

文章编号:1000-8551(2011)04-0724-06

四倍体刺槐种子形态及结构变异研究

孙宇涵¹ 姜金仲^{1,2} 李 云¹ 孙 鹏¹ 薛诺稳³(1. 北京林业大学生物科学与技术学院,北京林业大学林木育种国家工程实验室,
北京林业大学林木花卉遗传育种教育部重点实验室,北京 100083;

2. 贵州师范学院森林植物研究所,贵州 贵阳 550018;3. 嵩县林业局,河南 嵩县 471400)

摘要:对四倍体刺槐种子进行观测和解剖,结果证明:四倍体刺槐种子单粒重、有胚率和萌发率分别是二倍体刺槐的26.3%、30.1%和6.3%;单粒重10mg以上的种子(比例4.41%)萌发率达62.28%,小于7mg(比例84.97%)的种子就完全失去了萌发力。四倍体刺槐种胚重量、胚乳重量、种皮重量及三者的构成比例均明显不同于二倍体刺槐;四倍体刺槐的种子最大单胚重量、种皮重量明显小于二倍体刺槐,当单粒重小于8mg时,种子胚乳重量也显著低于二倍体刺槐;二倍体刺槐种胚、胚乳及种皮重量接近等比(分别为34.60%、33.22%和32.18%),但四倍体刺槐的种胚及胚乳所占比例随单粒重降低显著降低、种皮所占比例随单粒重的降低显著增高,且种皮所占比例明显大于二倍体刺槐种子。

关键词:刺槐;同源四倍体;种子结构变异;种子发芽率

MORPHOLOGICAL AND STRUCTURAL VARIATION OF SEEDS FROM TETRAPLOID *Robinia pseudoacacia*

SUN Yu-han¹ JIANG Jin-zhong^{1,2} LI Yun¹ SUN Peng¹ XUE Nuo-wen³(1. National Engineering Laboratory for Tree Breeding, Key Laboratory for Genetics and Breeding in Forest Trees
and Ornamental Plants, Ministry of Education, College of Biological Sciences and Biotechnology, Beijing Forestry

Beijing 100083; 2. Forest plant graduate school, Guizhou normal college, Guiyang, Guizhou 550018;

3. Songxian Forestry Bureau, Songxian county, Songxian, Henan 471400)

Abstract: The seeds from the tetraploid *Robinia pseudoacacia* (TRP) were observed and dissected within successive 3 years. The individual seed weight, embryo rate and germination rate of TRP were 26.3%, 30.1% and 6.3% of the diploid *Robinia pseudoacacia* (DRP), respectively. The germination rate of seeds varied with the weight of individual seed; the seed weight more than 10mg (account for 4.41%) had the germination rate of 62.28%, whereas the weight less than 7mg lost their germination ability. The embryo, seed coat and endosperm weight of seed from TRP were all significantly different from DRP. The maximum seed endosperm weight and seed coat weight of TRP were significantly lower than that of DRP, and the TRP endosperm weight was also remarkably lower than that of DRP when the individual seed weight was less than 8mg. The weight of embryo, seed coat and endosperm of seed from the DRP were almost equal, accounting for 34.60%, 33.22%, 32.18% of the total weight, respectively. However, for the TRP seed, the weight percentages of both embryo and endosperm reduced and the weight percentages of seed coat rose with the

收稿日期:2010-12-06 接受日期:2011-03-26

基金项目:行业专项(201004009),贵州省自然科学基金(黔科合J字[2010]2047),国家自然科学基金(30771747),“十一五”国家科技支撑项目(2006BAD01A6010)

作者简介:孙宇涵(1983-),男,吉林长春人,在读博士,主要从事林木遗传育种研究。E-mail:syh831008@163.com。

通讯作者:李 云(1963-),男,河北蔚县人,博士,教授,博士生导师,主要从事林木遗传育种与生物技术研究。Tel: 010-62336094; E-mail:yunli63@163.com

declining of the weight of individual seed, and the percentage of seed coat from TRP were much larger than that from DPR

Key words: *Robinia pseudoacacia*; autotetraploid; seed structure variation; seed germination rate

四倍体刺槐(4X)是由人工诱导二倍体(2X)刺槐(*Robinia pseudoacacia*)体细胞加倍育成的刺槐同源四倍体^[1],其叶片大而肥厚、营养丰富、适应性强、生物质量高,是一适用于饲料栽培的刺槐优良无性系^[2]。李云^[3]、张国君^[4,5]、郝晨^[6]等曾对四倍体刺槐的营养价值、青贮饲料及大小孢子发育时期与花器形态的相关性进行了研究;姜金仲等^[7,8]对四倍体刺槐花器成熟表型及种胚变异进行了研究,结果表明,四倍体刺槐与其他植物同源四倍体^[9,10]一样,雄配子及种胚存在明显变异。

雄配子的变异会影响合子细胞及极核的发育,受影响的合子细胞及极核分别会进一步影响胚及胚乳的发育,胚及胚乳是种子的主要组成部分,二者的发育受到影响,必然会使种子形态、萌发率及结构产生相应的变异。本文首先探讨了四倍体刺槐种子在形态、萌发率及有胚率方面与二倍体刺槐(雄配子及种胚均正常的对照)的差异以及四倍体刺槐自身不同量阶种子在上述诸方面的差异;其次,探讨了四倍体刺槐不同重量级别种子之间在解剖结构及萌发率方面的差异,并初步探讨了产生这些差异的原因,为进一步研究四倍体刺槐种子不育的原因奠定基础,也为研究植物染色体同源加倍对种子结构发育的影响提供素材。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验材料采自北京林业大学四倍体刺槐和二倍体

刺槐试验林基地(位于北京市延庆县,地势平坦,黄棕壤,暖温带亚湿润气候区,年平均气温 11.5℃,年平均降雨量 568.9mm,冬春两季多干旱)8 年生纯林(由同一无性系苗木营造而成),林子占地 0.27km²、已连续开花 5 年,林中四倍体刺槐原种系北京林业大学于 1997 年从韩国引进,经组织培养育苗后又经根插繁殖育苗,然后用于造林。每年按照试验设计从具有典型四倍体刺槐特征的代表性单株上采集试验所用材料。

1.2 试验方法

1.2.1 不同倍性种子特性比较 2005 年至 2008 年间,每年冬季种子充分成熟时采集试验用种子样本:首先随机从林分(即由相似林木个体及相近环境条件构成的一片林子)中挑选样本树 30 株,再在每树冠中部 4 个方向上各随机摘取豆荚 10 个以上,将采回的豆荚分株包装,手工剥取种子备用。从采集的种子中随机抽取 300 粒,用天平和游标卡尺测定种子的单粒重及长度,并在解剖镜下对每粒种子解剖,统计种子的长度、单粒重、有胚率及发芽率等指标。

1.2.2 种子发芽试验 随机抽取 50 粒种子为一处理样本,将样本种子泡入 90℃ 温水,然后让其自然冷却,48h 后捞出,与经过 150℃ 高温消毒的河沙混合贮藏催芽^[11]。贮藏条件:黑暗、27℃、相对湿度 85%,催芽 72h 后取出统计发芽率,重复 3 次。

1.2.3 种子分级 大量种子测定表明,四倍体刺槐的种子单粒重集中分布在 0.0030 ~ 0.0100g 之间,以每 0.001g 为 1 个量阶,将种子分为 9 个量阶(见表 1)。

表 1 四倍体刺槐种子不同量阶的标准

Table 1 Standard of seed in different weight degrees for tetraploid *Robinia pseudoacacia*

量阶编号 weight degree	量阶 1 No. 1	量阶 2 No. 2	量阶 3 No. 3	量阶 4 No. 4	量阶 5 No. 5	量阶 6 No. 6	量阶 7 No. 7	量阶 8 No. 8	量阶 9 No. 9
种子重量 seed weight(g)	<0.003	0.003 ~ 0.004	0.004 ~ 0.005	0.005 ~ 0.006	0.006 ~ 0.007	0.007 ~ 0.008	0.008 ~ 0.009	0.009 ~ 0.010	>0.010

1.2.4 种子解剖 从上述量阶 5、6、7、8、9 等 5 个量阶中,分别各随机选取 50 粒种子作为种子解剖样本,将用于解剖的种子放入自来水中充分浸泡至完全吸胀后捞出,在 LAICA 解剖镜下进行解剖,将解剖得到的种子各组分用分析天平分别称重,求算各量阶 50 粒种子的种胚重、种皮重、胚乳重等指标的平均数。无胚率

(%)为无胚种子占观测种子总数的百分比,发芽率(%)为发芽种子占观测种子总数的百分比。

为保证种子和种子各解剖组分具有相同的含水量,种子和解剖组分均放入底部铺有湿滤纸的培养皿内,解剖后称重时,随时从中取出。

每年进行一次上述试验,连做 3 年,共 3 次,上述

每个指标得到3个数据(50粒种子的平均数),用每个指标的3个数据(作为重复)进行不同量阶在上述各指标方面的差异显著性分析。

1.3 数据处理

所有数据处理均由SPSS13.0软件完成。

2 结果与分析

2.1 四倍体刺槐种子形态变异

2.1.1 四倍体刺槐种子综合性状与二倍体刺槐的差异 四倍体刺槐与二倍体刺槐的种子综合性状差异见表2。由表2可以看出,四倍体刺槐的种子比二倍体刺槐明显小,平均单粒重仅是二倍体刺槐种子平均单粒重的26.3%;四倍体刺槐种子的有胚率和发芽率远低于二倍体刺槐种子的,分别是二倍体刺槐相应指标

平均数的30.1%和6.3%。四倍体刺槐种子在体积、重量、有胚率及萌发率方面较二倍体刺槐种子均发生了明显的降低变异。

2.1.2 四倍体刺槐不同量阶种子综合性状的差异

在比较四倍体刺槐种子与二倍体刺槐种子的差别时发现,四倍体刺槐种子自身也存在明显的变异,为了研究这种变异,按照四倍体刺槐的种子重量将其种子分成不同量阶,不同量阶的种子形态从高量阶到低量阶呈连续变化(图1):种子体积逐渐变小,种子颜色由黑色到黄色。各量阶种子在整个种子中所占比例从量阶1到量阶9呈下降趋势,量阶较高的种子比例很少(图2),量阶9的种子只占4.41%,1~6量阶的种子比例却高达84.97%;种子萌发率随量阶下降而逐渐下降,量阶9最高,萌发率为62.28%,量阶6以下萌发率均为零。

表2 四倍体刺槐及二倍体刺槐种子综合性状平均数比较

Table 2 The synthetical character of seeds from four diploid and autotetraploid

亲本 parent	平均长度 average length (mm)	平均单粒重 average weight (mg)	平均有胚率 average embryo rate (%)	平均发芽率 average germination rate (%)
二倍体刺槐的种子 seed from DRP	5 ± 0.04B	19.57 ± 0.12B	89.8 ± 2.47B	83.2 ± 13.2B
四倍体刺槐的种子 seed from TRP	2.6 ± 0.01A	5.26 ± 0.21A	28.17 ± 0.92A	5 ± 0.04A

注:DRP:二倍体刺槐;TRP:四倍体刺槐。表中平均数为2005,2006,2007共3年观测值的平均数。表中不同字母表示差异显著($P < 0.01$)。表中“率”的方差分析进行了反正弦转换。

Note: DRP: diploid *Robinia pseudoacacia*; TRP: tetraploid *Robinia pseudoacacia*. The average were based on the observed values of 2005, 2006 and 2007. Different letters indicate significant difference ($P < 0.01$). When analysis of variation of “rates” in the table was done, the data was transformed with arc sine.

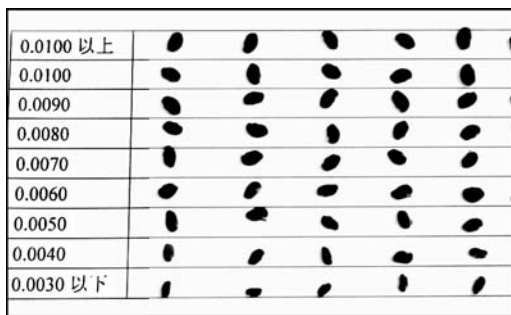


图1 不同量阶的种子形态

Fig. 1 Seed morphology of different weight degrees

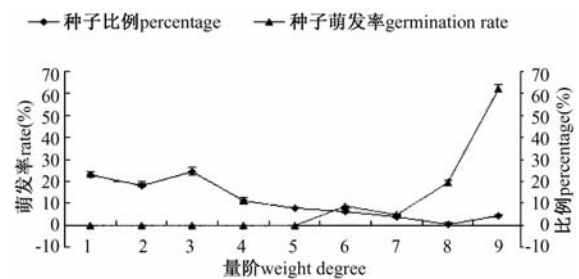


图2 各量阶种子比例及萌发率

Fig. 2 Percentage and germination rate of seed from different weight degrees

2.2 四倍体刺槐不同量阶种子的解剖特征

由图2可以看出,最高量阶种子的萌发率远大于次高量阶,次高量阶种子萌发率明显大于其他低量阶,为了探讨引起这种量阶间差异的原因,对种子进行了解剖分析。由于单粒重小于7mg的种子彻底丧失了生命力,几乎没有完整的种胚,所以,本研究只对7mg

(量阶5)以上的种子进行了解剖分析。

2.2.1 种子综合解剖特征 四倍体不同量阶种子及二倍体刺槐种子的解剖特征见表3。由表3可以看出:除量阶6外,种胚重量随着量阶降低而明显降低;种皮重量也随着量阶降低而降低,但降低幅度较小,不具统计显著性;除量阶7外,胚乳重量随量阶降低而大

表 3 各量阶种子解剖特征

Table 3 Anatomical character of seed from different weight degrees

四倍体刺槐的种子量阶 seed weight degree from TRP	种胚重 embryo weight (mg)	种皮重 seed coat weight(mg)	胚乳重 endosperm weight(mg)	无胚率 non-embryo(%)	发芽率 germination rate(%)
9	8.9 ± 0.6 b	12.2 ± 0.6 b	20.2 ± 8.2 a	10 ± 0.5 bc	62.3 ± 1.5 b
8	6.4 ± 0.9 bc	12.5 ± 0.4 b	5.5 ± 0.7 abc	10 ± 0.2 bc	19.2 ± 1.1 bc
7	4.6 ± 0.7 bc	12.6 ± 0.8 b	7.1 ± 3.2 abc	30 ± 0.6 b	4.9 ± 0.5 bd
6	4.7 ± 0.6 bc	11.0 ± 0.8 b	4.0 ± 0.5 bc	10 ± 0.4 c	8.6 ± 0.2 bd
5	3.1 ± 0.2 c	11.2 ± 0.3 b	2.5 ± 0.2 bc	30 ± 0.3b	0
CK	16.8 ± 2.0 a	16.2 ± 0.8 a	15.7 ± 1.7 a	5 ± 0.2 a	85.1 ± 2.5 a

注:表中不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。表中“率”的方差分析进行了反正弦转换。CK:二倍体刺槐的种子。

Note: Different letters indicate significant difference at $P < 0.05$. When analysis of variation of “rates” in the table were done, the data were transformed with arc sine. CK: seeds from DRP

幅度地降低;无胚率随量阶变化规律性不强;除量阶 6 外,发芽率随量阶降低而大幅度地降低。

四倍体刺槐不同量阶种子之间在上述诸方面的显著差异,反映出四倍体刺槐种子的种胚、胚乳及子叶数目的发育是不稳定的;而不同量阶种皮重差异不显著,则反映出四倍体刺槐种皮发育的相对稳定性。

由表 3 还可以看出,四倍体刺槐种胚重量(最大 8.9mg)及种皮重量(最大 12.6mg)明显低于二倍体刺槐的相应重量(16.8 和 16.2mg);除量阶 5 和量阶 6 的胚乳重量显著低于二倍体刺槐外,其他量阶中四倍体刺槐(20.2mg)与二倍体刺槐(15.7mg)没有显著性差异;四倍体刺槐各量阶的种子无胚率均高于二倍体刺槐;四倍体刺槐量阶 9 以下的种子的子叶数目异常率明显高于二倍体刺槐;四倍体刺槐的各量阶种子发芽率均显著低于二倍体刺槐。

由上述结果可以看出:四倍体刺槐种胚重量、种皮

重量及种子有胚率较二倍体刺槐有了明显降低,而发芽率较高的($> 19.2\%$)四倍体刺槐种子的胚乳重量与二倍体刺槐则没有显著性差异。

2.2.2 种子综合解剖性状之间的相关关系 为从解剖数据探索四倍体刺槐种子发芽率降低的原因,对表 3 中各解剖特征进行了相关关系分析,结果见表 4。

发芽率与量阶、种胚重及胚乳重均呈现出显著的正相关关系,说明种子量阶、种胚重及胚乳重降低会导致种子的发芽率降低,因此,它们较二倍体刺槐的降低可能是四倍体刺槐发芽率降低的主要原因。

发芽率与种皮重没有显著的相关关系,说明种皮重量对种子的发芽率没有显著的影响。

胚乳重及种胚重二者之间存在显著的正相关关系,说明二者是相长的;胚乳是种胚所需营养的主要供给者,其发育的好坏会通过影响种胚的发育而影响四倍体刺槐种子的发芽率。

表 4 解剖性状与发芽率相关系数

Table 4 Correlation coefficient between anatomical character and germination rate

项目 item	量阶 weight degree	种胚重 embryo weight (mg)	种皮重 seed coat weight (mg)	胚乳重 endosperm weight (mg)	无胚率 non-embryo rate (%)	发芽率 germination rate (%)
量阶 weight degree	1					
种胚重 embryo	0.9177 *	1				
种皮重 seed coat	0.7595 *	0.4742	1			
胚乳重 endosperm	0.7555 *	0.8988 *	0.3924	1		
无胚率 non-embryo	-0.5738	-0.6964	0.0290	-0.3958	1	
发芽率 germination rate	0.7868 *	0.9594 *	0.3133	0.9588 *	-0.5990	1

注:“*”为相关显著,显著性标准为 $R = 0.7067, f = 5, P < 0.05$ 。

Note: “*” indicates significant correlation, significance standard; $R = 0.7067, f = 5, P < 0.05$ 。

2.3 四倍体刺槐种胚、种皮及胚乳重量的比例关系

2.3.1 不同量阶种子的种胚、种皮及胚乳构成比例

不同量阶种子种胚、种皮及胚乳重量占种子总重的百分比见图 3。从图 3 可以看出,二倍体刺槐种胚、种皮及胚乳占种子总重的配比比较接近(分别为

34.60%, 33.22% 和 32.18%),但四倍体刺槐种子三者所占比例则差异很大。

四倍体刺槐不同量阶种子的种胚重量在整个种子重量中所占比例比较接近,但明显低于二倍体刺槐;其中量阶 9 种胚所占比例并不是最高的,但其发芽率却

高达 62.3%, 虽然与二倍体刺槐种子发芽率(85.1%)有差距, 但相对于其他量阶, 差距缩小很多。可见(如果把二倍体刺槐的比例视为适宜比例的话), 虽然四倍体刺槐种胚比例的改变对其种子萌发率会有一定影响, 但并不是决定因素。

四倍体刺槐不同量阶种子的胚乳所占比例随着量阶降低而明显降低, 当胚乳比例低于二倍体刺槐时, 种子的萌发率就会明显降低, 当比例小于 15% 时, 种子就完全丧失了发芽率; 但随其比例增高, 种子发芽率有提高的趋势; 量阶 9 的胚乳比例高于二倍体刺槐, 其种子萌发率较为接近二倍体刺槐, 这种现象说明, 在种子的 3 种组分中、胚乳的比例可以大于正常(二倍体刺槐)比例, 但不能明显低于正常比例, 胚乳所占比例的阈值对于种子的发芽率具有决定性作用。

在量阶 9 中, 虽然四倍体刺槐种子胚乳的绝对重量足够大(是胚重的 2.28 倍, 是二倍体刺槐种子胚乳的 1.29 倍), 但并未使四倍体刺槐种胚发育得更大些, 这说明胚乳并不是导致四倍体刺槐种胚重量小于二倍体刺槐的原因, 因而, 四倍体刺槐种胚较二倍体刺槐小很多(最重的四倍体刺槐胚也仅有二倍体刺槐的 53%, 见表 3)应该另有原因。

四倍体刺槐不同量阶种皮所占的百分比无显著性差异($P < 0.05$), 但随着量阶的降低有增高的趋势, 当种皮比例增高到大于二倍体刺槐种皮百分比时, 种子萌发率明显降低, 在种皮比例达到 67% 时, 种子就完全失去了生命力(见表 3、图 3)。

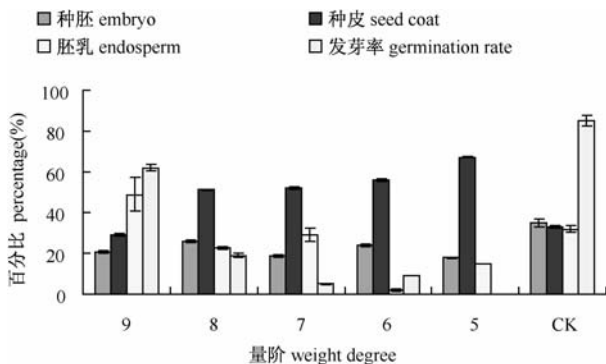


图 3 种子各组成成分占种子总重的百分比

Fig. 3 Percentage of seed components

CK: 二倍体刺槐的种子 CK: seeds from diploid

综上所述, 四倍体刺槐种胚、种皮及胚乳三者的比例较二倍体刺槐有了明显的改变, 不同量阶间改变的情况不同; 三者比例的改变是四倍体刺槐种子发芽率降低的部分原因, 尤其是胚乳及种皮比例的改变对四倍体刺槐种子发芽率有着重要影响。

2.3.2 四倍体刺槐种胚、种皮及胚乳相关性与二倍体刺槐的比较 四倍体刺槐种子与二倍体刺槐种子均由种胚、种皮及胚乳 3 部分构成, 但二者的 3 种构成成分之间的相关系数具有明显的差异(表 5)。在二倍体刺槐种子中, 种胚重仅与胚乳重呈显著性正相关, 而与种皮重关系不紧密; 在四倍体刺槐种子中, 种胚重不仅与胚乳重有显著的正相关关系, 同时也受到种皮重的显著负向作用, 而且种皮重与胚乳重也有显著的负相关关系。

表 5 来自不同倍性亲本的种子解剖性状的相关系数

Table 5 Correlative coefficient of anatomical character of seeds from different ploidy parents

项目 item	种胚重 embryo weight (mg)	种皮重 coat weight (mg)	胚乳重 endosperm weight (mg)
种胚重 embryo weight		0.4726	0.9897*
种皮重 seed coat weight	<u>-0.8717*</u>		0.5078
胚乳重 endosperm weight	0.9903*	<u>-0.8291*</u>	

注: 下划线为四倍体刺槐数据, 其他为二倍体刺槐数据; 显著指标为 $R = 0.6021, f = 9, P < 0.05$ 。

Note: Underlined data were from seed of tetraploid and the others were from seed of diploid; significance standard: $R = 0.6021, f = 9, P < 0.05$.

3 讨论

四倍体刺槐种子单粒重仅是二倍体刺槐的 26.3%, 明显小于二倍体刺槐种子, 这种现象与其他植物同源四倍体的情况相比表现出了特异性。大麦四倍体原种的千粒重均高于其二倍体亲本, 平均高出 59.0%^[12]; 四倍体板蓝根种子千粒重比二倍体的大^[13]; 鲁梅克斯(*Rumex patientia* Linn.) 四倍体种子千粒重为 4.276g, 二倍体为 2.978g^[14]; 四倍体薄皮甜瓜种子千粒重 65.4g, 二倍体种子千粒重 52.8g^[15]; 四倍体荞麦的千粒重比二倍体荞麦增重 50% 左右^[16] 等。

四倍体刺槐种子的发芽率仅是二倍体刺槐种子的 6.3%, 明显低于二倍体刺槐。从有关植物同源四倍体种子萌发率的报道可以看出, 大部分植物同源四倍体种子的萌发率是降低的, 这一点四倍体刺槐的结果与前人的结果是一致的, 如板蓝根^[13] 及薄皮甜瓜^[15] 二倍体高于四倍体种子萌发率等。

四倍体刺槐不同量阶之间种皮的绝对重量远远小于种子的另外 2 种组分, 而二倍体刺槐种子的比例则

比较稳定;这种现象可以理解为:由于种皮是母体组织的一部分,种胚和胚乳是受精后的产物,种子形成过程中,母体的基因型不会发生改变,而种皮的发育受控于母体的基因,所以,种皮重量比例能在不同量阶之间保持相对一致,但种胚和胚乳的基因型则因受精过程及减数分裂的随机性而有所不同,所以,四倍体刺槐不同种子之间二者的基因型会有一定的差异,导致四倍体刺槐不同量阶种子之间种胚和胚乳重量差别较大。这从一个方面证实了四倍体刺槐有性过程的复杂性远大于二倍体刺槐。

图1中6、7、8、9量阶种子之间体积差别不大,似乎量阶之间的分类存在重叠,但从不同量阶种子的颜色、解剖组分构成、有胚率及发芽率看,这些量阶之间在不同指标上是有差异的。虽然其中部分指标的差异达不到显著性水平,但分类结果还是初步反映了四倍体刺槐种子存在的问题;对四倍体刺槐种子进行这样的分类只是出于本文研究的需要,可能不具四倍体刺槐种子分类普遍意义,如作他用,还需进一步完善。

4 结论

四倍体刺槐种子单粒重、有胚率和发芽率分别是二倍体刺槐种子的26.3%、30.1%和6.3%。四倍体刺槐不同量阶(从高量阶到低量阶)种子的综合性状为:种子体积及重量逐渐变小、所占比例逐渐增大,种子萌发率逐渐降低、单粒重小于7mg时,种子就完全失去了萌发力。

四倍体刺槐种胚重量、胚乳重量和种皮重量及三者的构成比例均明显不同于二倍体刺槐。二倍体刺槐种子胚重、种皮重及胚乳重三者的比例几乎相等,但四倍体刺槐种胚及胚乳比例随着量阶降低而降低;四倍体刺槐种皮所占比例(其中量阶5的比例最大为67%)远大于二倍体刺槐种子(33%)。

二倍体刺槐种胚重只与胚乳重呈现显著的正相关关系,四倍体刺槐种胚重不仅与胚乳重有显著的正相

关关系,同时也受到种皮重的显著负向作用,而且种皮重与胚乳重也有显著的负相关关系。

参考文献:

- [1] Kim C S. Studies on the colchitetraploids of *Robinia pseudoacacia* L [J]. Research Report of the Institute of Forest Genetics. Korea, 1975, 12:108
- [2] 李云,姜金仲.我国饲料型四倍体刺槐研究进展[J].草业科学,2006,23(1):41-46
- [3] 李云,张国君,路超,刘书文.四倍体刺槐不同生长时期和部位的叶片的饲料营养价值分析[J].林业科学研究,2006,19(5):580-584
- [4] 张国君,李云,姜金仲,路超.饲料型四倍体刺槐叶粉营养价值的比较研究[J].草业科学,2007,24(1):26-30
- [5] 张国君,李云,姜金仲,路超,孟炳南.饲料型四倍体刺槐青贮饲料研究初报[J].西南林学院学报,2007,27(6):53-56
- [6] 郝晨,李云,姜金仲,刘洋.四倍体刺槐大小孢子发育时期与花器形态的相关性[J].核农学报,2006,20(4):292-295
- [7] 姜金仲,郝晨,李云,张国君,贺佳玉.四倍体刺槐花器原基分化及其成熟表型变异[J].林业科学,2008,44(6):34-38
- [8] 姜金仲,贺佳玉,李云,楼莎,严艳华.四倍体刺槐种子胚变异及生活力分析[J].核农学报,2009,23(3):405-412
- [9] 代西梅,黄群策,李国平,秦广雍.同源四倍体水稻花粉的发育特征[J].中国水稻科学,2006,20(2):165-170
- [10] Ramsey J. Unreduced gametes and neopolyploids in natural populations of *Achillea borealis* (Asteraceae) [J]. Heredity, 2007, (98): 143-150
- [11] 姜金仲,李云,贺佳玉,李谷悦,王巍.四倍体刺槐种子促萌技术研究[J].北京林业大学学报,2008,30(5):104-108
- [12] 蒋华仁,刘镛山.同源四倍体大麦的产量性状和蛋白质含量研究[J].四川农业大学学报,1994,(3):418-422
- [13] 谢晓亮,温春秀.不同板蓝根种质比较研究[J].华北农学报,2007,22(增刊):126-130
- [14] 赵晓明,乔永刚.秋水仙素诱导鲁梅克斯四倍体的研究[J].中国草地学报,2007,29(3):109-111
- [15] 孙媛媛,金荣荣.不同倍性薄皮甜瓜种子和幼苗形态观察[J].民营科技,2008,(4):110-111
- [16] 朱必才,高立荣.同源四倍体荞麦的研究[J].遗传,1988,10(6):6-8

(责任编辑 王媛媛)