

莎草科 4 种植物种子休眠与萌发特性的研究

周芝琴, 李廷山, 胡小文*

(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:以嵩草、黑穗苔草、蘆草和苔草 4 种莎草科植物种子为材料, 研究了硫酸、植物生长调节剂及低温层积处理对其休眠与萌发特性的影响, 以揭示其休眠机制及其破除方法, 为指导生产提供理论依据。结果表明: (1) 4 种参试植物种子均存在不同程度的生理休眠, 其中嵩草为浅度生理休眠, 黑穗苔草为中度生理休眠, 蘆草和苔草为深度生理休眠。 (2) 浓硫酸浸种可显著提高嵩草、黑穗苔草种子的萌发, 随浸种时间增加, 种子萌发率先增加后降低, 最大值分别达 86%、77%, 但浓硫酸处理对蘆草和苔草的种子萌发无显著促进作用。 (3) 赤霉素(GA_3)、氟啶酮(FL, 脱落酸抑制剂)和 KNO_3 单独处理可显著提高嵩草种子萌发, 但对其他 3 种植物种子无显著作用; 而硫酸处理后再用赤霉素或氟啶酮处理, 则显著促进黑穗苔草种子的萌发率。 (4) 低温层积对种子萌发的影响因种与层积时间而异, 层积 2 个月可显著提高嵩草种子萌发, 层积 4 个月可显著提高嵩草和蘆草种子萌发; 层积 6 个月可显著提高嵩草、黑穗苔草、蘆草和苔草 4 种植物种子萌发, 其最终萌发率分别为 90%、73%、17%、7%。

关键词:莎草科; 种子萌发; 休眠; 硫酸; 低温层积; 植物生长调节剂

中图分类号: Q945.34

文献标志码: A

Seed Dormancy and Germination Characteristics of Four Cyperaceae Species

ZHOU Zhiqin, LI Tingshan, HU Xiaowen*

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

Abstract: In present study, effects of H_2SO_4 , plant growth regulators and cold stratification treatment on seed germination of *Kobresia myosuroides*, *Carex atrata*, *Scirpus triqueter* and *Carex duriuscula* were investigated. The results showed: (1) Seeds of four Cyperaceae species exhibited physiological dormancy with different type, e. g. *K. myosuroides* exhibited non-deep physiological dormancy, *C. atrata* exhibited intermediate physiological dormancy, *S. triqueter* and *C. duriuscula* exhibited deep physiological dormancy. (2) Sulfuric acid soaking significantly improved seed germination of *K. myosuroides* and *C. atrata*, and with the soaking time increasing, seed germination firstly increased and then decreased, and the maximum germination rate were 86% and 77% respectively. However, for *S. triqueter* and *C. duriuscula*, H_2SO_4 soaking have no effect on seed germination. (3) Exogenous gibberellin (GA_3), fluridone (FL) and potassium nitrate (KNO_3) significantly improved seed germination of *K. myosuroides*, but showed no effect on the other three species. However, GA_3 , FL can significantly increase germination of *C. atrata* seed after H_2SO_4 scarification. (4) Effects of cold stratification on seed germination varied with stratification time and species. E. g. seed germination of *K. myosuroides* was significantly improved through 2 months' stratification, but improvement of *S. triqueter* seed germination need 4 months' stratification; more than 6 months' stratifica-

收稿日期: 2013-05-18; 修改稿收到日期: 2013-07-04

基金项目: 甘肃省科技重大专项计划(1203FKDA035)资助; 中央高校科研基本业务费(lzujbky-2012-183)

作者简介: 周芝琴(1987—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事种子生物学方面的研究。E-mail: zhouszq11@lzu.edu.cn

* 通信作者: 胡小文, 博士, 副教授, 主要从事种子学方面的研究。E-mail: huxw@lzu.edu.cn

tion can significantly improve seed germination of all tested species, and the final germination rates of *K. myosuroides*, *C. atrata*, *S. triqueter* and *C. duriuscula* after 6 months' cold stratification were 90%, 73%, 17% and 7%, respectively.

Key words: Cyperaceae; seed germination; dormancy; sulfuric acid; cold stratification; plant growth regulator

莎草科是青藏高原地区的优势科,其分布广,数量多,部分植物种是高寒草甸的建群种,也是天然草地资源中饲用价值较高、家畜喜食、耐牧性极强的一类优良牧草,其良好生长对维持青藏高原的生态平衡具有重要作用^[1]。莎草科多数植物具有适应性强、返青早、生长期长、根茎发达、耐践踏的优良特性,对于开发理想的草坪草种具有重要的潜在价值^[2-3]。然而,已有研究表明,莎草科虽然具有重要的利用前景^[4],但由于其种子普遍具有休眠、萌发困难,严重制约了这一重要资源的开发利用^[5]。

种子休眠是指具有生活力的种子适宜条件下一定时长内不能萌发的现象^[6],是植物适应逆境和保护物种延续的一种策略^[7]。休眠在莎草科植物种子中广泛存在,其种子休眠类型、休眠机制及其休眠破除方法存在较大程度的变异。如邓自发等^[8]研究发现矮嵩草(*Kobresia humilis*)、高山嵩草(*K. pygmaea*)和西藏嵩草(*K. tibetica*)的种子具有深度休眠,能萌发为实生苗的种子比例较小。张瑞菊^[9]认为果囊是引致浆果苔草(*Carex baccans* Nees)种子休眠的主要原因,赤霉素与生长素处理对种子休眠的解除无显著作用。而房丽宁等^[10]在砾苔草(*Carex xenophylloides*)和异穗苔草(*C. heterostachya*)上的研究认为种子内部脱落酸含量高是引起种子休眠的原因,强酸强碱处理显著提高种子萌发,但赤霉素处理无显著作用。杨学军等^[11]也发现短时间硫酸处理青绿苔草(*C. leucochlora*)种子能软化种壳,增加其透性,提高萌发率。罗弦等^[12]研究发现利用外源赤霉素与低温层积处理不同时间可解除 4 种苔草属植物种子的生理休眠、促进萌发。Schütz^[13]对苔草属 32 个物种的研究表明:低温层积处理后的种子萌发率普遍高于未经低温处理的;光暗交替、变温和冷湿层积等因素有利于苔草种子萌发。综上所述,尽管有关莎

草科植物种子休眠与萌发的研究已有较多报道,但不同物种之间其休眠机制及其相应的休眠破除方法存在种间多样性。因而,针对莎草科不同物种甚至不同种群开展其休眠机制与萌发特性的研究,对于目标物种的栽培利用及其保护具有现实意义。嵩草(*Kobresia myosuroides*)、黑穗苔草(*Carex atrata*)、蔗草(*Scirpus triqueter*)和苔草(*Carex duriuscula*)为中国青藏高原东部广泛分布的重要莎草科植物,有关其生境^[14]、生态适应性^[15-17],品质分析^[18]等方面已有一些研究,但对于其种子休眠与萌发特性的研究尚未见报道。基于此,本研究以 4 种植物种子为材料,探讨层积、硫酸、植物生长调节剂处理对种子休眠及萌发的影响,深入了解其休眠机制及其破除方法,从而为指导生产实践提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试种子由农业部牧草与草坪草种子质量监督检验测试中心(兰州)提供,试验前各样品贮藏于 5℃种质资源库。种子均采集于甘肃甘南藏族自治州,为确保种子的代表性,每种至少采集上百株植物。种子样品其他信息详见表 1。

1.2 方法

1.2.1 种子千粒重的测定 将 4 个种的种子分别随机数取 1 000 粒。重复 8 次,万分之一天平称重,求取平均值。

1.2.2 种子生活力的测定 参考赵秀华等^[19]关于苔草种子生活力的测定方法,取 4 种植物净种子,磨擦除去坚果的外壳,将种子预湿后纵切胚和 3/4 胚乳,在 35℃下用 0.1%的四唑染色 24 h,冲掉溶液保持种子湿润,观察种子切面,确定种子有无生活力。重复 3 次,计算平均值。

表 1 供试种基本信息

Table 1 The basic information of testing seed

种名 Species	采收时间 Harvest time	产地 Collection site	生活型 Life form	生活力 Viability/%	千粒重 1 000-grain weight/g
嵩草 <i>Kobresia myosuroides</i>	2006	甘肃合作 Hezuo, Gansu	多年生 Perennial	89	1.489
黑穗苔草 <i>Carex atrata</i>	2006	甘肃碌曲 Luqu, Gansu	多年生 Perennial	84	1.027
蔗草 <i>Scirpus triqueter</i>	2006	甘肃卓尼 Zhouni, Gansu	多年生 Perennial	77	0.720
苔草 <i>Carex duriuscula</i>	2006	甘肃合作 Hezuo, Gansu	多年生 Perennial	75	1.020

1.2.3 种子吸水率 分别取4种种子各500粒称重,而后置于三角瓶中,加蒸馏水100 mL,置于20℃恒温箱中,第2、4、6、8、24、36、48 h分别取出种子,用滤纸吸干种子表面水分称重,记录各次称量数据,最后计算种子吸水率。重复3次,计算平均值。

1.2.4 硫酸处理 随机取4个种子的种子,分别置于盛有30 mL 98% H_2SO_4 的小烧杯中搅拌,处理0(对照)10、20、30、40、60 min,处理完后用清水多次冲洗,置于滤纸上晾干备用。待种子晾干后做萌发实验,每个处理4个重复,每个重复50粒种子,置于25℃黑暗条件下培养,每天统计萌发个数,持续28 d。

1.2.5 硫酸处理后加不同化学试剂 按照1.2.4方法分别处理4种植物种子30 min,晾干。将赤霉素(GA_3)、氟啶酮(FL)用少量的丙酮溶解,分别用蒸馏水配成0(对照),100 $\mu\text{mol/L}$ GA_3 、50 $\mu\text{mol/L}$ FL的溶液,将硝酸钾(KNO_3)配成0.1%浓度的溶液。而后分别将经硫酸处理以及未处理种子置于加有10 mL 赤霉素(GA_3)、氟啶酮(FL)或 KNO_3 溶液的培养皿中,25℃黑暗条件下培养,每天统计萌发个数,持续28 d。

1.2.6 低温层积处理 随机取足够量的4种种子,分别置于培养皿中,加入适量的水,用封口膜密封,于4℃冰箱分别层积2、4、6个月。每隔5 d翻动检查1次,保持种子湿润。室温下干燥贮藏未经层积处理的种子为对照,置于25℃黑暗条件下进行萌发实验,以上处理均设置4个重复,每个重复50粒种子,每天统计萌发个数,持续28 d。

1.2.7 测定指标与数据处理

吸水率=(吸水后种子重-吸水前种子重)/吸水前种子重 $\times 100\%$

生活力=胚全部染色的种子数/参试种子总数 $\times 100\%$

萌发率(GR)=萌发种子数/供试种子数 $\times 100\%$

所有数据的统计分析均采用SPSS 17.0进行,多重比较采用Duncan法,Excel 2010作图。

2 结果与分析

2.1 种子吸水率

4种种子吸水率随吸水时间的延长,呈现先增加后稳定的趋势(图1)。嵩草、黑穗苔草、藨草和苔草浸种2 h后吸水率直线上升,分别达到8.7%、9%、21.9%和14.9%,处理时间从2 h增加到24 h,嵩草、黑穗苔草的吸水率增加到22%和22.1%,分

别增加了13.3%和13.1%,苔草、藨草2 h后吸水率增加不明显。

2.2 硫酸处理对种子萌发率的影响

硫酸处理显著影响嵩草与黑穗苔草种子的萌发,但对藨草与苔草种子无显著作用(图2)。随处理时间的延长,嵩草种子的萌发率呈现先增加后降低的趋势,当处理时间为30 min时,种子萌发率达最大,为86%。黑穗苔草在处理20 min时种子开始萌发,但萌发率仅为6%;随处理时间增加,萌发率也呈现先增加后降低的趋势,40 min达最大,为80%;处理60 min时,种子萌发率降低至20%。而对于苔草与

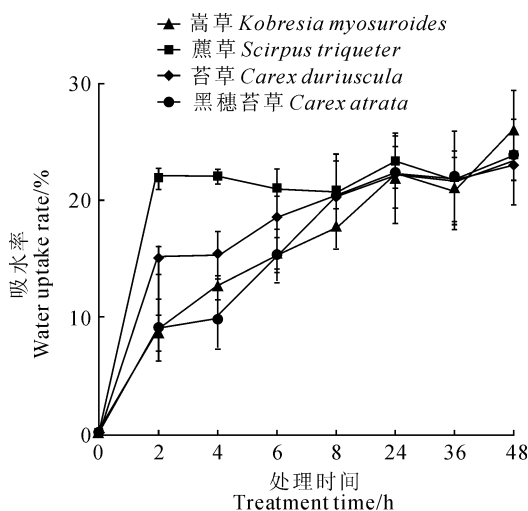


图1 种子吸水率的变化

Fig. 1 Dynamics of seed water uptake rate

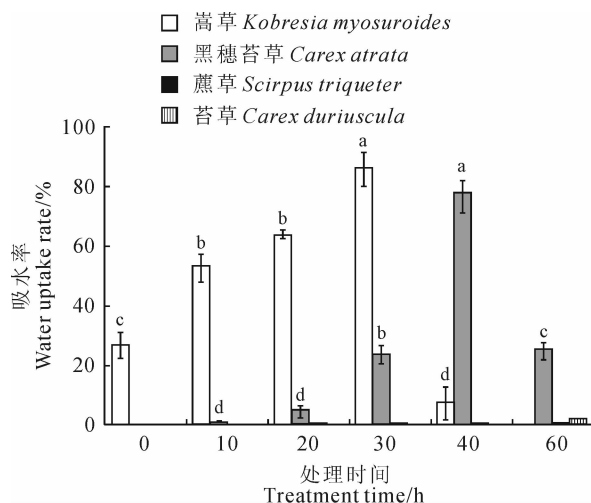


图2 硫酸处理后4种莎草科植物种子的发芽率
图中同一物种标不同字母者表示差异显著($P < 0.05$);下同

Fig. 2 Seed germination of four Cyperaceae species after H_2SO_4 scarification

Different normal letters in the legends for the same species indicate significant difference at 0.05 level. The same as below

蘆草,无论处理多长时间,种子萌发率均极低或不萌发,且蘆草在处理 30 min 时种子已有损伤。

2.3 硫酸与植物生长调节剂处理对种子萌发率的影响

植物生长调节剂对种子萌发的影响因物种、试剂种类以及前处理的不同而异(图 3)。植物生长调节剂可显著提高嵩草种子的萌发率,如赤霉素可使嵩草种子萌发率从 47% 提高到 85%,但对硫酸处理后的种子无显著作用。植物生长调节剂对未经处理

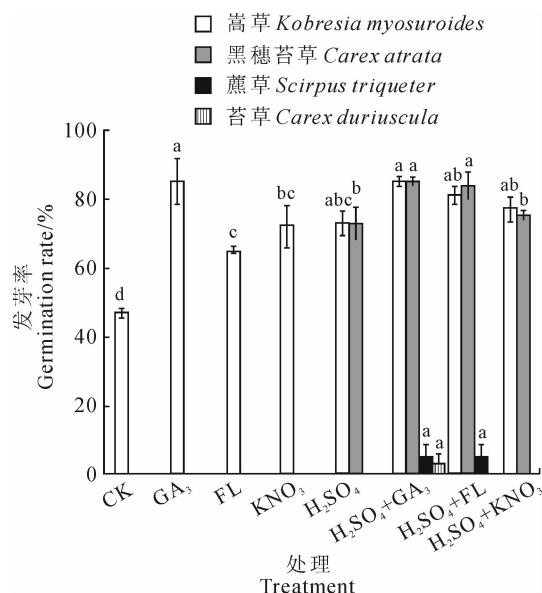


图 3 植物生长调节剂对 4 种莎草科植物种子发芽率的影响

Fig. 3 Seed germination of four Cyperaceae species treated with plant growth regulators

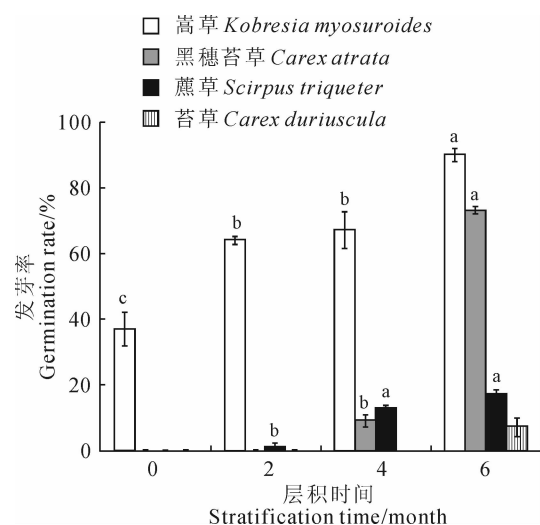


图 4 层积 2、4、6 个月后莎草科 4 种植物种子的萌发

Fig. 4 Seed germination of four Cyperaceae species after cold stratification for 2, 4 and 6 months

的黑穗苔草无显著作用,但经过硫酸处理后加入赤霉素和氟啶酮能显著提高萌发率,分别提高 12% 和 11%,各种处理对苔草和蘆草种子萌发均无显著作用($P < 0.05$)。

2.4 低温层积对种子萌发率的影响

随层积时间的延长,4 种植物种子的萌发率均呈现增加的趋势,嵩草未层积之前萌发率为 37%,层积 2、4、6 月后的萌发率分别增加到 64%、67%、90%(图 4);黑穗苔草初始萌发率为 0,层积 2、4、6 月后的萌发率分别为 0、9%、73%;苔草层积 2、4 月时萌发率为 0,层积 6 月时种子开始萌发,萌发率为 9%;蘆草层积 2 月后种子开始萌发,但萌发率很低,仅为 1%,当层积 4 个月后萌发率达到 13%,层积 6 个月后萌发率达 17%,与层积 4 月没有明显差异。

3 讨论

3.1 种子的休眠类型

根据 Baskin 和 Baskin^[6]的研究,种子休眠可划分为生理休眠(PD)、形态休眠(MD)、形态生理休眠(MPD)、物理休眠(PY)和复合休眠(PY+PD)5 种类型。本研究表明,4 种莎草科植物种子均能不同程度地吸收一定水分,表明水分不是限制种子萌发的主要因素,即 4 种植物种子均不存在物理休眠。此外,生活力测定结果表明 4 种莎草科植物种子具有发育完全的胚,且在种子萌发的过程中,我们注意到种胚在种子内部并没有显著增长,表明胚未在培养期间进一步分化或发育,即种子不具有形态休眠。基于此,可以认为 4 种莎草科植物种子均具有由于胚生长势不够而引致的生理休眠。就嵩草而言,单独使用 H₂SO₄、GA₃、FL、KNO₃ 能显著提高萌发率至其潜在萌发率,可认为其具有浅度生理休眠^[6]。对于黑穗苔草,硫酸处理可使其萌发率提高至 73%,表明其离体胚能进一步长成正常苗,且层积 6 月处理基本上解除种子休眠,因而可认为黑穗苔草为中度生理休眠。对于苔草与蘆草,除层积 6 月可轻微促进种子萌发外,其他处理均不能有效破除其种子休眠,说明苔草和蘆草属于深度生理休眠。

3.2 休眠的破除

浓硫酸处理能使种子提前萌发,可能是由于种皮物理或化学特性引起的,浓硫酸处理后种壳变软,导致种子对水、光、空气和溶质透性的改变,从而使种子内部的萌发抑制物质外漏,使胚根和胚芽的张力足以突破种壳,完成萌发。杨学军等^[11]研究发现,浓硫酸处理起到减轻种壳阻力、增加透性的作

用,使苔草种子萌发时间提前。房丽宁等^[2]研究也发现,使用硫酸浸种能有效的破除异穗苔草和砾苔草休眠。本研究表明浓硫酸对嵩草、黑穗苔草有较大作用,随着处理时间的增加,萌发率先增加后降低。黑穗苔草经硫酸处理后加入 GA_3 ,可显著提高萌发率,可能由于硫酸破坏了坚硬的种皮,使 GA_3 渗入种子内部,从而促进了种子萌发。但对蘆草和苔草而言在处理时间范围内无明显作用,可能由于苔草和蘆草属于深度生理休眠,其休眠解除通常需要一定时长的层积处理。

赤霉素(GA)能取代一些种子对低温后熟、光暗和干藏后熟条件^[20]的需求,通常可解除种子的浅度生理休眠;氟啶酮(FL ,脱落酸抑制剂)可解除因脱落酸(ABA)抑制造成的种子休眠。黄锦华等^[21]研究 3 种藏嵩草种子休眠表明,种皮的限制被解除后,降低种子内部较高的内源 ABA 含量是提高种子萌发率的关键。与此一致,本研究表明氟啶酮可显著提高嵩草种子的萌发,这可能是由于氟啶酮阻碍了种子吸胀过程中脱落酸的合成,有助于降低种子内部的脱落酸含量;另一方面,脱落酸合成途径受到阻碍,间接促进了种子内部赤霉素的合成,从而增强胚的生长能力^[22]。此外,相比氟啶酮,赤霉素对嵩草种子的萌发具有更为强烈的促进作用,说明赤霉素在增强胚的生长能力,解除种子休眠方面起着关键的调控作用。有趣的是,对于黑穗苔草,赤霉素

仅能解除硫酸处理后种子的休眠,对于未处理种子的休眠无显著作用。这可能是由于黑穗苔草种子种皮坚硬,限制了赤霉素的渗入,从而阻碍了其作用的发挥^[23]。

低温层积处理一方面能通过湿润状态逐渐软化种壳,另一方面层积过程中种子生理指标发生变化,使生理不成熟的一部分种子逐渐变为生理成熟状态,使得种子进入预备萌发状态,遇到适宜的环境条件就能萌发。湿冷层积处理能打破莎草科许多植物的生理性休眠,已在诸如异穗苔草、嵩草、荸荠(*Eleocharis dulcis*)等植物种子上取得较好效果^[24-26]。本研究表明层积处理不同时间对 4 种植物的休眠解除具有较好效果,但休眠解除效果因物种与层积时间不同而表现出较大差异。对于嵩草种子,2 个月的短期层积已足以解除休眠,而对于苔草与蘆草等休眠程度较深的物种,则需要 6 个月甚至更长的时间才能有效解除休眠。

综上所述,4 种莎草科植物种子均具有生理休眠,根据其休眠程度可分为浅度、中度与深度生理休眠 3 种形式。对于具浅度生理休眠的嵩草,硫酸、赤霉素或层积 2 个月处理均可有效破除其休眠;对于具中度生理休眠的黑穗苔草,硫酸或层积 6 个月处理可有效破除其休眠;而对于具有深度休眠的苔草与蘆草,层积 6 个月以上方可破除其种子休眠。

参考文献:

- [1] 刘 伟. 青藏高原东部高寒草甸莎草科、十字花科和石竹科植物种子休眠特性研究[D]. 兰州:兰州大学,2009.
- [2] FANG L N(房丽宁), LI Q F(李青丰), LI SH J(李淑君), *et al.* Some methods for stimulating germination of *Carex* seeds[J]. *Pratacutural Science* (草业科学), 1998, **15**(5): 39—43(in Chinese).
- [3] MA W L(马万里), HAN L B(韩烈保), LUO J CH(罗菊春). A new lawn plant resources: genus *Carex* L. [J]. *Pratacutural Science* (草业科学), 2001, **18**(2): 43—45(in Chinese).
- [4] REZNICEK A A. Evolution in sedges *Carex*, Cyperaceae[J]. *Canadian Journal of Botany*, 1990, **68**: 1 409—1 432.
- [5] LI J SH(李积胜), CHEN G SH(陈桂深), ZHOU G Y(周国英), *et al.* Tissue culture and rapid propagation of *Carex moorcroftii* Falc ex Boott[J]. *Plant Physiology Communications* (植物生理学通讯), 2008, **44**(3): 516(in Chinese).
- [6] BASKIN J M, BASKIN C C. A classification system for seed dormancy[J]. *Seed Science Research*, 2004, **14**: 1—16.
- [7] HU X W(胡小文), WU Y P(武艳培), WANG Y R(王彦荣). *Sophora alopecuroides* seed dormancy formation and the change of seed anatomical structure[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* (西北植物学报), 2009, **29**(1): 16—21(in Chinese).
- [8] DENG Z F(邓自发), XIE X L(谢晓琳), WANG Q J(王启基). Study on reproduction strategies of *Kobresia tibetica* population on alpine meadow[J]. *Chinese Journal of Applied & Environmental Biology* (应用与环境生物学报), 2001, **7**(4): 332—334(in Chinese).
- [9] ZHANG R J(张瑞菊). Effect of GA_3 , IAA and pistillate glume on germination characteristics of *Carex baccans* Nees seed[J]. *Journal of*

- Shangqiu Vocational and Technical College*(商丘职业技术学院学报),2010,**9**(5):85—87(in Chinese).
- [10] FANG L N(房丽宁),LI Q F(李青丰),ZHAO X H(赵秀华). Dormancy and germination characteristics of *Carex* seed[J]. *Acta Agrestia Sinica*(草地学报),1997,**5**(4):251—261(in Chinese).
- [11] YANG X J(杨学军),WEN H F(温海峰),LUO X(罗 弦),*et al.* Study on germination characteristics of *Carex leucochlora* seeds[J]. *Hubei Agriculture Science*(湖北农业科学),2010,**49**(1):115—117(in Chinese).
- [12] LUO X(罗 弦),PAN Y ZH(潘远智),YANG X J(杨学军),*et al.* Effect of cold stratification on dormancy and germination of four *Carex* species seeds[J]. *Acta Prataculturae Sinica*(草业学报),2010,**19**(3):117—123(in Chinese).
- [13] SCHÜTZ W. Dormancy characteristics and germination timing in two alpine *Carex* species[J]. *Basic and Applied Ecology*,2001,**3**:125—134.
- [14] ZHANG SH Y(张生楹),CHEN G(陈 谷),CHEN J G(陈建纲),*et al.* Characteristics of soil available nutrient of alpine meadow in the northern Tibet Plateau[J]. *Grassland and Turf*(草原与草坪),2012,**32**(3):6—10(in Chinese).
- [15] LI X L(李希来),LI F J(李发吉),HUANG B N(黄葆宁),*et al.* Seedling development and biomass accumulation of *Kobresia* on Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Prataculturae Sinica*(草业学报),1996,**5**(4):48—54(in Chinese).
- [16] XU SH X(徐世晓),ZHAO X Q(赵新全),SUN P(孙 平),*et al.* Study on simulated vitro digestibility of 2 species sedge family herbage grown at different altitudes in Tibetan Plateau[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(西北植物学报),2002,**22**(5):1 191—1 196(in Chinese).
- [17] SHI J CH(石进朝). Study on ecological adaptability of *Carex giraldiana* in Beijing area[J]. *Pratacultural Science*(草业科学),2007,**24**(4):98—102(in Chinese).
- [18] BAO D R(包得仁). Analysis on the quality of some kinds of grazing belong to Cyperaceae forage plant in Gansu[J]. *Journal of Forage & Feed*(牧草与饲料),2007,**1**(4):47—49(in Chinese).
- [19] ZHAO X H(赵秀华),LI Q F(李青丰). Study on the seed viability test for *Carex* species[J]. *Grassland of China*(中国草地),1997,**1**:29—31(in Chinese).
- [20] BEWLEY J D. Seed germination and dormancy[J]. *Plant Cell*,1997,**9**(7):1 055—1 066.
- [21] HUANG J H(黄锦华),HU T M(呼天明),ZHENG H M(郑红梅),*et al.* The break dormancy and quantity of abscisic acid in *Kobresia* willd[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica*(西北农业学报),2009,**18**(3):152—155(in Chinese).
- [22] 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.
- [23] 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).
- [24] CHENG G Y(程广有),TANG X J(唐晓杰),GAO H B(高红兵),*et al.* Dormancy mechanism and relieving techniques of seeds of *Taxus cuspidata* Sieb. et Zucc. [J]. *Journal of Beijing Forestry University*(北京林业大学学报),2004,**26**(1):5—10(in Chinese).
- [25] ZHANG G Y(张国云),LI Y F(李艳芳),HU T M(呼天明),*et al.* Effects of sodium hydroxide and cold stratifying treatments on germination of *Kobresia* seeds[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.*(西北植物学报),2010,**19**(12):104—108(in Chinese).
- [26] LI SH M(李双梅),KE W D(柯卫东),LI F(李 峰),*et al.* Effects of different treatments on seeds germination of waternut[J]. *China Vegetables*(中国蔬菜),2011,**8**:55—59(in Chinese).