of seed dormancy and germination in *Leymus chinensis*[J]. *Plant Growth Regulation*, 2012, **67**(2): 199—207.
- [11] XU Y F(许岳飞), BI Y F(毕玉芬), LUO F CH(罗富成), et al. Study on the methods of hard seed treatment of *Leucaena leucocephala* [J]. *Pratacultural Science*(草业科学), 2006, **23**(8): 58—62(in Chinese).
- [12] FENG Y Q(冯毓琴), CAO ZH ZH(曹致中). Research on seed dormant of *Medicago lupulina*[J]. *Pratacultural Science*(草业科学), 2003, **20**(1): 20—22(in Chinese).
- [13] VAN ASSCHE J A, VANDELOOK F E A. Combinational dormancy in winter annual Fabaceae[J]. *Seed Science Research*, 2010, **20**(4): 237—242.
- [14] LI T H(李铁华), ZHOU Y X(周佑勋). A preliminary study of physiological dormancy character of *Bretschneidera sinensis* Hemsl seeds [J]. *Journal of Central South Forestry University*(中南林学院学报), 1997, **17**(2): 41—44(in Chinese).
- [15] 王娟娟. 沙葱胚胎学及种子休眠机理的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
- [16] BASKIN C C, BASKIN J M. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination[M]. Academic Press, 1998.
- [17] ZHAO X(赵昕), LI Y L(李玉霖). Some methods for breaking dormancy of *Zoysia japonica* seeds[J]. *Seed*(种子), 2002, (1): 22—24 (in Chinese).
- [18] HE ZH(何志), TANG Y D(唐宇丹), SHI L(石雷), et al. Seed dormancy characteristics of *Kolkwitzia amabilis* Graebn[J]. *Acta Horticulturae Sinica*(园艺学报), 2008, **35**(10): 1 505—1 510(in Chinese).
- [19] ZHAO X SH(赵小社), BI Y F(毕玉芬), XU Y F(许岳飞), et al. Effect of different treatments on seed germination rate of three legume shrubs[J]. *Grassland and Turf*(草原与草坪), 2006, (2): 37—40(in Chinese).
- [20] CHEN X L(陈晓丽), GUO Y H(郭玉海), CUI X SH(崔旭盛), et al. Effect of sulphuric acid treatment on seed coat structure and germination rate of *Sophora alopecuroides*[J]. *Chinese Seeds Industry*(中国种业), 2011, 8: 43—45(in Chinese).
- [21] YANG Q H(杨期和), YIN X J(尹小娟), YE W H(叶万辉). Dormancy mechanism and breaking methods for hard seeds[J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2006, **23**(1): 108—118(in Chinese).
- [22] LONG Q Y(龙启炎), YE A H(叶安华), XU C R(徐翠荣), et al. Study on the way of breaking seed dormancy of water dropwort [*Oenanthe javanica* (BL.) DC][J]. *Seed*(种子), 2006, **25**(6): 34—37(in Chinese).
- [23] KIEGL, JAIME, GAD GALILI, et al. Seed development and germination(Vol. 41)[M]. CRC Press, 1995.
- [24] HE X Q(何学青), HU X W(胡小文), WANG Y R(王彦荣). Study on seed dormancy mechanism and breaking technique of *Leymus chinensis*[J]. *Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin.*(西北植物学报), 2010, **30**(1): 120—125(in Chinese).
- [25] FINCH-SAVAGE W E, LEUBNER-METZGER G. Seed dormancy and the control of germination[J]. *The New Phytologist*, 2006, **171**(3): 501—523.
- [26] BOLINGUE W, LY VU, LEPRINCE O, et al. Characterization of dormancy behaviour in seeds of the model legume *Medicago truncatula* [J]. *Seed Science Research*, 2010, **20**(2): 97—107.