

不同营养条件下 24 种高寒草甸菊科植物种子重量对幼苗生长的影响

张世挺¹, 杜国祯^{1*}, 陈家宽², 熊志远¹

(1. 兰州大学干旱农业生态国家重点实验室, 兰州 730000; 2. 复旦大学生物多样性科学研究所, 上海 200433)

摘要:以青藏高原高寒草甸中常见的 24 种菊科植物为材料,在去离子水、河沙加蒸馏水、河沙加半强度霍格兰营养液和河沙加标准霍格兰营养液四种营养基质中培养幼苗,在 10d、20d 和 30d 三个幼苗生长期研究种子重量对幼苗生长的影响,结果表明:(1)在 10d、20d 和 30d 三个不同的幼苗生长期,在不同培养基质中种子重量与幼苗重量均呈显著的正相关,但 R 值在去离子水中变化不大,而在其它 3 种培养基质中持续减少。(2)种子重量与相对增长率负相关,这种负相关性在去离子水中 10d 和 20d 生长期表现较弱,在其它 3 种培养基质中同一生长期的幼苗相对增长率变化不明显。(3)除在 10d 去离子水中种子重量与幼苗根冠比率呈显著的正相关外,其余均没有显著的相关关系。

关键词:种子重量; 幼苗重量; 相对增长率; 根冠比率; 高寒草甸

Effects of seed weight on seedling growth under different nutrient conditions in twenty-four species of *Compositae* in an Alpine Meadow

ZHANG Shi-Ting¹, DU Guo-Zhen^{1*}, CHEN Jia-Kuan², XIONG Zhi-Yuan¹ (1. *State Key Laboratory of Arid Agroecology of Lanzhou University, Lanzhou 730000, China*; 2. *Fudan University Bio-diversity Science Institute, Shanghai 20043, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(9): 1737~1744.

Abstract: Effects of seed weight on seedling growth were investigated in 24 common species of *Compositae* in an alpine meadow on the Tibet plateau. Seedlings were cultured in deionized water, washed sand with added distilled water, washed sand with added half-strength Hoagland solution and washed sand with added standard Hoagland solution. Seedling growth was observed after 10 days, 20 days and 30 days. The results were as follows:

(1) There was a highly significant positive correlation between log seed weight and log seedling weight with a geometrical mean regression after all three different observation periods ($p < 0.001$), regardless of culture media, that is, heavier-seeded species had larger seedlings than lighter-seeded species. The relation between seed weight and seedling weight remained relatively constant in deionized water and decreased continuously in the other three culture media after 10d, 20d and 30d. This is probably

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划资助项目(90202009);甘肃省“九五”重点攻关资助项目(GK-971-2-35A)

收稿日期:2002-11-05; **修订日期:**2003-04-20

作者简介:张世挺(1970~),男,河南新县人,博士生,主要从事种子生态学研究。

* 通信联系人 E-mail: duguozhen3869@sina.com.cn

Foundation item: The state key project for natural science (No. 90202009) and Gansu Province 95' key project (No. GK-971-2-35A)

Received date: 2002-11-05; **Accepted date:** 2003-04-20

Biography: ZHANG Shi-Ting, Ph. D. candidate, main research field: seed ecology.

because the seedlings in deionized water completely depend on the seed reserve, while seedlings in other three culture media can absorb external nutrients when the seed reserve is used up.

(2) There were significant negative correlations between log seed weight and log relative growth rate in all the culture media after 10d, 20d and 30d, but these correlations were only weak after 10d and 20d in deionized water. It seems that relative growth rate of any species was relatively constant, despite variations in nutrient supply, suggesting that relative growth rate may be a conservative character of a species. However, we could account neither for the weakness of the correlation between seed size and relative growth rate in deionized water after 10d and 20d, compared to 30d, nor why this was not apparent in the other three culture media.

(3) There were no significant correlations between log seed weight and log root shoot ratio, except for a significant positive correlation after 10d in deionized water. So the advantage of large seeds in alpine meadows does not lie in higher root allocation in early seedling growth, as found in arid zones in other studies.

Key words: seed weight; seedling weight; relative growth rate; root shoot ratio; alpine meadow
文章编号:1000-0933(2003)09-1737-08 **中图分类号:**Q948.1 **文献标识码:**A

在某一植物种内,种子的大小(重量)常常被认为是相对恒定的^[1],特定的种子大小是在种子的有效扩散和幼苗成功定居的矛盾关系中与种子数目权衡的结果^[2,3]。植物种间种子大小表现出极大的差异,其变异幅度达到 10 个数量级,从兰花的种子 10^{-6} g 到双椰子 10^4 g^[1]。物种间种子大小的这种差异,长期以来一直是植物进化学家和生态学家所关注的问题^[4]。较大种子与长寿命生活型^[5,6]、干旱栖息地^[7,8]、群落演替的早期阶段^[9]、低海拔^[7]相联系,而较小种子与短寿命生活型^[5,6,10]、湿润栖息地^[6,7]、群落演替的晚期阶段^[9]、高海拔^[7]相联系。

植物在某一生境成功定居,不是在于其种子的大小,而关键在于其相应幼苗的大小^[3]。因此,研究种子大小与幼苗生长的关系就显得非常重要。很多研究表明大种子的植物幼苗有较慢的相对生率(RGR)^[11~13],即种子大小与幼苗大小为异速增长关系(allometry),种子大小与幼苗大小呈正相关关系^[3,14,15]。然而,一些研究又表明种子大小与幼苗 RGR 表现弱的相关性或者不相关^[16~18]。可见,种子大小对幼苗生长的影响是不确定的。造成研究结果不一的原因,可能与下述因素有关:①观测时间的不同,有 10d、20d 和 30d 不等;②培养幼苗的基质的差异;③供试物种来自不同的地域及植被类型;④物种间的亲缘关系(系统发育)也可能对研究结果产生一定的影响^[19,20]。国内有关该领域的研究甚少,只见到二篇有关种内种子大小变异和有关种子埋藏深度对幼苗生长和发育影响的报道^[21,22]。鉴于此,作者以分布于青藏高原东缘高寒草甸这一特殊生境中常见的 24 种菊科植物为材料,在不同的营养条件和不同的幼苗生长时期,研究物种间种子大小变异对幼苗生长的影响,以期进一步揭示物种间种子大小变异对幼苗生长影响的生态学意义。

1 材料和方法

1.1 材料

菊科植物的果实为瘦果,它在功能上类似于真正的种子。因此,将其果实的重量视为种子重量。所选物种均为高寒草甸中常见的菊科植物,物种间种子大小变异幅度约为 100 倍。种子采集地点位于甘肃省甘南藏族自治州合作市郊西山坡封育草场,是以耐寒多年生禾草为主的高寒草甸植被类型,海拔高度 3100m,年平均气温 2.0℃,年降水量为 557.8mm。种子采集时间为 2001 年 9 月至 10 月。采集的种子贮存在牛皮纸信封中,在室温下贮存直到试验使用。物种名录及其种子重量见表 1。

1.2 试验设计与数据分析

1.2.1 试验设计 正式试验前,做一预备试验,测出不同物种种子开始萌发的时间、萌发率和萌发速率,以确定不同物种的萌发日期和所需种子的数量,从而保证在同一时间移植不同物种的幼苗及所需同一

表 1 物种及其种子的重量
Table 1 The species used and seed weights

物种 Species	百粒重 Weight per hundred ($\times 10^{-4}$ g)	物种 Species	百粒重 Weight per hundred ($\times 10^{-4}$ g)
臭蒿 <i>Artemisia hedini</i>	1.13	禾叶垂头菊 <i>Cremanthodium lineare</i>	8.26
甘青蒿 <i>Artemisia tangutica</i>	1.42	风毛菊 <i>Saussurea japonica</i>	8.33
沙蒿 <i>Artemisia desertorum</i>	1.73	川西风毛菊 <i>Saussurea dzeurensis</i>	11.09
大籽蒿 <i>Artemisia sieversiana</i>	2.35	滇西风毛菊 <i>Saussurea bodinieri</i>	15.26
细裂叶蒿 <i>Artemisia tanacetifolia</i>	2.14	聚头风毛菊 <i>Saussurea simifasciata</i>	18.45
蒿属一种 <i>Artemisia</i> sp.	3.17	长毛风毛菊 <i>Saussurea hieracioides</i>	8.77
莴苣 <i>Lactuca sativa</i>	1.97	褐毛风毛菊 <i>Saussurea brunneopilosa</i>	23.80
苦苣菜 <i>Ixeris denticulate</i>	5.20	紫苞风毛菊 <i>Saussurea iodostegia</i>	23.83
阿尔泰狗娃花 <i>Heteropappus altaicus</i>	2.43	毛莲菜 <i>Picris hieracioides</i>	13.59
狗娃花属一种 <i>Heteropappus</i> sp.	3.43	千里光属一种 <i>Senecio</i> sp.	2.11
蒲公英 <i>Taraxacum monogollicum</i>	7.03	聚头蓟 <i>Cirsium souliei</i>	39.80
川甘蒲公英 <i>Taraxacum lugubre</i>	13.66	蕴苞麻花头 <i>Serratula stranglata</i>	86.89

物种同一时间萌发幼苗的数量。种子放在垫有滤纸的培养皿中,浇适量的蒸馏水以使滤纸湿润。在黑暗和 20℃ 恒温条件下萌发。用来移植幼苗的塑料盆体积为 565cm³,盆内基质分为 4 个处理:①去离子水,每 5d 更换 1 次,其上悬浮带有许多小孔的塑料薄膜。②洗净烘干的河沙,每天浇 1 次蒸馏水;③洗净烘干的河沙,每 2d 交替浇一次蒸馏水和半强度霍格兰营养液(half-strength Hoagland);④洗净烘干的河沙,每 2d 交替浇 1 次蒸馏水和标准霍格兰营养液(standard Hoagland);每一处理重复 3 次。胚根出现后的第 3 天,用镊子小心夹住幼苗,移入塑料盆中,使胚根完全埋入河沙中或全部位于塑料薄膜孔的下面,每盆均匀分布 30 株幼苗。塑料盆置于光照培养箱中,光照为 550μmol/m²,昼夜光周期为 16h/8h,昼夜温度为 20℃/5℃,模拟自然生境中的光周期和温差。每隔 10d、20d 和 30d,从每个培养基质处理中移出 8 株幼苗,洗净根部的河沙,根部与冠部分开。

1.2.2 种子和幼苗生长指标的测定 称量重量的仪器为 1/10000g 的电子天平。种子重量(SW)为自然状态下的重量,在不同基质处理下不同时期的幼苗重量(SGW)、根的重量(RW)和冠部的重量(SHW)均为 80℃ 24h 下的烘干重量。计算每株幼苗重量 $SGW = RW + SHW$ 、根冠比率 R/S 。5 个物种缺少去离子水培养数据,其中臭蒿由于幼苗太轻无法测出,沙蒿、狗娃花属一种、毛莲菜和蒲公英由于幼苗不够多。另外,物种的根冠比率数据缺失,是由于幼苗的根部或者冠部以及二者的重量均太轻,以致无法测出。因此,有些实验中的物种数目小于 24 种。

1.2.3 数据分析 由于物种的 SW 和 SGW、SHW、及 RW 均为具有方差的平均数,即自变量(dependent variable)SW 和因变量(dependent variable)SGW、SHW、及 RW 均为随机变量,采用最小二乘法的线性回归(又称“model I regression”)可能低估了回归直线的斜率,因而不适合的^[23]。本文采用几何平均数回归(又称“model II regression”),目前被认为可有效处理均具有误差的双变量线性回归。有关此方法的详细说明可参见 Jackson^[24]综述。数据分析软件为可在 Excel'97 下运行的几何平均数回归软件包。SW、SGW 和 R/S 数据均对数转换后进行几何平均数回归。因为所用的种子都非常小,以致很难测出刚萌发幼苗的重量,从而无法直接计算出不同时期每个物种的 RGR,也就无法直接建立 SW 与 RGR 的回归关系。为了分析 SW 和 RGR 的关系,采用间接的方法,即从 SGW 和 SW 的几何平均数回归方程的斜率 β 值来判断,因为 β 值表示 $\Delta \log SGW / \Delta \log SW$ 。在此基础上,提出零假设:如果 SGW 和 SW 的几何平均数回归关系显著且斜率为 1,表示相对生长率(RGR)与种子重量(SW)没有关系;否则,拒绝零假设。

2 结果

2.1 在去离子水培养中种子重量与不同生长期的幼苗重量、相对生长率和根冠比率的关系

表 2 在去离子水培养中种子重量与 10d、20d 和 30d 幼苗根冠比率的关系

Table 2 Relationships between SW and R/S of seedling of 10 days, 20days and 30 days in deionized water			
生长期 Growth periods	自由度 Freedom	相关系数 R	显著性 Significance
10d	13	-0.76	$P<0.01$
20d	14	-0.64	$P>0.05$
30d	17	-0.27	$P>0.05$

从图 1 可知,在去离子水中,种子重量与 10d、20 d 和 30 d 的幼苗重量均呈极显著的正相关关系($R>0.95, P<0.001$)。即种子较重,其幼苗也较大。在设定的 3 个生长期,几何平均数回归斜率均小于 1,依据零假设,表明 SW 和 RGR 存在负相关关系。也就是说,种子较重的物种有较慢的相对生长率,但这种负相关关系在 10d 和 20 d 较弱(斜率 $\beta>0.90$),在 30 d 较强(斜率 $\beta<0.90$)。

从表 2 可知,在去离子水培养中,10d 时种子重量与幼苗根冠比率呈显著的负相关关系,而 20d 和 30d 时二者呈不显著的负相关关系。

2.2 在河沙加蒸馏水培养中种子重量与不同生长期幼苗重量、相对生长率和根冠比率的关系

表 3 在河沙加蒸馏水培养中种子重量与 10d、20d 和 30d 幼苗根冠比率的关系

Table 3 Relationships between SW and R/S of seedling of 10 days, 20days and 30 days in river sand and distilled water			
生长期 Growth periods	自由度 Freedom	相关系数 R	显著性 Significance
10d	22	-0.54	$P>0.05$
20d	21	0.06	$P>0.05$
30d	17	-0.05	$P>0.05$

从图 2 可知,在河沙加蒸馏水培养中,种子重量与 10d、20 d 和 30 d 的幼苗重量均呈极显著的正相关关系($R>0.90, P<0.001$),且回归方程斜率 β 皆小于 1,但与 2.1 中的斜率 β 值相比较低($\beta\leqslant0.86$)。从表 3 中可以看出,种子重量与根冠比率在 10d 和 30 d 呈不显著的负相关,在 20d 呈不显著的正相关,与 2.1 中的格局相比发生了变化。

2.3 在河沙加半强度霍格兰营养液培养中种子重量与不同生长时期的幼苗重量、相对生长率和根冠比率的关系

从图 3 可知,在河沙加半强度霍格兰营养液中,种子重量与 3 个不同生长期的幼苗重量仍呈极显著的正相关,但在 30 d 时相关系数从大于或等于 0.90 下降到 0.77。回归方程斜率 β 都明显小于 1($\beta\leqslant0.82$),与 2.2 中的格局类似。从表 4 中可以看出,种子重量与根冠比率在 10d 和 30 d 呈不显著的负相关,在 20d 呈不显著的正相关,与前两个培养处理的结果都不一致。

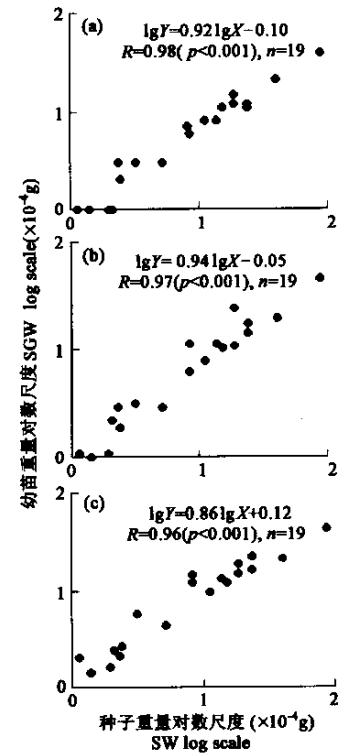


图 1 在去离子水培养中种子重量与 10d、20d 和 30d 幼苗重量的关系

Fig. 1 Relationships between SW and SGW of 10 days, 20days and 30 days in deionized water

(a)、(b)和(c)分别为 10d、20d 和 30d 的幼苗生长期 (a), (b) and (c) are 10 days, 20days and 30 days of growth periods of seedling respectively; 几何平均数回归方程如图,斜率 95%置信区间 The slopes of the geometrical mean regression 95% CL are: (a) $0.92 \pm 0.05 (df = 17)$, (b) $0.94 \pm 0.05 (df = 17)$, (c) $0.86 \pm 0.05 (df = 17)$

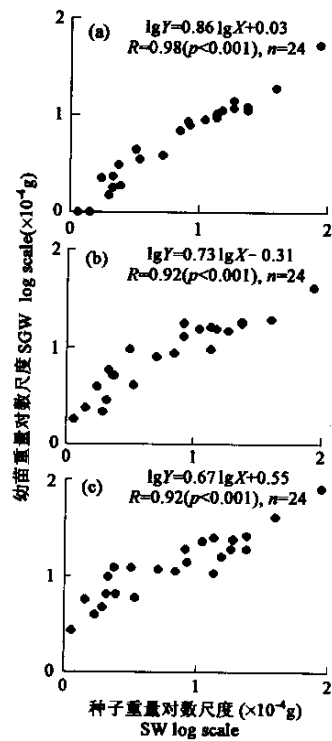


图 2 在河沙加蒸馏水培养中种子重量与 10d、20d 和 30d 幼苗重量的关系

Fig. 2 Relationships between SW and SGW of 10 days, 20days and 30 days in river sand and distilled water

(a)、(b)和(c)分别为 10d、20d 和 30d 的幼苗生长期
(a), (b) and (c) are 10 days, 20days and 30 days of growth periods of seedling respectively;几何平均数回归方程如图,斜率 95%置信区间 The slopes of the geometrical mean regression 95% CL are: (a) $0.86 \pm 0.04 (df = 22)$, (b) $0.73 \pm 0.06 (df = 22)$, (c) $0.67 \pm 0.05 (df = 22)$

2.4 在河沙加标准霍格兰营养液培养中种子重量与不同生长时期的幼苗重量、相对生长率和根冠比率的关系

从图 4 可知,在河沙加标准霍格兰营养液中,种子重量与 3 个不同生长期的幼苗重量呈极显著的正相关,且其在不同生长期的相关程度与 2.3 中相似。回归方程斜率 β 皆小于 1 ($\beta \leq 0.85$),与 2.2 和 2.3 中的格局类似。在表 5 中可以看出,种子重量与根冠比率在 10d 时为不显著的负相关,在 20d 和 30d 时呈不显著的正相关,与前 3 个培养处理的结果都不相同。

3 讨论

植物种间种子大小的变异是一个不争的事实,近些年来一直受到生态学家关注。种子大小与其它性状一起决定植物种的生活史^[25]。可见,种子大小与其它植物性状的关系是一个值得注意的问题。

不论外界营养条件,高寒草甸菊科植物早期幼苗 ($\leq 30d$) 大小与种子重量呈正相关具有一定的生态学

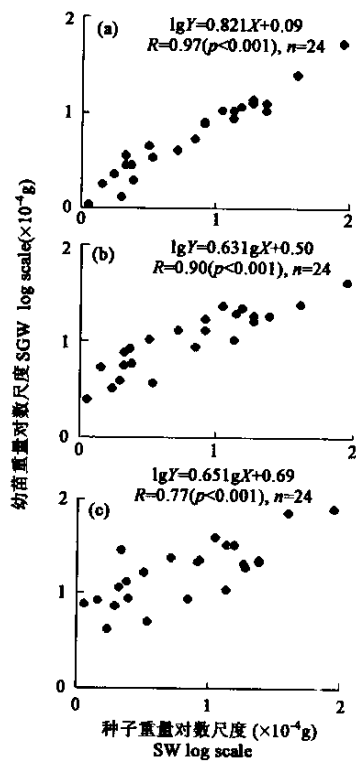


图 3 在河沙加半强度霍格兰营养液培养中种子重量与 10d、20d 和 30d 幼苗重量的关系

Fig. 3 Relationships between SW and SGW of 10 days, 20days and 30 days in river sand and half-strength Hoagland

(a)、(b)和(c)分别为 10d、20d 和 30d 的幼苗生长期
(a), (b) and (c) are 10 days, 20days and 30 days of growth periods of seedling respectively;几何平均数回归方程如图,斜率 95%置信区间 The slopes of the geometrical mean regression 95% CL are: (a) $0.82 \pm 0.04 (df = 22)$, (b) $0.63 \pm 0.06 (df = 22)$, (c) $0.65 \pm 0.09 (df = 22)$

表 4 在河沙加半强度霍格兰营养液培养中种子重量与 10d、20d 和 30d 幼苗根冠比率的关系

Table 4 Relationships between SW and R/S of seedling of 10 days, 20days and 30 days in river sand and half-strength Hoagland

生长期 Growth periods	自由度 Freedom	相关系数 R	显著性 Significance
10d	22	-0.33	$P>0.05$
20d	22	0.48	$P>0.05$
30d	22	-0.35	$P>0.05$

表 5 在河沙加标准霍格兰营养液培养中种子重量与 10d、20d 和 30d 幼苗根冠比率的关系

Table 5 Relationships between SW and R/S of seedling of 10 days, 20days and 30 days in river sand and standard Hoagland

生长期 Growth periods	自由度 Freedom	相关系数 R	显著性 Significance
10d	22	-0.37	$P>0.05$
20d	22	0.04	$P>0.05$
30d	22	0.25	$P>0.05$

意义。在植物定居中,早期幼苗的大小可能直接决定植物能否在生境中定居成功。换句话说,种子大小决定植物在不同生境中的分布。这一点在野外调查中得到了证实。分布在禾草丛中的菊科植物的种子相对较大,如风毛菊属和蓟属等;而分布在路边或裸地等稀疏植被中的菊科植物的种子相对较小,如蒿属和狗娃花属等。在光、营养等因素竞争激烈的环境中,较大种子的幼苗无疑处于优势地位。实验表明种子重量与幼苗相对生长率呈负相关,且在不考虑特殊的水培养条件下相对生长率不易受外界营养条件的影响。这说明较大种子的幼苗在相对生长率上处于劣势。在高寒草甸菊科植物中,种子重量与根冠比率不存在一定的相关性。纵使在干旱区,种子重量与根冠比的关系呈现不同的格局:正相关^[7]、不相关^[23]或负相关^[3]。Westoby^[5]等认为:如果种子重量与根冠比存在相关,可能是在遮荫环境资源分配有利于冠部,而不是在干旱环境有利于根部,因为较大的根系系统吸水,也存在较大的冠部耗水。从目前来看,没有充足的证据显示种子大小与幼苗根冠比存在一确定的关系。

较大种子的优势在于较大的幼苗易于存活,如耐荫^[26]、耐旱^[7]、耐食^[27],而较小的种子具有较高的相对生长率^[5]和持久的种子库^[18]。物种的种子采取某一水平大小的依据仍不清楚,主要涉及以下 4 个方面:(1)种子大小和种子数目间存在权衡(trade-off),即较大的种子,数目较少;较小的种子,数目较多;(2)种子大小与植物其它性状的联系,如扩散模式^[28]、高度^[29, 30]、生活型^[30]、萌发季节^[31]等;(3)种子大小与物种系统发育的关系^[32]。种子大小变异不仅是一个生态学问题,而且又是一个进化问题。

虽然目前物种间种子重量(大小)变异机制不清楚^[5],但是在幼苗早期生长中,种子重量的影响无疑不

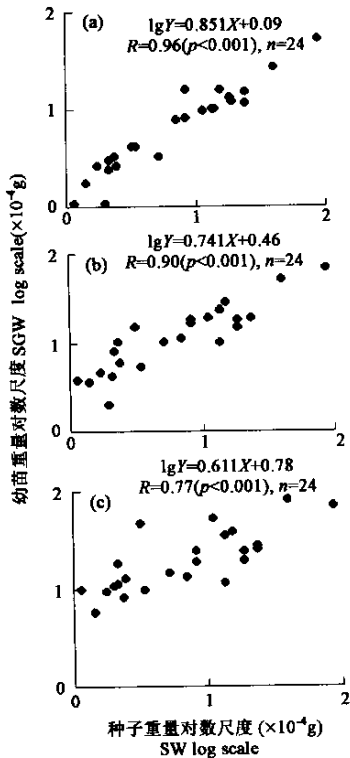


图 4 在河沙加标准霍格兰营养液培养中种子重量与 10d、20d 和 30d 幼苗重量的关系

Fig. 4 Relationships between SW and SGW of 10 days, 20days and 30 days after germination in river sand and standard Hoagland

(a)、(b)和(c)分别为 10d、20d 和 30d 的幼苗生长期 (a), (b) and (c) are 10 days, 20days and 30 days of growth periods of seedling respectively; 几何平均数回归方程如图, 斜率 95%置信区间 The slopes of the geometrical mean regression 95% CL are: (a) 0.85 ± 0.05 ($df=22$), (b) 0.74 ± 0.07 ($df=22$), (c) 0.61 ± 0.08 ($df=22$)

容忽视。本试验是在室内控制条件下进行,没有考虑竞争、光条件等因素的影响,土壤中营养的差异与试验所设计的不同营养条件也有一定的区别。因此,本试验结果有待于野外试验的进一步证实。

References :

[1] Harper J L, Lovell P H, Moore K G. The shapes and sizes of seeds. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* , 1970, **1**: 327~356.

[2] Harper J L. *The population biology of plants*. London: Academic Press, 1977.

[3] Fenner M. Relationships between seed weight, ash content and seedling growth in twenty-four species of *Compositae*. *New Phytol.* , 1983, **95**: 697~706.

[4] Silvertown J W. Seed size, life span and germination data as co-adapted features of plant life history. *Am. Nat.* , 1981, **118**: 860~864.

[5] Westoby M, Jurado E & Leishman M. Comparative evolutionary ecology of seed size. *Trends Ecol. Evol.* , 1992, **7**: 368~372.

[6] Mazer S J. Ecological, taxonomic, and life history correlates of seed mass among Indiana dune angiosperms. *Ecol. Monogr.* , 1989, **59**: 153~175.

[7] Baker H G. Seed weight in relation to environmental conditions in California. *Ecol.* , 1972, **53**(6): 997~1010.

[8] Salisbury E J. Seed size and mass in relation to environment. *Proceedings of the Royal Society of London, B*, 1974, **186**: 523~529.

[9] Salisbury E J. *The reproductive capacity of plants*. London: Bell & Sons, 1942.

[10] Leishman M R, Westoby M, Jurado E. Correlates of seed size variation: a comparison among five temperate floras. *J. Ecol.* , 1995, **83**: 517~530.

[11] Gross K L. Effects of seed size and growth form on seedling establishment of six monocarpic perennial plants. *J. Ecol.* , 1984, **72**: 369~387.

[12] Shipley B, Keddy P A, Moore D R J, *et al.* Regeneration and establishment strategies of emergent macrophytes. *J Ecol.* , 1989, **77**: 1093~1110.

[13] Shipley B, Peter H. The allometry of seed weight and seedling relative growth rate. *Funct. Ecol.* , 1990, **4**: 523~529.

[14] Long T J, Jones R H. Seedling growth strategies and seed size effects in fourteen oak species native to different soil moisture habitats. *Trends Ecol. Evol.* , 1996, **11**: 1~8.

[15] Stock W D, Pate J S and Delfs J. Influence of seed size and quality on seedling development under low nutrient conditions in five Australian and South African members of the *Proteaceae*. *J. Ecol.* , 1990, **78**: 1005~1020.

[16] Clair S J B, Adams W T. Effects of seed weight and rate of emergence on early growth of open-pollinated Douglas-fir families. *For. Sci.* , 1991, **37**: 987~997.

[17] Reich P B, Walters M B, Ellsworth D S. Leaf lifespan in relation to leaf, plant, and stand characteristics among diverse ecosystems. *Ecol. Monogr.* , 1992, **62**: 365~392.

[18] Thompson K. Seed and seed banks. *New Phytol.* , 1987, **106**(suppl.): 23~34.

[19] Rice S A, Bazzaz F A. Quantification of plasticity of plant traits in response to light intensity: comparing phenotypes at a common weight. *Oecologia*, 1989, **78**: 502~507.

[20] Elberse W T, Berendse F. A comparative study of the growth and morphology of eight grass species from habitats with different nutrient availabilities. *Func. Ecol.* , 1993, **7**: 223~229.

[21] Ke W S, *et al.* The variation of seed size of *Gordoaia acuminata* geographic populations and its effect on seed germination and seedling. *Acta Ecologia Sinica*, 2000, **20**: 697~701.

[22] Guo K, *et al.* Effect of Acorn burying depth on germination, seedling emergence and development of *Quercus aliena* var. *acuteserrata*. *Acta Boanica Sinica*, 2001, **43**: 974~978.

[23] Jurado E, Westoby M. Seedling growth in relation to seed size among species of arid Australia. *J. Ecol.* , 1992, **80**: 40

[24] Jackson S T, Webb T, Prentice I C, *et al.* Exploration and calibration of pollen/vegetation relationships: a P C

program for the extended R-value models. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 1995, **84**: 365~374.

[25] Westoby M. A leaf-height-seed (LHS) plant ecology scheme. *Plant and soil*, 1998, **199**: 213~227.

[26] Foster S A. On the adaptive value of large seeds for tropical moist forest trees: a review and synthesis. *Bot. Rev.*, 1986, **52**: 260~299.

[27] Armstrong D P, Westoby M. Seedling from large seeds tolerates defoliation better: A test using phylogenetically independent contrasts. *Ecol.*, 1993, **74**(4): 1092~1100.

[28] Rees M. Trade-offs among dispersal strategies in British plants. *Nature*, 1993, 366:150~152.

[29] Thompson K. Do big plants have big seeds? *Amer. Nat.*, 1989, **133**(5): 722~728.

[30] Leishman M R, Westoby M. Hypotheses on seed size: tests using the semiarid flora of western New South Wales, *Australia. Amer. Nat.*, 1994, **43**: 890~906.

[31] Keeley J E. Seed germination and life history syndromes in the California chaparral. *Bot. Rev.*, 1991, **57**: 81~116.

[32] Kelly C K, Purvis A. Seed size and establishment conditions in tropical trees: on the use of taxonomic relatedness in determining ecological patterns. *Oecologia*, 1993, **94**: 356~360.

参考文献

[21] 柯文山, 钟章成. 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**: 697~701.

[22] 郭柯, 李睿, 等. 锐齿槲栎橡子埋藏深度对发芽、幼苗出土和发育的影响. *植物学报*, 2001, **43**: 974~978.

《生态学报》2004 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的综合性学术刊物,创刊于 1981 年。主要报道动物生态、植物生态、微生物生态、农业生态、森林生态、草地生态、土壤生态、海洋生态、淡水生态、景观生态、区域生态、化学生态、污染生态、经济生态、系统生态、城市生态、人类生态等生态学各领域的学术论文;特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;原创性研究报告和研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。为促进学术、科研信息的交流,欢迎踊跃投稿。

《生态学报》为月刊,176 页,2004 年改为大 16 开本,信息容量由 36 万字增加到 44 万字,期定价 45 元,年定价 540 元。全国各地邮局均可订阅,望广大读者互相转告,以便及时订阅。

地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 《生态学报》编辑部 电话 (010)62941099 E-mail: Shengtaixuebao@sina.com或 Shengtaixuebao@mail.rcees.ac.cn

本刊国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670,标准刊号:ISSN1000-0933/CN11-2031/Q