

网络出版时间:2018-05-25 09:43

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2018.11.012

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20180525.0940.024.html>

一串红种子黏液对其基本性状及萌发的影响

赵正楠,李进宇,刘倩,卜燕华,蔺艳

(北京市园林科学研究院 绿化植物育种北京市重点实验室,北京 100102)

【摘要】【目的】研究种子黏液对一串红种子基本性状和萌发的影响,为一串红种苗生产提供支持。【方法】以一串红‘奥运圣火’有黏液和无黏液种子为材料,研究了黏液对种子基本物理性状、吸水 and 失水特性、粘土能力、萌发特性和植株主要观赏性状的影响。【结果】吸水后,一串红有黏液种子的平均长度、宽度、厚度和质量均显著增大,而无黏液种子仅平均长度和宽度显著增大。黏液可以增强一串红种子的粘土能力,粘土后有黏液干种子的平均质量是无黏液干种子的 9.3 倍。与无黏液种子相比,黏液可以促进一串红种子吸收大量水分,减缓种子水分散失。黏液种子在吸水 100 min 时可以达到饱和状态,吸收的水分是自身质量的 6.81 倍,在室温条件下经过 36 h 脱水才能达到质量恒定;无黏液种子在吸水 60 min 时可达到饱和状态,吸收的水分是自身质量的 0.59 倍,经 3 h 脱水即可达到质量恒定。一串红有黏液种子发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、根长、苗长均显著高于无黏液种子,发芽持续时间显著短于无黏液种子。种子黏液对一串红主要观赏性状无显著影响。【结论】黏液对一串红种子萌发特性有明显影响,有利于一串红种子的萌发和成苗。

【关键词】 一串红; 种子黏液; 种子萌发; 种子活力

【中图分类号】 S681.401

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2018)11-0089-07

Effects of seed mucilage on its basic characters and germination traits of *Salvia splendens*

ZHAO Zhengnan, LI Jinyu, LIU Qian, BU Yanhua, LIN Yan

(Beijing Key Laboratory of Greening Plants Breeding, Beijing Institute of Landscape Architecture, Beijing, 100102, China)

Abstract: 【Objective】 This study investigated the effects of mucilage on seed basic characters and germination traits of *Salvia splendens*. 【Method】 The influences of mucilage on seed basic physical traits, water absorption, dehydration features, soil adhesion ability, germination traits, main ornamental characters of *S. splendens* variety “Olympic flame” were studies using seeds with and without mucilage. 【Result】 The average seed length, seed width, seed thickness and seed weight were significant increased after water absorption in mucilaginous seeds. The average seed length and seed width were significantly increased in non-mucilaginous seeds. The mucilage improved the ability of soil adhesion. The average weight of mucilaginous seed was 9.3 times as much as the weight of non-mucilaginous seed. The mucilage improved the ability of water absorption and slowed down dehydration. It took 100 min for mucilaginous seeds to reach water saturation station, and the weight was 6.81 times as much as its own weight. The dehydration lasted for 36 h. It took 60 min for non-mucilaginous seeds to reach water saturation station, and the weight was 0.59 times

【收稿日期】 2017-08-07

【基金项目】 北京市公园管理中心项目“几种花卉种子丸粒化产品研发”(ZX2015021)

【作者简介】 赵正楠(1985—),女(满族),内蒙古通辽人,工程师,硕士,主要从事园林植物育种及种子采后处理研究。

E-mail: zhengnan2079@163.com

as much as its own weight. The dehydration lasted for 3 h. The germination energy, germination rate, germination index, vigor index, root length and seedling length of mucilaginous seeds were significantly higher than those of non-mucilaginous seeds, and the germination time of mucilaginous seeds was significant shorter than that of non-mucilaginous seeds. The mucilage had no effect on plant main ornamental characters. 【Conclusion】 The mucilage affected the seed germination significantly and it improved the abilities of seed germination and emergence of seedlings of *S. splendens*.

Key words: *Salvia splendens*; seed mucilage; seed germination; seed vigor

种子黏液(Mucilage)是一种由种皮外层细胞高尔基体产生的可以吸水膨胀的多糖物质^[1]。相关研究表明,种子黏液是种子在长期进化过程中适应环境的结果,可以促进种子传播^[2]、提高种子对干旱的耐受力^[3],与种子萌发有一定相关性^[4]。刘志民等^[5]对科尔沁沙地 124 种植物种子黏液进行甄别,发现种子黏液广泛存在于菊科、车前科、禾本科、亚麻科等种子中。唇形科种子在萌发时也会产生黏液,如丹参种子^[6]、朱唇种子^[7]、甘西鼠尾草种子^[8]等,这些黏液可以促进种子快速大量吸水,以抵御干旱等不良环境的影响。

一串红(*Salvia splendens*)是唇形科(Lamiaceae)鼠尾草属多年生草本花卉,常作 1 年生栽培,其花色鲜艳、花序修长,在园林绿化中被广泛应用。一串红主要依靠种子繁殖,且用种量较大。系统地研究一串红种子萌发的相关影响因素,是提高一串红种子质量、促进一串红种苗生产及加快一串红在园林绿化中应用的重要手段。现阶段对一串红种子萌发相关因素研究主要集中在内含物^[9]、超干处理^[10]、外源激素^[11]和不同元素^[12]对种子萌发的影响等方面,而关于黏液对其种子生长影响的研究还较少。为此,本研究分析了一串红种子黏液特性及其对种子萌发和种子活力的影响,旨在探明种子黏液在种子萌发中的作用,进而为一串红种苗生产提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验材料为一串红‘奥运圣火’种子,于 2015 年秋季收获于北京市园林科学研究院,在 4 ℃种子库中贮存,种子初始含水率为 8.6%,初始发芽率为 85%。

将该品种未经任何处理的种子作为本试验的有黏液种子,无黏液种子的制备方法参考文献[4],基本步骤为:取一定量的一串红‘奥运圣火’有黏液种子,在去离子水中浸泡 1 h,然后用纱布慢慢磨去黏

液物质,直到下次浸水后观察不到黏液层,即得到无黏液种子。

1.2 试验方法

1.2.1 有黏液和无黏液一串红种子物理性状的比较 分别将有黏液和无黏液种子在 60 ℃电热鼓风干燥机中干燥 24 h,待种子温度降至室温后,测量有黏液和无黏液种子的平均长度、平均宽度、平均厚度和平均质量;之后将 2 种种子在室温(25 ℃)条件下以 100 粒种子为 1 个重复,放入 100 mL 三角瓶中,加入 50 mL 去离子水,吸水处理 120 min,测量吸水后的有黏液种子和无黏液种子的平均长度、平均宽度、平均厚度和平均质量,种子黏液质量为同种处理条件下有黏液种子与无黏液种子的质量之差。上述试验均重复 3 次。

1.2.2 黏液对一串红种子粘土能力的影响 在室温(25 ℃)条件下,分别对有黏液和无黏液种子的粘土能力进行测量。具体方法为:将有黏液和无黏液种子在 60 ℃电热鼓风干燥机中干燥 24 h,待温度降至室温后称质量,然后分别将 2 种种子在蒸馏水中完全吸涨,放置到装有干燥原生境土壤的培养皿中进行滚动,直至不会再粘土为止,再将粘附着土壤的种子在 60 ℃电热鼓风干燥机中干燥 24 h,待种子温度降至室温后称质量。以 100 粒种子为 1 个重复,重复 3 次。计算粘土种子质量的增加倍数:

$$\text{粘土种子质量增加倍数} = \frac{\text{粘土后种子干质量}}{\text{粘土前种子干质量}}。$$

1.2.3 种子黏液对一串红种子吸水、脱水性质的影响 将有黏液和无黏液种子在 60 ℃电热鼓风干燥机中分别干燥 24 h,待种子温度降至室温后,将其放入 10 mL 去离子水中,每 20 min 记录 1 次种子质量的变化,分别绘制有黏液和无黏液种子的室温吸水曲线,将种子质量不再变化时的状态称为饱和吸水状态。将吸水饱和的种子于室温(23~25 ℃)条件下脱水,每 1 h 称量 1 次质量直至 8 h,之后每 8 h 称质量 1 次,直到种子质量不再发生变化为止。绘制单粒有黏液种子和无黏液种子的吸水、脱水曲线。

每个重复 100 粒种子,共重复 3 次取平均值。

1.2.4 种子黏液对种子萌发、种子活力的影响 对有黏液和无黏液种子进行 25 ℃ 条件下的标准发芽试验,每 100 粒种子作为 1 个重复,每个材料重复 3 次,记录发芽持续时间、每天发芽数,并在发芽进行 14 d 时测定幼苗的根长 (root length, RL)、苗长 (seeding length, SL),计算发芽势 (germination energy, GE)、发芽率 (germination rate, GR)、发芽指数 (germination index, GI) 和活力指数 (vigor index, VI)。其计算公式分别为:

$$GE=\frac{7\text{ d 内种子发芽数}}{\text{供试种子总数}}\times 100\%;$$
$$GR=\frac{14\text{ d 内种子发芽数}}{\text{供试种子总数}}\times 100\%;$$
$$GI=\sum\frac{G_t}{D_t};$$
$$VI=GI\times RL。$$

式中: G_t 为第 t 天发芽种子数, D_t 为种子发芽天数;

1.2.5 种子黏液对一串红主要观赏性状的影响 分别将有黏液和无黏液种子在北京市园林科学研究院温室內正常播种、移苗、上盆、养护,定植于直径 20 cm 的花盆中,于盛花期进行主要观赏性状调查,包括株高、冠幅、花穗长、节间长度、叶片长、叶片宽、花萼长、花萼宽、花冠长、花冠宽等。以上指标的具体测量方法参照文献[13]进行,每个性状测量 20 株,

结果取平均值。

1.3 数据处理与分析

采用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 对试验数据进行整理、分析。

2 结果与分析

2.1 黏液对一串红种子基本性状及粘土能力的影响

由表 1 可知,在干燥状态下,有黏液种子与无黏液种子的平均长度、平均宽度、平均厚度、平均质量均无显著差异;吸水后有黏液种子的平均长度、平均宽度、平均厚度、平均质量均显著高于无黏液种子,分别是无黏液种子的 1.4,1.5,2.7,6.3 倍。吸水后有黏液种子的平均长度、平均宽度、平均厚度、平均质量均显著高于其吸水前的干燥状态,分别是吸水前的 1.9,2.4,2.7,8.3 倍。吸水后的无黏液种子平均长度、平均宽度均显著高于吸水前,分别是吸水前的 1.5,1.9 倍;平均厚度、平均质量与吸水前无显著差异。因此,在干燥状态下,种子黏液对种子平均长度、宽度、厚度、质量均无显著影响,但在吸水状态下,有黏液种子的平均长度、平均宽度、平均厚度、平均质量均显著提高,而无黏液种子仅平均长度、平均宽度有显著提高。吸水前、后种子黏液质量增加了 47.6 倍,表明种子黏液可以吸收大量水分。

表 1 有黏液和无黏液一串红种子吸水前后物理性状的比较

Table 1 Comparison of physical properties before and after water absorption of mucilaginous and non-mucilaginous seeds of *S. splendens*

指标 Index	干燥状态 Dry condition		吸水饱和状态 Water absorption condition	
	有黏液种子 Mucilaginous seed	无黏液种子 Non-mucilaginous seed	有黏液种子 Mucilaginous seed	无黏液种子 Non-mucilaginous seed
平均长度/(cm·粒 ⁻¹) Average length	0.35±0.01 c	0.31±0.01 c	0.67±0.06 a	0.48±0.01 b
平均宽度/(cm·粒 ⁻¹) Average width	0.22±0.01 c	0.19±0.01 c	0.53±0.06 a	0.36±0.01 b
平均厚度/(cm·粒 ⁻¹) Average thickness	0.16±0.01 b	0.17±0.01 b	0.43±0.01 a	0.16±0.01 b
平均质量/(g·粒 ⁻¹) Average weight	0.003 4±0.000 1 b	0.002 9±0.000 1 b	0.028 3±0.002 6 a	0.004 5±0.000 3 b

注:同行数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in each row indicate significant different at $P<0.05$ level according to Tukey Test.

由表 2 可知,粘土后有黏液种子质量显著高于无黏液种子。与粘土前相比,粘土后有黏液种子干质量显著增加,而无黏液种子干质量无显著变化。说明黏液可以提高一串红种子的粘土能力。

表 2 黏液对一串红种子粘土能力的影响

Table 2 Effect of mucilage on seed soil adhesion of *S. splendens*

种子类型 Seed type	干种子平均 质量/(g·粒 ⁻¹) Average weight of dry seed	粘土后干种子平均质量/(g·粒 ⁻¹) Average weight of dry seed after adherence of sand particles	质量增加倍数 Number of times seed mass increased
有黏液 Mucilaginous seed	0.003 4±0.000 2 b	0.031 5±0.000 6 a	9.26
无黏液 Non-mucilaginous seed	0.002 9±0.000 1 b	0.003 4±0.000 3 b	1.17

注:同列数据后标不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in each column indicate significant difference at $P<0.05$ level according to Tukey Test.

2.2 黏液对一串红种子吸水、脱水性质的影响

对一串红有黏液种子和无黏液种子分别进行吸水、脱水试验,结果如图 1,2 所示。由图 1,2 可知,随着吸水时间的延长,一串红有黏液种子和无黏液种子的质量均有所增加,有黏液种子在 120 min 时吸水达到饱和,种子质量增加了 0.025 2 g/粒,无黏液种子在 60 min 时吸水达到饱和,种子质量增加了

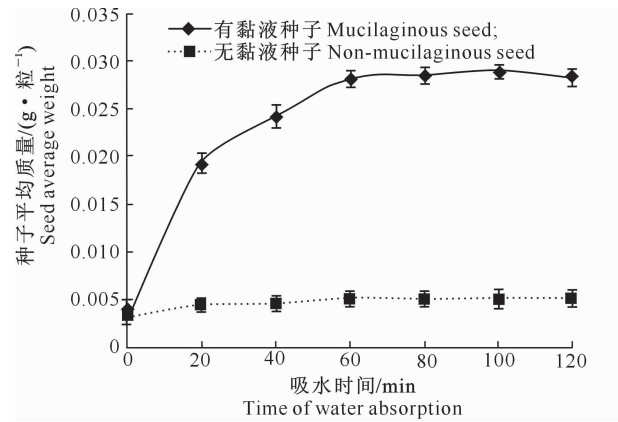


图 1 有黏液和无黏液一串红种子的吸水动态曲线
Fig. 1 Water absorption of mucilaginous and non-mucilaginous seeds of *S. splendens*

2.3 黏液对一串红种子萌发性状的影响

对有黏液和无黏液种子发芽相关性状进行分析,结果见表 3。由表 3 可知,一串红有黏液种子的发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、根长、苗长等萌发性状均明显优于无黏液种子。有黏液种子发芽势较无黏液种子高 28.00%,是无黏液种子的 1.48 倍;有黏液种子发芽率较无黏液种子高 14.00%,是无黏液种子的 1.19 倍;有黏液种子发芽指数较无黏

0.001 9 g/粒。吸水达饱和状态时,有黏液种子吸收的水分是自身质量的 6.81 倍,而无黏液种子吸收的水分是自身质量的 0.59 倍。一串红有黏液种子在处理 36 h 时可脱水至质量恒定,无黏液种子在处理 3 h 时脱水至质量恒定。以上结论表明,黏液可以增加一串红种子吸水质量,延长一串红种子的脱水时间。

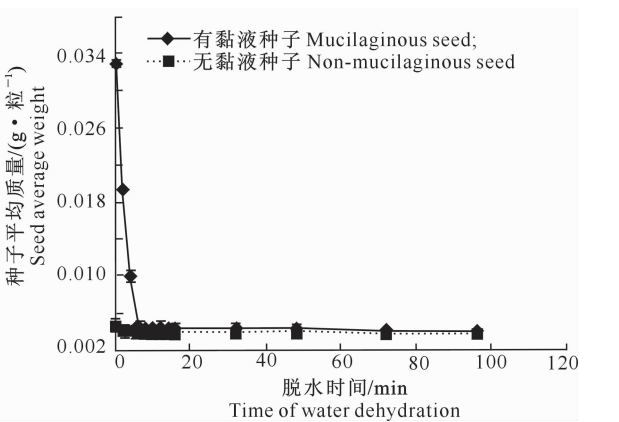


图 2 有黏液和无黏液一串红种子的脱水动态曲线
Fig. 2 Water dehydration of mucilaginous and non-mucilaginous seeds of *S. splendens*

表 3 黏液对一串红种子萌发相关性状的影响

指标 Index	种子类型 Seed type		t 测验 t test		
	有黏液 Mucilaginous	无黏液 Non-mucilaginous	t 值 t value	df	Sig 值 Sig value
发芽势/%Germination energy	85.67±1.53	57.67±3.51	12.67	4	0.000
发芽率/% Germination rate	86.00±1.00	72.00±2.64	8.57	4	0.001
发芽持续时间/d Germination time	7.67±1.15	13.67±0.57	-8.05	4	0.001
发芽指数/(粒·d ⁻¹) Germination index	37.43±0.75	15.27±0.74	36.22	4	0.000
活力指数/(cm·d ⁻¹) Vigor index	240.72±13.10	33.07±2.36	27.01	4	0.000
根长/cm Root length	6.27±0.38	2.10±0.20	16.85	4	0.000
苗长/cm Seeding length	1.77±0.12	0.87±0.21	6.54	4	0.003

2.4 种子黏液对一串红主要观赏性状的影响

种子黏液对一串红主要观赏性状的影响如表 4 所示。由表 4 可知,经过独立样本 t 测验,有黏液种子与无黏液种子植株的株高、冠幅、花穗长、节间长

度、叶片长、叶片宽、花萼长、花萼宽、花冠长、花冠宽等指标均无显著差异,说明种子黏液对一串红植株的主要观赏性状无显著影响。

表 4 种子黏液对一串红植株主要观赏性状的影响

Table 4 Effect of seed mucilage on main ornamental characters of *S. splendens*

cm

指标 Index	种子类型 Seed type		t 测验 t test		
	有黏液 Mucilaginous	无黏液 Non-mucilaginous seed	t 值 t value	df	Sig 值 Sig value
株高 Plant height	19.1±0.5	18.7±0.8	0.920	18	0.384
冠幅 Crown diameter	28.8±1.4	27.1±1.3	2.479	18	0.425
花穗长 Spike length	12.1±0.5	12.4±1.1	-0.464	18	0.655
节间长度 Node length	0.86±0.13	0.90±0.03	-0.654	18	0.531
叶片长 Leaf length	8.16±0.48	8.31±0.16	-0.365	18	0.721
叶片宽 Leaf width	5.44±0.21	5.12±0.31	1.912	18	0.186
花萼长 Calyx length	4.2±0.1	4.1±0.1	1.633	18	0.141
花萼宽 Calyx diameter	0.92±0.04	0.91±0.04	1.536	18	0.354
花冠长 Corolla length	2.0±0.1	2.1±0.1	-2.214	18	0.158
花冠宽 Corolla width	1.08±0.11	1.06±0.09	2.556	18	0.334

3 讨论与结论

前人对白沙蒿种子^[14]、抱茎独行菜种子^[15]、北美车前种子^[16]的研究均证明,黏液与种子的吸水特性、粘土能力密切相关。本试验结果表明,一串红种子黏液可以提高一串红种子吸收水分的能力,减缓一串红种子失水速度;种子黏液与种子粘土能力密切相关,有黏液种子的粘土质量是原种子的 9.26 倍,而无黏液种子的粘土质量是原种子的 1.17 倍。水分是种子萌发的重要条件,吸收足量水分有利于种子完成吸涨的第一阶段,促进种子的正常萌发^[17-18]。此外,粘土能力是种子适应环境而进化的一种能力,有利于种子大粒化、锚定土壤、保障种族延续^[4]。

现阶段对种子黏液的研究主要集中在与种子生态的相关性方面,如种子黏液的荒漠学意义^[19]及黏液与种子扩散性^[4]、黏液对种子萌发的影响、黏液对低温的生态响应^[20]等,此外,也有相关学者对黏液相关合成基因进行克隆、表达和功能分析,确定了与黏液相关的各种因子^[21-23]。本研究在分析种子黏液对一串红种子萌发影响的同时,首次研究了种子黏液对一串红种子活力的影响。与发芽率相比,种子活力是最重要的种子品质指标,是衡量种子田间实际出苗率的重要参考^[24]。本研究结果表明,与无黏液一串红种子相比,有黏液种子有较高的活力。这意味着有黏液的一串红种子在田间有较高的出苗率,对逆境也有较强的抵抗力。作为观赏植物,种苗质量是一串红生产的关键。根长和苗长是重要的种苗质量参考指标^[25],一串红黏液种子出苗后有较长的根长、苗长,这表明与无黏液种子相比,有黏液种子出苗较壮。

一串红种子吸水后产生大量黏液物质,可能会

对一串红种子采后处理过程,如种子引发等造成影响。尽管水不是唯一的种子引发剂,但是一些盐的水溶液在各种植物种子中均有较好的引发效果^[26]。而一串红种子黏液是否会对种子引发造成影响、造成何种影响、如何解决这种影响,是下一步需要解决的问题。同时,植物黏多糖作为一种黏液多糖物质,有多种保健功能,一串红种子黏液是否可以用于这种黏液多糖物质的开发及如何进行开发,也是今后需要研究的方向之一。

本研究结果还表明,种子黏液对一串红植株的观赏性状无直接影响。影响植株观赏性状的因素很多,主要包括遗传控制因素和外界环境、相关激素等。相关研究表明,秋石斛兰 F₁ 代单支花数和花色遗传优势比较明显^[27];非洲菊 F₁ 代植株花序姿态中平翻有较高的遗传力^[28]。对万寿菊幼苗施用多效唑可以达到显著缩短节间长度、抑制株高、延迟花期的效果^[29]。后续研究中,关于外界环境、相关激素对一串红植株的观赏性状是否存在影响及存在何种影响,也需要进一步深入分析。

[参考文献]

[1] Western T L, Skinner D J, Haughn G W. Differentiation of mucilage secretary cells of *Arabidopsis* seed coat [J]. Plant Physiology, 2000, 122: 345-355.

[2] Gutterman Y, Shem-Tov S. Structure and function of mucilaginous seed coats of *Plantago coronopus* inhabiting the Negev Desert of Israel [J]. Israer Journal of Plant Science, 2012, 104 (2): 125-133.

[3] Huang D H, Wang C, Yuan J W, et al. Differentiation of the seed coat and composition of the mucilage of *Lepidium perfoliatum* L. : a desert annual with typical myxospermy [J]. Acta Biochimica et Biophysica Sinica, 2015, 47(10): 775-787.

[4] 陈晓翠, 陆嘉慧, 陈超楠, 等. 多裂骆驼蓬种皮纹饰和黏液的解剖结构特征及其对种子扩散和萌发的影响 [J]. 西北植物学

- 报,2016,36(5):930-937.
- Chen X C,Lu J H,Chen C N,et al. Anatomic structure of seed coat ornamentation and mucilage of *Peganum multisectum* and its ecological adaptation to seeds dispersal and germination [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin,2016,36(5):930-937.
- [5] 刘志民,同巧玲,骆永明,等. 科尔沁沙地 124 种天然植物黏液繁殖体的甄别 [J]. 中国沙漠,2005,25(5):716-721.
- Liu Z M,Yan Q L,Luo Y M,et al. Screening on myxospermy of 124 species occurring on the sandy habitats of Western Horqin steppe [J]. Journal of Desert Research,2005,25(5):716-721.
- [6] 孙 群,刘文婷,梁宗锁,等. 丹参种子的吸水特性及发芽条件研究 [J]. 西北植物学报,2003,23(9):1518-1521.
- Sun Q,Liu W T,Liang Z S,et al. Study on the character of absorbing water and the germinative condition of *Salvia miltiorrhiza* Bunge seeds [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin,2003,23(9):1518-1521.
- [7] 王 涛,李文爽,刘世勇,等. 朱唇种子吸水特性及其在干旱胁迫下萌发特性 [J]. 广西植物,2016,36(4):430-434.
- Wang T,Li W S,Liu S Y,et al. Water absorption properties of *Salvia coccinea* seed and its germination characteristics under drought stress [J]. Guihaia,2016,36(4):430-434.
- [8] 王 涛,林良斌,张巧玲,等. 甘西鼠尾草种子黏液吸水特性、红外光谱分析及提取工艺研究 [J]. 植物科学学报,2015,33(4):572-578.
- Wang T,Lin L B,Zhang Q L,et al. Study on the characteristics of water absorbance,infrared spectroscopic analysis and extraction technology of mucilage from *Salvia przewalskii* seeds [J]. Plant Science Journal,2015,33(4):572-578.
- [9] 曾 丽,赵梁军,苏立峰. 一串红种子发育及内含物对种子萌发的影响 [J]. 中国农业大学学报,2000,5(1):35-38.
- Zeng L,Zhao L J,Su L F. Effects of seed development and its constituents on seed germination of *Salvia splendens* [J]. Journal of China Agricultural University,2000,5(1):35-38.
- [10] 曾 丽,赵梁军,孙 强,等. 超干处理与贮藏温度对一串红种子生活力与生理变化的影响 [J]. 中国农业科学,2006,39(10):2076-2082.
- Zeng L,Zhao L J,Sun Q,et al. Effects of ultradrying treatment and storage temperature on vigor and physiological changes of *Salvia splendens* seeds [J]. Scientia Agricultura Sinica,2006,39(10):2076-2082.
- [11] Carpenter W J. *Salvia splendens* seed pregermination and priming for rapid and uniform plant emergence [J]. J Am Soc Horticulture Science,1989,114:247-250.
- [12] Soundararajan P,Sivanesan I,Jana S,et al. Influence of silicon supplementation on the growth and tolerance to high temperature in *Salvia splendens* [J]. Horticulture,Environment, and Biotechnology,2014,55(4):271-279.
- [13] 赵正楠,董爱香,辛海波,等. 多目标决策在一串红育种中的应用 [J]. 上海农业学报,2016,32(5):128-132.
- Zhao Z N,Dong A X,Xin H B,et al. Application of multiple objective decision making in *Salvia splendens* breeding [J]. Acta Agricultural Shanghai,2016,32(5):128-132.
- [14] 黄振英,Guterman Yitzchak,胡正海,等. 白沙蒿种子萌发特性的研究: I. 黏液瘦果的结构和功能 [J]. 植物生态学报,2001,25(1):22-28.
- Huang Z Y,Guterman Y,Hu Z H,et al. Seed germination in *Artemisia sphaerocephala*: I. the structure and function of the mucilaginous achene [J]. Acta Phytocologica Sinica,2001,25(1):22-28.
- [15] 谷丽丽,刘立鸿,油天钰,等. 新疆短命植物抱茎独行菜种子种子黏液质的特性研究 [J]. 西北植物学报,2008,28(12):2451-2460.
- Gu L L,Liu L H,You T Y,et al. Characterization of the seed coat mucilage properties of ephemeral plant *Lepidium perforiatum* L. in Xinjiang [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin,2008,28(12):2451-2460.
- [16] 罗 辉,闫小红,周 兵,等. 入侵植物北美车前种子黏液的吸水特性及其对干旱胁迫的萌发响应 [J]. 生态学杂志,2015,34(8):2155-2160.
- Luo H,Yan X H,Zhou B,et al. Water absorbance features of seed mucilage of an invasive plant,*Plantago virginica*, and its germination response to drought stress [J]. Chinese Journal of Ecology,2015,34(8):2155-2160.
- [17] 胡 晋. 种子生物学 [M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- Hu J. Seed biology [M]. Beijing: Higher Education Press,2006.
- [18] 杨洁晶,万娟娟,娜丽克思,等. 28 种植物种子形态学性状及其萌发对绵羊瘤胃消化的反应 [J]. 草业学报,2015,24(2):104-115.
- Yang J J,Wan J J,Narkes W,et al. Seed morphology and effect of sheep rumen digestion on germinability of 28 grass of Tianshan [J]. Acta Prataculturae Sinica,2015,24(2):104-115.
- [19] 刘晓风,谭敦炎. 荒漠植物种子黏液的生态学意义 [J]. 植物学通报,2007,24(3):414-424.
- Liu X F,Tan D Y. Ecological significance of seed mucus in desert plants [J]. Chinese Bulletin of Botany,2007,24(3):414-424.
- [20] 卢 骁,兰小中,杨凤娇,等. 喜马拉雅紫茉莉瘦果黏液对种子低温的保护 [J]. 草地学报,2014,22(6):1281-1287.
- Lu X,Lan X Z,Yang F J,et al. Roles of achene mucilage in defending freezing injury for the seed germination of *Mirabilis himalaica* [J]. Acta Agrestia Sinica,2014,22(6):1281-1287.
- [21] 袁军文,兰海燕. 黏液繁殖体种子的黏液质形成、分泌及释放相关基因 [J]. 中国生物化学与分子生物学报,2011,27(2):116-124.
- Yuan J W,Lan H Y. Genes involved in biosynthesis,secretion and release of seed coat mucilage of myxospermu [J]. Chinese Journal of Biochemistry and Molecular Biology,2011,27(2):116-124.
- [22] 袁军文,黄代红,徐栋生,等. 抱茎独行菜 *MUM4* 基因的克隆及分析 [J]. 西北植物学报,2013,33(10):1940-1952.
- Yuan J W,Huang D H,Xu D S,et al. Cloning and analysis of

seed coat mucilage-related gene *MUM4* from *Lepidium perfoliatum* [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 2013, 33(10): 1940-1952.

[23] 曹 婧,徐栋生,黄代红,等.抱茎独行菜种皮黏液质相关基因 *TTG1* 的克隆、表达分析及功能鉴定 [J]. 植物科学学报, 2014, 32(4): 371-382.

Cao J, Xu D S, Huang D H, et al. Cloning, characterization, and functional analysis of seed coat mucilage-related gene *TTG1* from *Lepidium perfoliatum* [J]. Plant Science Journal, 2014, 32(4): 371-382.

[24] 曹栋栋,阮晓丽,詹 艳,等.杂交水稻种子不同活力测定方法与其田间出苗率的相关性 [J]. 浙江农业学报, 2014, 26(5): 1145-1150.

Cao D D, Ruan X L, Zhan Y, et al. Relativity analysis between seeding percentage in field and different seed vigor testing methods of hybrid rice seeds [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2014, 26(5): 1145-1150.

[25] 陈 茵,匡双便,张广辉,等.彩色农膜对三七种苗生物量积累与分配特征的影响 [J]. 西南农业学报, 2016, 28(1): 67-72.

Chen Y, Kuang S B, Zhang G H, et al. Effects of colorized agricultural film on biomass accumulation and partitioning of *Panax notoginseng* seedling [J]. Southwest China Journal of Agricultural Science, 2016, 28(1): 67-72.

[26] 闵丹丹,潘 佳,范 燕,等.引发对种子萌发和幼苗生长特性的影响 [J]. 草业科学, 2016, 33(9): 1728-1738.

Min D D, Pan J, Fan Y, et al. Effect of priming on seed germination and seedling growth [J]. Pratacultural Science, 2016, 33(9): 1728-1738.

[27] 陈和明,吕复兵,李 佐,等.秋石斛兰 F_1 代主要观赏性状的遗传表现 [J]. 热带作物学报, 2016, 37(9): 1664-1669.

Chen H M, Lü F B, Li Z, et al. Genetic performance of main ornamental traits in F_1 hybrids of *Dendrobium hybrida* [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(9): 1664-1669.

[28] 董雪娜,陈 希,蒋甲福,等.非洲菊 F_1 代观赏性状的遗传表现 [J]. 南京农业大学学报, 2015, 38(2): 226-232.

Dong X N, Chen X, Jiang J F, et al. Heredity of ornamental traits in F_1 of *Gerbera jamesonii* bolus [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2015, 38(2): 226-232.

[29] 杨守军,姜 伟.多效唑对万寿菊观赏性状及生理活性的影响 [J]. 山东农业科学, 2005(2): 45-47.

Yang S J, Jiang W. The influence of paclobutrazol on physiological activities and ornamental characteristics of *Tagetes erecta* L. [J]. Shandong Agricultural Science, 2005(2): 45-47.