

环境因素对伞形科两种植物种子萌发的影响

盛海燕, 葛 滢, 常 杰*, 李伟成

(浙江大学生命科学院, 杭州 310029)

摘要:种子萌发模式是植物生活史策略中的一个主要特征。研究了环境因素对伞形科濒危植物明党参(*Changium smyrnioides* Wolff)和非濒危植物峨参(*Anthriscus sylvestris* Hoffm.)种子萌发特性的影响。结果表明,温度是影响明党参和峨参这类冬性植物种子萌发的主要因素。两物种的种子萌发温度范围是 5~15℃,明党参种子的最适萌发温度是 10℃,峨参是 5℃,两物种在 15℃时萌发率均已受抑制,到 18℃时几乎不萌发。两种植物种子的萌发率与温度显著负相关。两种植物种子在光照和黑暗条件下萌发率差异很小,均是中性种子。明党参种子在干燥条件下比峨参种子更容易失去活力,其种子的适宜含水量(5.9%~6.4%)比峨参(<3.7%)高。种子质量好、萌发率高但种子产量低也是濒危植物种群更新的一个薄弱环节。

关键词:明党参;峨参;休眠;萌发;温度;光照;种子含水量

Influence of environmental factors on seed germination of two species in Umbellaceae

SHENG Hai-Yan, GE Ying, CHANG Jie*, LI Wei-Cheng (College of Life Science, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(2): 221~226.

Abstract: Mechanisms that regulate seed germination through environment factors are important aspects of a species' life history. The response of seed germination to environment was a main character for plant in its life history. *Changium smyrnioides* Wolff is an endangered species in Umbellaceae, and its seedlings are rare in natural habitat. *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm. is a non-endangered species belongs to the same family, its distribution area is wide and the seedlings are numerous in habitats. In this study we experimentally investigated how the environmental factors influence the seed germination of the two species. Seeds were collected from the natural habitat, South Peak (120°06'E, 30°13'N) near Hangzhou city. Seeds of both species matured in June, then were in dormancy during summer, autumn and winter, and began germination in early spring. Results showed that temperature was a main factor affecting the seed germination of the winter-growing species like *C. smyrnioides* and *A. sylvestris*. The germination temperature ranges of the both species were between 5℃ and 15℃. Germination of two species seeds were restrained at 15℃, and almost stopped at 18℃. The optimal temperature for seed germination of *C. smyrnioides* was 10℃, and the average germination was 79.9%; while the optimal temperature for *A. sylvestris* was 5℃, and the average germination was 85.2%. The seed germination was correlated negatively to temperature from 5℃ to 18℃. The change of daily temperature also affected seed germination, and the germination increased with daily variety of temperature. Light was not a significant factor for the germination, both of the two species seeds were not light sensitive, and there was little difference for germination in light and in dark: 75.5% and 71.5% for *C. smyrnioides* and 68.0% and 67.5% in light and in dark, respectively. *C. smyrnioides* seeds lost their availability more easily than *A. sylvestris* in natural habitat, the reason should be the moisture of the habitat: the optimal seed water content of *C. smyrnioides* (5.9%~6.4%) was higher than *A. sylvestris* (<3.7%). The seed mass of *C. smyrnioides* was bigger than *A. sylvestris*, but seed

基金项目:国家重点基础研究规划资助项目(G2000046805)

收稿日期:2003-06-10; **修订日期:**2003-10-14

作者简介:盛海燕(1978~),女,浙江临安人,硕士生。主要从事植物生理生态学研究。

* **通讯作者** Author for correspondence, E-mail: jchang@mail.hz.zj.cn

Foundation item: National State Basic Research Plan (No. G2000046805)

Received date: 2003-06-10; **Accepted date:** 2003-10-14

Biography: SHENG Hai-Yan, Master candidate, major field is the plant physiological ecology.

number per mother plant was less than *A. sylvestris*. From the results, it can be deduced that the difference of germination characters of the two species is not obvious, and the germination process of *C. smyrnioides* is not the reason for it's endangerment. Low seed production was a weakness for population generation of the endangered species.

Key words: *Changium smyrnioides*; *Anthriscus sylvestris*; germination; temperature; light; seed moisture content

文章编号:1000-0933(2004)02-0221-06 中图分类号:Q143,Q949.763.3,X173 文献标识码:A

明党参(*Changium smyrnioides* Wolff)是伞形科一种多年生的隐芽植物,是中国特有的单种属药用植物,由于近年来其贮藏根被大量采挖以及生境退化等原因,现已成为濒危物种^[1]。该种主要分布于长江流域的常绿-落叶阔叶混交林中的落叶树下。峨参(*Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm.)也属于伞形科,为延迟的2年生植物^[2],与明党参生活型相同。该植物是一个广布种,主要分布在中国长江流域和新疆、内蒙古一带,在欧洲和北美洲也有分布。峨参与明党参外形十分相似,生态习性也相近,分布区有重叠,并且同样作为药用植物受到大量采挖,但却没有表现出濒危趋势^[1]。Mierlo报道峨参在荷兰已经是一种危害性的杂草,引起草地多样性的下降和河堤的破坏^[3]。为什么如此相似的两种植物在种群大小上有如此巨大的差别?

在植物的生活周期中,种子对环境具有最大的忍耐力,而萌发幼苗的忍耐程度则最小^[4,5]。种子和幼苗期表现出来的特征尤其重要,因为早期的选择很强,可能会影响生活史后期的形态变化^[6]。种子萌发模式是植物生活史策略中的一个主要特征,因此植物具有特殊的萌发特性对于植物的生存具有重要的意义。对许多濒危植物的研究发现,种子质量差、萌发率低、被取食严重、萌发所需的条件与其生境不协调等是造成其濒危的重要原因^[7~9],那么种子质量差、萌发率低等因素是否也是造成明党参濒危的原因呢?比较研究相关物种的萌发要求可以解释萌发过程是怎样适应生境条件以及环境因子是怎样来调节种子萌发的^[10]。虽然有人已经比较研究了不同的储藏条件对明党参和峨参种子萌发的影响^[11],但是温度、光照及种子含水量等对种子萌发的影响至今没有进行报道。本文从生理生态学的角度探讨了环境因素对这两个物种种子萌发的影响,试图为植物濒危的机制及保护提供理论依据。

1 材料与方法

在杭州南高峰(东经120°06',北纬30°13')、翁家山等明党参和峨参均有分布的地区,选择长势良好的植株,于2002年6月采集成熟双悬果。种子采回后,用千分之一天平称量千粒重,然后在实验室内进行不同温度和湿度储藏(5℃干燥储藏和变湿处理;10℃干燥储藏和变湿处理;在通风良好的网室内进行自然温度干燥储藏和变湿处理)。

1.1 温度对种子萌发的影响

恒温条件萌发 将5、10℃和自然温度下干燥储藏和变湿储藏的种子置于5、10、15、18、25℃的恒温进行萌发试验。种子置于装有湿沙的黑色塑料小盒内(9×3×6 cm³),每个处理8个重复,每重复50粒种子。种子萌发以胚根露出种皮1 mm为标志。种子萌发速率以达到最大萌发率时间(*T*)的一半作为衡量标准^[3]。

日/夜变换温度条件萌发 5℃干燥储藏种子置于玻璃培养皿内(直径为9 cm,高1 cm),在日/夜5/15、5/10、10/18℃的变温条件下进行萌发实验(每处理8个重复,每重复50粒种子)。25℃不萌发的种子放入5℃培养箱内,继续观察其萌发情况。

1.2 光照对种子萌发的影响

5℃干燥储藏种子置于光照(1 200 lx)和黑暗条件下进行萌发实验。种子放在玻璃培养皿内的一层过滤纸上(8个重复,每重复50粒种子),用蒸馏水处理24 h后,在10℃下进行萌发。

1.3 种子含水量对萌发的影响

种子采回后,分别数400粒(8个重复,每重复50粒),称量种子重,然后放入烘箱内烘干(80℃,96 h),计算种子含水量。另数峨参种子1 200粒,明党参种子600粒(12个重复,峨参每重复100粒,明党参每重复50粒),放入装有干燥剂的干燥器内,经过不同时间后(7、14、21、60 d)取出,称量种子重,算出种子含水量后,在10℃下进行种子萌发试验。

1.4 种子质量对萌发的影响

在室温下自然风干15 d至稳定含水量(14.5%)后,用水选法将明党参种子分成上下两层。明党参种子上下层分别在10℃萌发,各8个重复,每重复50粒种子。峨参种子水选无上下层分别,故没有进行对比试验。

2 结果

2.1 温度对种子萌发的影响

2.1.1 不同储藏条件的种子在恒温条件下的萌发情况 除常温干储外,其他各种储藏条件(常温变湿储藏、10℃变湿储藏、10℃干燥储藏、5℃变湿储藏和5℃干燥储藏)的明党参、峨参种子都是在5℃和10℃下萌发较好,萌发率均在50%以上,25℃条件下所有储藏类型的种子均不萌发(表1)。不同萌发温度下变湿储藏的明党参和峨参种子萌发率均高于干储种子,常温干储完全不萌发。在这4个萌发温度中,明党参的适宜温度是10℃,各种储藏条件平均萌发率达79.9%,亚适宜温度是5℃,平均萌发

率为 70.6%;而峨参的最适温度是 5℃,平均萌发率达 85.2%,亚适宜温度是 10℃,平均萌发率达 70.0%。不同储藏条件的明党参和峨参种子在不同温度下萌发差异性显著(表 1)。明党参种子萌发率与萌发温度是非线性关系,而峨参种子萌发率与萌发温度是线性关系。

表 1 不同恒定温度下明党参(*C. smyrnioides*)和峨参(*A. sylvestris*)种子萌发率及差异显著性分析
Table 1 Seed germination of *C. smyrnioides* and *A. sylvestris* at different constant temperature and significant test

储藏条件 Storage condition	萌发率 Germination(%±SE)							
	明党参 <i>C. smyrnioides</i>				峨参 <i>A. sylvestris</i>			
	5℃	10℃	15℃	18℃	5℃	10℃	15℃	18℃
5℃干储 ^①	52.5±5.9 ^b	74.5±4.1 ^a	5.0±3.5 ^c	0.0±0.0 ^d	83.5±1.9 ^a	71.0±2.6 ^b	35.5±4.7 ^c	0.0±0.0 ^d
5℃变湿储藏 ^②	64.8±13.8 ^b	85.5±4.2 ^a	50.1±6.1 ^c	0.0±0.0 ^d	89.0±3.4 ^a	73.5±3.0 ^b	30.1±4.5 ^c	0.0±0.0 ^d
10℃干储 ^③	78.5±3.0 ^a	71.0±2.6 ^b	4.5±1.0 ^c	0.0±0.0 ^d	81.5±8.4 ^a	68.5±7.0 ^b	34.0±8.2 ^c	0.0±0.0 ^d
10℃变湿储藏 ^④	86.0±6.6 ^a	83.3±6.0 ^a	19.5±7.9 ^b	0.0±0.0 ^c	87.0±5.4 ^a	69.5±10.9 ^b	28.3±4.1 ^c	1.5±1.4 ^d
自然温度干储 ^⑤	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0	0.0±0.0
自然温度变湿储藏 ^⑥	81.0±7.9 ^a	77.0±9.1 ^a	59.5±7.2 ^b	21.5±12.7 ^c	91.8±4.3 ^a	87.0±4.9 ^a	25.5±9.7 ^b	4.3±3.5 ^c

①5℃ dry storage, ②5℃ fluctuant moisture storage, ③10℃ dry storage, ④10℃ fluctuant moisture storage, ⑤Natural temperature dry storage, ⑥Natural temperature flucturant moisture storage

5℃变湿储藏的明党参和峨参种子在 15℃条件下萌发最快,自然温度变湿储藏的种子在 18℃下萌发最快(图 2)。10℃变湿储藏的明党参种子在 15℃下萌发最快,而 10℃变湿储藏的峨参种子则是在 5℃下萌发最快。干燥储藏的明党参和峨参种子萌发速率均比变湿储藏慢(10℃变湿储藏的种子与干储种子萌发速率相似,明党参种子达到最大萌发率时间的一半即 $T_{1/2}$ 为 60d,峨参种子为 70d)。

2.1.2 变温条件下萌发情况 两物种 5℃干燥储藏种子在 5~15℃时的萌发率最高(表 2),10~15℃萌发率其次,但均比在 5℃和 10℃恒温下的萌发率高。15~18℃萌发受抑制,18℃时几乎不萌发。25℃恒温下不萌发的种子再移至 5℃恒温下后,萌发率与一直在 5℃恒温下的萌发情况接近,萌发率分别为 $80.2\% \pm 10.1\%$ 和 $87.5\% \pm 10.6\%$,5℃恒温下分别是 $86.0\% \pm 6.6\%$ 和 $87.0\% \pm 5.4\%$ 。方差分析显示没有差异(明党参 $P=0.5347, n=8$;峨参 $P=0.7859, n=8$),说明 25℃抑制了明党参和峨参种子的萌发,但没有使种子失去活力。

2.2 光照对种子萌发的影响

明党参和峨参种子均是黑暗条件下的萌发率略高于光照条件(图 3),但是差异不显著($P>0.05$),均属于中性种子。明党参萌发率略高于峨参;黑暗下明党参萌发率比峨参高 7.5%,光照下明党参萌发率比峨参高 4%。两物种种子的萌发速率无差异,但均是黑暗条件稍快于光照条件(图 3)。

2.3 种子含水量对萌发的影响

经过不同时间的干燥过程后,明党参和峨参种子的含水量均从自然风干的最高含水量逐渐下降(表 3)。随着含水量从最高 17.0%下降到 5.9%,明党参萌发率从 86.5%下降到 66.3%,下降了 20%;峨参从 10.5%下降到 3.7%,萌发率仅下降了 5.5%。由于实验条件的限制,目前只能得出使明党参和峨参种子失去萌发能力的种子含水率的临界值分别在 5.9%和 3.7%。

2.4 种子质量对萌发的影响

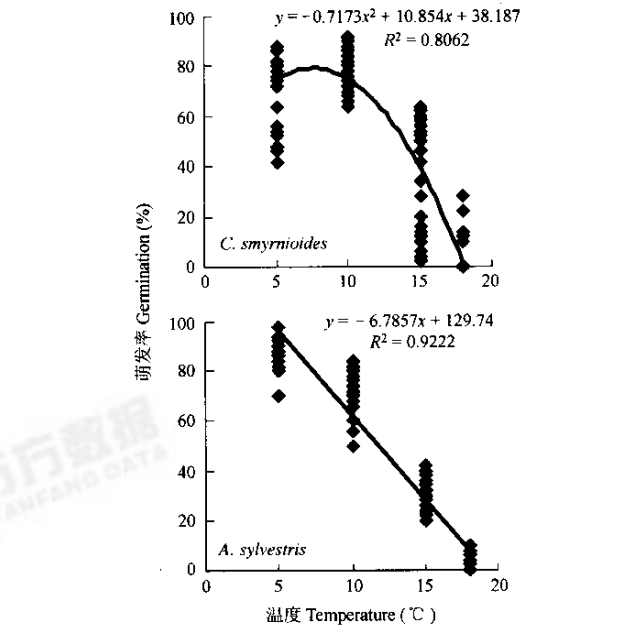


图 1 明党参和峨参种子萌发率与萌发温度的关系
Fig.1 Relationship between the germination of *C. smyrnioides* and *A. sylvestris* seeds and temperature

表 2 变温条件下明党参和峨参种子萌发率
Table 2 Seed germination of *C. smyrnioides* and *A. sylvestris* at alternate temperature

温度范围(℃) Temperature range	ΔT (℃)	萌发率 Germination(%±SE)	
		<i>C. smyrnioides</i>	<i>A. sylvestris</i>
5~15	10	88.0±1.6	83.0±1.2
10~15	5	85.0±3.5	78.0±2.8
15~18	3	0.5±1.0	1.0±1.0

明党参水选种子上下层(种子重)比例分别为 11.5%和 88.5%,下层种子平均每粒比上层种子重 1.8 mg。10℃下下层种子萌发率约是上层种子的 4 倍(表 4)。

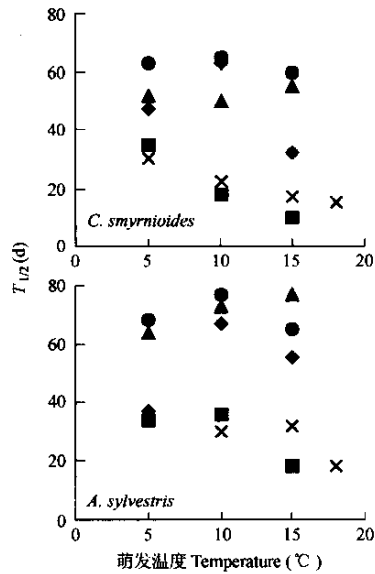


图 2 不同温度明党参和峨参种子在 1/2 最大萌发率的时间
Fig. 2 Time to 50% germination of *C. smyrnioides* and *A. sylvestris* at different constant temperature
■ 5℃变湿储藏 5℃ fluctuant moisture store, ▲ 5℃干燥储藏 5℃ dry store, ◆ 10℃变湿储藏 10℃ fluctuant moisture store, ● 10℃干燥储藏 10℃ dry store, × 自然温度变湿储藏 Natural temperature fluctuant moisture store

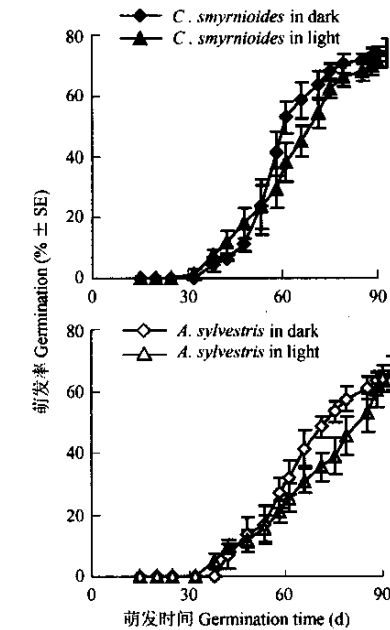


图 3 明党参和峨参种子在 10℃下光照和黑暗处理的萌发率
Fig. 3 Seed germination of *C. smyrnioides* and *A. sylvestris* in dark and light at 10℃

表 3 10℃下明党参和峨参种子含水量对萌发的影响
Table 3 Effects of seed water content on seed germination of *C. smyrnioides* and *A. sylvestris*

物种 Species	干燥时间(d) Drying time	种子含水量(%) Seed water content	萌发率(%) Germination
明党参 <i>C. smyrnioides</i>	0	17.0	86.0±4.5
	7	7.3	81.0±3.1
	14	6.4	82.7±8.8
	21	5.9	63.3±7.2
峨参 <i>A. sylvestris</i>	0	10.5	75.5±7.0
	7	5.0	73.5±3.5
	14	4.2	71.1±11.4
	21	3.7	70.0±8.9

表 4 明党参上下层种子千粒重及萌发率
Table 4 Kilo-grain weight and germination of superstratum and substrate seeds of *C. smyrnioides*

种子类型 Seed type	种子重比率 Seed weight ratio (%)	千粒重 Kilo-grain weight (g)	萌发率 Germination (%)
上层种子①	11.5±2.3	4.14±0.31	22.5±6.7
下层种子②	88.5±2.5	5.95±0.38	80.3±3.4

①Superstratum seed, ②Substrate seed

3 讨论

3.1 温度是两种植物种子萌发的限制因子

对有些植物而言,休眠打破后种子萌发的温度范围很宽^[12~14]。但明党参和峨参的萌发范围较窄,本实验表明明党参和峨参种子的萌发温度是 5~15℃,这两个物种对萌发温度要求严格,而且范围相似。温度是影响明党参和峨参这类冬性植物种子萌发的主要因素。Mierlo 的研究结果表明,当峨参种子的胚在低温下成熟后,种子能在所有的试验温度(2~18℃)下萌发,没有清晰的最适萌发温度概念^[3]。但本次实验结果却表明,不论在何种储藏条件下,峨参种子的最适萌发温度都是 5℃,明党参是 10℃(图 1)。峨参种子变温条件下的萌发率与恒温差别不大,这一结论与 Mierlo 的研究结果也不一致,他发现峨参种子在大的温度日变化下萌发率会降低^[3],本文研究结果却表明温度日变化越大萌发率越高(表 2)。温度对不同生态型的种子萌发有不同的影响^[5]。峨参是一个广布种,可能各分布地区的种群已经形成了不同生态型,使不同分布区的种子萌发特性产生了差异,这值得进一步研究。

生态学的室内实验最终目的是为了解决野外生态学研究中的实际问题。室内实验发现的种子的最适萌发温度可以解释野外明党参和峨参的萌发模式。在野外,明党参和峨参种子在 5 月底 6 月初散布,但散布后不能立刻萌发,因为它们的胚未发育成熟^[15]。从储藏实验可知胚的成熟需要一个 5~10℃的低温过程^[11],种子胚完全成熟后可在 5~15℃下萌发。因此

只有这两个物种的种子在自然生境中能安全度过下落到完全成熟这段时间,才有转变成幼苗的机会,这可能是所有冬性植物都面临的一个问题——种子库内的种子命运问题。在自然生境中两物种的种子萌发一般发生在翌年的 2 月份,经历过一个寒冷的冬天,此时亚热带地区的气温在 0~10℃ 之间,与室内明党参和峨参的最适萌发温度接近。而当温度大于 15℃ 时,两物种的种子萌发均受到限制。由于明党参和峨参种子对萌发温度有较高的要求,这也在一定程度上限制了这两个物种向南方扩展。峨参的分布区比明党参更偏北,这与峨参的最适萌发温度比明党参更低相吻合。

3.2 光照不是明党参和峨参种子萌发的限制因子

明党参和峨参种子在光照和黑暗条件下萌发率没有差异($P>0.05$),这一结果表明无论是在光照很强的林窗、林缘或土壤表面,还是光照微弱的林下或甚至没有光照的土壤深处,只要其它条件适宜,其种子均能萌发。以往的研究结果也表明峨参种子是光不敏感性种子,红光/远红光比率对峨参种子萌发无显著影响^[3],明党参种子也属这一类。在野外调查中发现,有明党参分布的林下土壤 20cm 深处,仍有明党参种子萌发。还观察到主要在路边、水沟边分布的峨参种子从 2 月开始萌发一直可以持续到 5 月初(这时月平均温度 15℃),草本冠层盖度的变化对其种子萌发也没有影响。因此光照不是明党参和峨参种子萌发的限制因子。

3.3 种子含水量对萌发的影响

种子含水量和储藏温度是影响种子在储藏期间生活力和活力保持的关键因素^[16]。经典的种子生理学理论认为,5%~7% 的含水量是种子储藏水分的下限,再低将会影响种子活力^[17]。但是限于实验条件及明党参和峨参种子的差异,将两物种的种子含水量控制在相同的水平比较困难。从实验结果来看,明党参种子含水量在 17%~6.4% 之间时,萌发率没有差异($P>0.05$);峨参种子含水量在 10.5%~3.7% 之间时,萌发率也没有差异($P>0.05$)。这说明种子含水量在某一阈值以上对种子活力几乎无影响。当明党参种子含水量降到 5.9% 时开始对种子活力有抑制作用,萌发率下降 20% 左右。据此可以推测富含淀粉的明党参种子适宜含水量在 5.9%~6.4% 之间。而峨参种子的适宜含水量比明党参低,在 3.7% 以下。可以推测,明党参种子在野外干燥时期将比峨参种子更容易失去活力。在自然种群中种子含水量受土壤湿度及降雨量的影响,大多数冬性植物都可能要经受过湿和过干的环境,会影响种子活力和后熟过程。目前,超干处理提高种子耐藏性的效果已基本被世界各国科学家认可,但在超干保存种子种质最适含水量及其与贮藏温度之间的关系问题上,还存在着分歧。焦点在于超干条件下得到的种子最适含水量结果是否代表种子正常贮藏时的最适含水量,以及种子最适含水量是否随贮藏温度而变化^[16]。这些问题还有待进一步的实验来说明。明党参和峨参种子均是短寿命种子(种子活力在自然条件下只能保持 1a),因此在储藏种子时采用什么样的条件能使种子寿命延长需要进一步的研究,这也是保护濒危植物种质的一个可行途径。

3.4 种子质量和大小对萌发的影响

明党参上下层种子的萌发率与种子重量显著相关($r=0.85,n=8$),下层种子萌发率是上层的 4 倍(表 4)。上下层种子比例为 1:8,质量较好的下层种子占大部分,这个比例说明明党参种子的质量状况不差。且萌发率也不低,上下层种子平均萌发率可达 74%。这些情况说明种子本身的生物学特性不是导致明党参濒危的直接原因。

在许多植物中,种子越大萌发率越高,越有利于幼苗的建成^[18~20]。2002 年明党参种子水选上下层比例为 1:8,平均种子重为 5.74 mg/粒,平均萌发率为 74%;2000 年上下层比例是 3:7,平均种子重为 3.58 mg/粒,平均萌发率为 69%^[11]。2002 年的明党参种子质量比 2000 年好,平均种子重比 2000 年高 2.16g,但是两年的平均萌发率相差不大。由此可知明党参平均种子重的下降并没有显著影响萌发率,即种子质量的提高不能使萌发数显著上升,反而减少了每株种子数,造成生殖浪费。具低种子数、大粒种子是 *K* 对策物种的一个显著特征,种群规模稳定,但发展速度慢,特别是受到人类强度采挖和破坏生境后恢复起来比较困难。峨参每株种子数量多,约是明党参的 10 倍^[11],总的萌发幼苗数大大多于明党参,受到人类采挖后可以快速恢复种群。因此种子产量低也是濒危植物种群更新的一个薄弱环节。

References:

[1] Chang J, Ge Y, Lu Y J, *et al.* A comparison of photosynthesis in endangered and non-endangered plants *Changium smyrnioides* and *Anthriscus sylvestris*. *Photosynthetica*, 2002, **40**(2): 445~447.

[2] Klinkhamer P G L, de Jong T J, Meelis E. Life history variation and the control of flowering in short-lived monocarps. *Oikos*, 1987, **49**: 309~314.

[3] Mierlo J E M, Groenendaal J M. A population dynamic approach to control of *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm. *Journal of Applied Ecology*, 1991, **28**: 128~139.

[4] Gutterman Y. *Seed germination in desert plants*. Adaptations of Desert Organisms. Berlin: Springer-Verlag, 1993.

[5] Huang Z Y, Gutterman Y, Hu Z H, *et al.* Seed germination in *Artemisia sphaerocephala* II. The influence of environment factors. *Acta*

Phytoecologica Sinica, 2001, **25**(2): 240~246.

[6] Harper P J. *Population biology of plants*. Academic Press, New York, 1977.

[7] Ge Y, Chang J, Yue C L, *et al.* A physioecological study on seed germination of *Mosla hangchowensis*. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1998, **22**(2): 171~177.

[8] Xie Z Q, Chen W L, Hu D. The fruiting characteristics of an endangered plant, *Cathaya argyrophylla* and the impact of animals on fruits. *Acta Phytoecologica Sinica*, 1998, **22**(4): 319~326.

[9] Wang J B, Chen J G, Li R Q, *et al.* Life history traits and mechanisms of endangerment in *Ranalisma rostratum*. *Chinese Biodiversity*, 1998, **6**(3): 167~171.

[10] Assche J V, Nerum D V, Darius P. The comparative germination ecology of nine *Rumex* species. *Plant Ecology*, 2002, **159**: 131~142.

[11] Yin X W, Chang J, Ge Y, *et al.* A comparison of dormancy and germination of seeds between an endangered species, *Changium smyrnioides*, and a non-endangered species, *Anthriscus sylvestris*. *Biodiversity Science*, 2002, **10**(4): 425~430.

[12] Baskin C C, Baskin J M. The annual dormancy cycle in buried weed seeds: a continuum. *Bioscience*, 1985, **35**: 492~498.

[13] Kondo T, Maenaka H, Takahashi R. Propagation and vegetational management of wild flowers: germination, cutting propagation, and frequency and timing of mowing for extending the flowering season of *Aster ageratoides* subsp. *ovatus* Kitam. *Journal of the Japanese Society of Revegetation Technology*, 1992, **17**: 193~202.

[14] Kondo T. Germination characteristics of wildflower. *Journal of the Japanese Institute of Landscape Architects*, 1993, **57**: 121~128.

[15] Qiu Y X, Fu C X. Studies on the endangerment mechanism of and conservation strategies for *Changium smyrnioides*. *Biodiversity Science*, 2001, **9**(2): 151~156.

[16] Wang X F, Jing X M, Zheng G H. Effect of seed moisture content on seed storage longevity. *Acta Botanica Sinica*, 2001, **43**(6): 551~557.

[17] Villiers T, Edgurnber D J. On the cause of seed deterioration in dry storage. *Seed Science of Technology*, 1975, **3**: 325~328.

[18] Tripathi R S, Khan M L. Effect of seed weight and microsite characteristic on germination and seedling fitness in two species of *Quercus* in a subtropical wet hill forest. *Oikos*, 1990, **57**: 289~296.

[19] Ke W S, Zhong Z C, Xi H A, *et al.* The variation of seed sizes of *Gordonia acuminata* geographic populations and its effect on seed germination and seedling. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, **20**(5): 697~701.

[20] Chen Z H, Zhang D M. Seed germination and seedling growth of 24 tree species in lower subtropical forest. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 1999, **7**(1): 37~46.

参考文献:

[5] 黄振英, Gutterman Y, 胡正海, 等. 白沙蒿种子萌发特性的研究 II. 环境因素的影响. 植物生态学报, 2001, **25**(2): 240~246.

[7] 葛滢, 常杰, 岳春雷, 等. 杭州石茅 种子萌发的生理生态学研究. 植物生态学报, 1998, **22**(2): 171~177.

[8] 谢宗强, 陈伟烈, 胡东. 濒危植物银杉的结实特性及动物对果实的危害性. 植物生态学报, 1998, **22**(4): 319~326.

[9] 王建波, 陈家宽, 利容千, 等. 长喙毛茛泽泻的生活史特征及濒危机制. 生物多样性, 1998, **6**(3): 167~171.

[11] 殷现伟, 常杰, 葛滢, 等. 濒危植物明党参和非濒危种峨参种子休眠和萌发比较. 生物多样性, 2002, **10**(4): 425~430.

[15] 邱英雄, 傅承新. 明党参的濒危机制及其保护对策的研究. 生物多样性, 2001, **9**(2): 151~156.

[16] 汪晓峰, 景新明, 郑光华. 含水量对种子贮藏寿命的影响. 植物学报, 2001, **43**(6): 551~557.

[19] 柯文山, 钟章成, 席红安, 等. 四川大头茶地理种群种子大小变异及对萌发、幼苗特征的影响. 生态学报, 2000, **20**(4): 697~701.

[20] 陈章和, 张德明. 南亚热带森林 24 种乔木的种子萌发和幼苗生长. 热带亚热带植物学报, 1999, **7**(1): 37~46.