

锦鸡儿种子劣变过程中生理生化特性的研究

王 赞¹, 那 潼¹, 李 源², 刘大林³, 高洪文¹

(1. 中国农业科学院北京畜牧兽医研究所, 北京 100094; 2. 河北省农林科学院旱作农业研究所, 河北 衡水 053000;

3. 扬州大学动物科学与技术学院, 江苏 扬州 225009)

摘 要: 采用人工老化方法, 在高温高湿(40℃、RH100%)条件下, 对小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla* Lam.) 和柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii* Kom.) 的种子进行劣变处理。同时重点测定和分析生理生化指标。结果表明: 高温高湿(40℃, 100% RH)人工老化法的最佳处理时间梯度为 0、8、16、24、36、48 h。两种供试种子发芽率和发芽指数显著下降($P < 0.05$); 酸性磷酸酯酶活性显著降低($P < 0.05$), 与种子发芽指数呈极显著正相关, 是反映其种子质量的敏感指标; 可溶性糖泄漏和脂质过氧化, 是种子劣变的重要原因。

关键词: 人工老化; 锦鸡儿; 种子; 生理生化变化

中图分类号: S311 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2008)05-0180-05

锦鸡儿属(*Caragana* Fabr.) 植物具有极强的抗旱性和耐盐碱能力, 枝叶繁茂, 产草量高, 营养丰富, 适口性强, 是良等饲用灌木^[1]。而且具有优良的水土保持和防风固沙特性, 在我国北方生态环境建设中得到了广泛应用^[2~4]。但是锦鸡儿属的种子, 尤其是柠条锦鸡儿和小叶锦鸡儿, 其种子成熟后, 荚果炸裂、种子落地, 种子成熟期正值雨季, 荚皮一湿一干更易爆裂, 这一特殊的生物学特性导致其种子收获困难^[5,6]。收获的种子活力下降迅速, 3年后已基本不具备发芽能力^[7]。研究结果表明^[8,9], 锦鸡儿属植物种子在常温下的贮藏年限很短, 贮藏3年种子的发芽率明显下降, 第4年也只有很少的种子发芽或全部失去发芽能力; 种子劣变给锦鸡儿属植物种质的储藏带来困难, 也影响着锦鸡儿的推广应用。

近年来, 国内外学者在种子劣变的机理、优化贮藏条件、提高种子寿命等方面进行了一系列的研究, 并取得了实质性的进展^[2~6]。但是对于锦鸡儿属植物种子劣变过程中生理生化特性的研究, 国内外报道甚少。为此, 本研究采取高温高湿(40℃、RH100%)人工老化法对小叶锦鸡儿(*C. microphylla* Lam.) 和柠条锦鸡儿(*C. korshinskii* Kom.) 两种种子进行劣变处理, 通过对种子劣变过程中生理生化变化的研究, 寻找适合反映其活力的指标, 探索其劣变的主要原因, 为锦鸡儿属植物种质资源的保存提供参考依据, 同时也可作为锦鸡儿属植

物资源进一步开发利用提供基础。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为 2005 年采集的小叶锦鸡儿和柠条锦鸡儿种子, 由中国农业科学院北京畜牧兽医研究所牧草资源研究室提供。

1.2 试验方法

精选大小一致无破损的种子 50 粒, 在高温 40℃ 和 100% 相对湿度下, 将种子老化处理 0、8、16、24、36、48 h 后, 置于变温光照培养箱中进行发芽实验(25℃ ± 1℃、光照条件 8 h; 15℃ ± 1℃、黑暗条件 16 h), 4 次重复。从种子置床之日起开始, 逐日观测种子发芽情况, 14 d 后统计发芽率和发芽指数^[10], 并测定相关的生理生化指标, 以平均值作为有效试验结果。

1.3 测定项目

1.3.1 发芽率与发芽指数

在发芽试验的第 5 d 开始计数, 14 d 结束计数, 统计发芽数和发芽指数;

发芽率(%) = (发芽总数/实验种子数) × 100%;

发芽指数 = Σ (一定时间内发芽的种子数/对应的天数)。

1.3.2 种子浸出液电导率 采用电导法^[11]。取供试种子 2 g, 用去离子水冲洗 5 次, 放入 100 mL 的

收稿日期: 2008-01-04

基金项目: 中国农科院基本科研业务创新团队项目(ywf-td-3); 国家“十一五”科技支撑项目(2006BAD01A16)

作者简介: 王 赞(1974—), 男, 内蒙古磴口人, 助研, 博士, 主要从事牧草种质资源及抗逆分子生物学研究。E-mail: wangzan999@163.com。

通讯作者: 高洪文(1957—), 男, 山西吕梁人, 研究员, 博士, 主要从事牧草种质资源研究。E-mail: gaohongwen@263.com。

三角瓶中,加入 80 mL 去离子水,同时设空白对照,加盖后在 20℃ 的恒温培养箱中放置 24 h,用 DDS-307 型电导仪测定,3 次重复(下同)。

1.3.3 过氧化物酶活性 采用愈创木酚法测定^[12],在 4.9 mL 反应体系中加入 0.1 mL 酶液启动反应,用 UV-2000 分光光度计在 470 nm 下测定吸光度,以每分钟 OD 值变化 0.005 为 1 个酶活性单位。

1.3.4 酸性磷酸酯酶活性 采用 Folin-酚法^[12],在 0.2 mL 反应体系中加入酶液 0.1 mL,充分混匀,30℃ 水浴 10 min 再加入氢氧化钠溶液,待生成的对硝基苯酚呈黄色,结束反应,用 UV-2000 紫外分光光度计在 400 nm 处测定光密度,计算酶活性。

1.3.5 丙二醛含量 采用硫代巴比妥酸法测定^[11]。取供试种子 0.5 g,加 pH=7.8 磷酸缓冲液 8 mL 冰浴研磨,研磨所得匀浆在 4 000 rpm/min 离心 10 min,取上清液 2 mL 加 2 mL TBA(0.67%),沸水浴 30 min,冷却后在 4 400 rpm/min 离心 10 min,上清液于 450 nm,532 nm 和 600 nm 处比色,结合标准曲线计算丙二醛含量。

1.3.6 可溶性糖含量 采用蒽酮比色法测定^[13]。取种子 0.5 g 放 100 mL 的三角瓶中,加 30 mL 蒸馏水,加盖在 20℃ 恒温箱中放置 24 h。吸取浸出液 1 mL,放入干洁试管中,重复 3 次(以蒸馏水为对照)。加入 4 mL 蒽酮试剂,小心振荡使充分混合后,于沸水浴中加热 10 min,取出冷却至室温,用 UV-2000 型紫外可见分光光度计于 620 nm 处测光密度值,从标准曲线上查相应的糖浓度,计算可溶性糖含量。

1.4 数据处理

用 SAS6.12 统计软件进行方差分析,用 Duncan 氏新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 种子发芽率和发芽指数

种子发芽率随着老化时间的延长呈明显下降趋势(表 1)。在老化过程中,柠条锦鸡儿种子发芽率的变化范围在 8%~13%,小叶锦鸡儿种子在 85%~10%(表 1)。同对照相比,人工老化 48 h 后,柠条锦鸡儿种子与小叶锦鸡儿种子发芽率的下降幅度均为 75%。各老化处理与对照之间的差异极显著($P<0.01$),除老化处理 16 h 和 24 h 差异不显著外,其它处理间呈显著性差异($P<0.05$),可见在老化后期种子发芽率的变化没有初期明显。高温高湿老化 48 h 后,柠条锦鸡儿和小叶锦鸡儿种子标准发芽率为 20%左右,而相同老化时间的新麦草和蓝茎冰

草的标准发芽率在 85%左右^[10],科尔沁驼绒藜(短命种子)为 12.8%^[14],在一定程度上说明了供试种子的活力下降较为迅速。

种子发芽指数变化趋势与发芽率一致。柠条锦鸡儿种子在处理 48 h 后,发芽指数从 7.3 降低到 0.9,下降幅度为 87%,方差分析表明,各处理间呈显著性差异($P<0.05$);小叶锦鸡儿在处理 48 h 后的发芽指数下降幅度为 88%,与柠条锦鸡儿基本相同,方差分析结果,各处理间也呈显著性差异($P<0.05$)。

2.2 种子浸出液电导率

两种锦鸡儿属植物种子浸出液电导率随着老化时间的延长而增大(表 1)。由表 2 可知,柠条锦鸡儿种子浸出液电导率与种子发芽指数呈极显著负相关(-0.952),小叶锦鸡儿种子浸出液电导率与种子发芽指数呈负相关(-0.81),方差分析表明,各处理与对照之间的差异显著($P<0.05$)。所不同的是,老化 48 h 时,柠条锦鸡儿种子浸出液电导率比对照增加了 3.33 倍,小叶锦鸡儿种子浸出液电导率比对照只增加了 1.67 倍,前者增加幅度显著大于后者。同为豆科植物的大豆种子(短命种子)老化 48 h 后,种子浸出液电导率比对照只增加了 1.4 倍左右^[15]。说明锦鸡儿属植物种子透水性较强,出现这种现象的原因很可能与种皮半透膜中软木质的含量较少有关^[16]。

2.3 种子酶活性

酸性磷酸酯酶(ACP)是一类存在于生物体内水解有机磷酸酯键的酶,其活性高低反映了种子营养物质分解及转化的速率。在人工老化过程中,锦鸡儿属植物种子酸性磷酸酯酶的活性随老化时间的延长而逐渐降低(表 1)。方差结果显示,柠条锦鸡儿种子中酸性磷酸酯酶的活性在各处理间差异极显著($P<0.01$),小叶锦鸡儿种子中,除老化 16 h 和 24 h,各处理间均呈显著差异($P<0.05$),供试种子酸性磷酸酯酶的活性在对照与处理间差异均显著($P<0.05$)。相关分析的结果表明(表 2),供试材料种子酸性磷酸酯酶的活性与种子发芽指数呈极显著正相关(0.993,0.973),是反映种子质量的敏感指标。大量的研究表明,在劣变的水稻种子中,ACP 活性下降^[17],其活性可以反映二色胡枝子种子的活力^[18,19],也可预测新麦草和蓝茎冰草的种子质量^[10]。

供试种子 POD 酶活性随老化时间的增加而逐渐降低(表 1),柠条锦鸡儿在老化处理初期,即处理 8 h,POD 酶活性与对照及处理 16 h 的差异不显著,

但随着老化时间的进一步延长,各处理间表现出显著性差异($P<0.05$),而小叶锦鸡儿种子除老化 16 h 和 24 h 差异不显著外,其他各处理间均呈显著性差异($P<0.05$)。相关分析的结果表明(表 2):POD

与 GI 呈显著或极显著正相关。柠条锦鸡儿种子 POD 酶活性在相同的老化时间内均高于小叶锦鸡儿,表明在柠条锦鸡儿种子中 POD 酶清除系统的功能比较强大。

表 1 供试种子在高温高湿老化过程中生理生化变化

Table 1 Physiological and biochemical changes of experimental seeds under high temperature and high humidity aging treatment

材料 Material	老化时间 Aging time (h)	发芽率 Germination percentage (%)	发芽指数 Germination index - GI	过氧化物酶 POD [$\mu\text{mol}/(\text{min}\cdot\text{g})$]	丙二醛含量 MDA ($\mu\text{mol}/\text{L}$)	电导率 Conductivity [$\mu\text{S}/(\text{cm}\cdot\text{g})$]	可溶性糖 Soluble sugar ($\mu\text{g}/\text{mg}$)	酸性磷酸酯酶 ACP [$\mu\text{mol}/(\text{min}\cdot\text{g})$]
柠条 锦鸡儿 <i>Caragana korshinskii</i> Kom.	0	88 $\pm$ 3.46 Aa	7.3 $\pm$ 0.2 Aa	1.56 $\pm$ 0.053Aa	157.69 $\pm$ 13.23 Aab	204 $\pm$ 5.29 Dd	79.4 $\pm$ 4.36 Bc	5.40 $\pm$ 0.35 Aa
	8	68 $\pm$ 5.57 Bb	6.3 $\pm$ 0.44 Ab	1.48 $\pm$ 0.078Aab	134.42 $\pm$ 6.08 Aab	533 $\pm$ 9.17 Cc	159.5 $\pm$ 7.81 Ab	4.86 $\pm$ 0.69 Bb
	16	57 $\pm$ 5.20 BCc	3.2 $\pm$ 0.40 Bc	1.45 $\pm$ 0.044Ab	128.29 $\pm$ 9.17 Ab	658 $\pm$ 11.27 Bb	176.6 $\pm$ 5.29 Aab	4.12 $\pm$ 0.17 Cc
	24	43 $\pm$ 6.08 Cc	2.1 $\pm$ 0.17 Bcd	1.22 $\pm$ 0.036BAc	156.04 $\pm$ 7.94 Aab	773 $\pm$ 10.15 ABa	181.9 $\pm$ 2.65 Aa	3.64 $\pm$ 0.53 Dd
	36	27 $\pm$ 7.21 Dd	1.4 $\pm$ 0.26 Cc	0.77 $\pm$ 0.035Cd	170.02 $\pm$ 18.03 Aa	828 $\pm$ 7.81 Aa	183.2 $\pm$ 9.17 Aa	3.23 $\pm$ 0.26 Ee
	48	13 $\pm$ 5.29 Ee	0.9 $\pm$ 0.10 Cf	0.68 $\pm$ 0.026Ce	186.00 $\pm$ 9.64 Aa	884 $\pm$ 12.49 Aa	185.1 $\pm$ 4.58 Aa	2.61 $\pm$ 0.44 Ff
小叶 锦鸡儿 <i>Caragana microphlla</i> Lam.	0	85 $\pm$ 1.73 Aa	6.1 $\pm$ 0.53 Aa	1.33 $\pm$ 0.046Aa	143.12 $\pm$ 7.81 Aa	149 $\pm$ 4.36 De	47.1 $\pm$ 6.24 Dd	5.27 $\pm$ 0.05 Aa
	8	70 $\pm$ 6.24 Bb	5.2 $\pm$ 0.46 Bb	1.07 $\pm$ 0.061Bb	140.75 $\pm$ 10.58 Aab	472 $\pm$ 6.24 Cd	67.9 $\pm$ 10.44 Cc	4.65 $\pm$ 0.78 ABb
	16	52 $\pm$ 3.51 Cc	4.2 $\pm$ 0.30 Cc	0.96 $\pm$ 0.051BCc	126.31 $\pm$ 12.12 ABab	479 $\pm$ 8.08 Ccd	79.3 $\pm$ 7.94 Cc	4.29 $\pm$ 0.72 BCc
	24	41 $\pm$ 4.36 Cc	3.1 $\pm$ 0.36 Cd	0.91 $\pm$ 0.020Cc	125.23 $\pm$ 13.86 ABb	486 $\pm$ 6.08 Cc	99.8 $\pm$ 5.57 Bb	3.69 $\pm$ 0.20 CDd
	36	23 $\pm$ 5.29 Dd	1.2 $\pm$ 0.09 De	0.65 $\pm$ 0.010Dd	124.21 $\pm$ 5.29 ABbc	511 $\pm$ 9.54 Bb	201.9 $\pm$ 3.61 Aa	3.12 $\pm$ 0.11 DEd
	48	10 $\pm$ 2.08 Ee	0.7 $\pm$ 0.06 Df	0.55 $\pm$ 0.056 De	107.16 $\pm$ 6.24 Bc	668 $\pm$ 12.53 Aa	217.8 $\pm$ 1.73 Aa	2.71 $\pm$ 0.79 Ee

注:同列中标不同大写字母表示差异极显著($P<0.01$),不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different capital letters in the same column show significant difference at 0.01 level($P<0.01$), while different small letters in the same column show significant difference at 0.05 level($P<0.05$).

表 2 人工老化处理后各生理指标与发芽指数的相关系数

Table 2 Correlation coefficients between physiological indexes under aging treatment

材料 Material	指标 Index	发芽指数 GI	过氧化物酶 POD	丙二醛 MDA	电导率 Conductivity	可溶性糖 Soluble sugar	酸性磷酸酯酶 ACP
柠条 锦鸡儿 <i>Caragana korshinskii</i> Kom.	发芽指数 GI	1	0.981*	0.907*	-0.810	-0.970**	0.993**
	POD		1	0.909*	-0.898*	-0.947**	0.985**
	MDA			1	0.830*	-0.843*	0.924**
	电导率 Conductivity				1	0.735	-0.860*
	可溶性糖 Soluble sugar					1	-0.945**
	ACP						1
小叶 锦鸡儿 <i>Caragana microphlla</i> Lam.	发芽指数 GI	1	0.848*	-0.532	-0.952**	-0.837*	0.973**
	POD		1	-0.827*	-0.811	-0.608	0.922**
	MDA			1	0.409	0.112	-0.645
	电导率 Conductivity				1	0.950**	-0.948**
	可溶性糖 Soluble sugar					1	-0.808
	ACP						1

注: * 表示 $P=0.05$ 水平显著相关; ** 表示 $P=0.01$ 水平极显著相关。

Note: * Correlation is significant at the 0.05 level, ** Correlation is significant at the 0.01 level.

2.4 种子丙二醛含量

在高温高湿老化过程中,柠条锦鸡儿种子与小叶锦鸡儿种子丙二醛含量的变化趋势并不一致。柠条锦鸡儿种子丙二醛含量随着老化时间的延长先降低后升高(表 1)。老化 16 h 时,MDA 含量达到最

低,降幅达 18.6%,此后逐渐增加,在老化 48 h 后达到最大值,MDA 含量比对照增加 17.9%。小叶锦鸡儿种子的丙二醛含量随着老化时间的延长表现出持续降低的趋势,造成这一结果的原因可能与 SOD 酶的作用有关。

2.5 种子浸出液的可溶性糖

由表1可知,柠条锦鸡儿种子与小叶锦鸡儿种子的可溶性糖含量随着老化时间的延长表现出逐渐升高的趋势。各老化处理与对照间差异显著($P < 0.05$)。由表2可知:可溶性糖含量与GI呈显著或极显著负相关。在老化过程中,柠条锦鸡儿种子可溶性糖含量的变化范围在79.4~185.1 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 之间,小叶锦鸡儿种子的可溶性糖含量变化范围在47.1~217.8 $\mu\text{g}/\text{mg}$ 之间,变化幅度大于柠条锦鸡儿种子,这与种子浸出液电导率分析的分析结果恰好相反。出现这种情况的原因可能是电导率反映的是浸出液中总的离子的数量,可溶性糖只是浸出液的成分之一,它的变化并不足以反映电导率的变化。

3 结论与讨论

本研究采用人工老化方法,在高温高湿(40℃、RH100%)条件下,对小叶锦鸡儿和柠条锦鸡儿的种子进行时间梯度为0 h、8 h、16 h、24 h、36 h、48 h的劣变处理,从种子活力、膜系统的生理生化等方面探讨了种子的劣变机理。结果表明,高温高湿处理可降低种子活力,种子劣变过程中其体内POD、ACP酶活性下降,种子发芽率、发芽指数降低,种子浸出液电导率和可溶性糖含量增加。可溶性糖的泄漏和脂质过氧化是导致种子活力降低的重要因素,ACP酶活性与种子发芽指数呈极显著正相关,是检验锦鸡儿属植物种子的良好指标。

同时采用人工老化方法处理种子,减少了试验时间,使自然劣变4~5年时间缩短到仅需几天就可以完成,更有利于种子劣变机理的研究。

多数研究表明,种子老化后膜系统可能受到破坏,从而引起种子内部各种离子迅速外渗,导致电导率升高,因而,随着种子的老化,电导率的值增加,即电导率与种子的活力呈负相关。然而,王彦荣等^[20]研究发现苏丹草和老芒麦等禾本科种子在劣变过程中,电导率与活力不相关。赵垦田等^[21]在对人工老化过程的红松种胚细胞物质外渗的研究中发现,高活力的种子在老化1、2 d后,活力变化不大,电导率与种子活力呈正相关。本试验中,锦鸡儿种子随着老化程度的加深,电导率增大,相关分析表明,柠条锦鸡儿和小叶锦鸡儿的电导率与发芽率指数的相关系数分别为-0.952、-0.81,均显著负相关。电导率测定结果与大多数人的研究一致。

可溶性糖的泄漏被一些研究者作为衡量种子活力的一个指标,虽然在可溶性糖的泄漏多少能不能反映膜的完整性上有分歧,但是可以肯定的是可溶

性糖的泄漏多少可以表明呼吸底物的丧失程度,是导致种子活力降低的一个非常重要的因素^[22,23]。本试验中可溶性糖含量与GI呈显著或极显著负相关,表明种子浸出液的可溶性糖含量是反映种子活力的重要因素,这与油菜种子研究中的结论一致^[24]。

种子老化过程中产生的自由基和过氧化物具有很强的毒害作用,可以启动膜脂中不饱和脂肪酸的过氧化作用,使细胞膜受到损伤,这是种子老化和组织衰老的主要原因。由于自由基和过氧化物对质膜的完整性起着至关重要的作用,因此种子中自由基和过氧化物清除系统的功能就显得尤为重要。本试验中,柠条锦鸡儿种子随老化程度加深,POD酶活性明显降低,这对于清除代谢过程中的有毒物质非常不利,而且MDA含量不断增加,加快了有毒物质的积累,从而加剧了细胞膜脂过氧化作用。这是导致种子活力降低的一个非常重要的因素;而小叶锦鸡儿种子随着老化程度的加深,MDA含量却减少,可能是由于POD酶和种子内存在一些非酶促自由基清除剂^[25]的作用;也可能是由于和其他物质结合形成希夫碱,影响了MDA的测定结果^[26]。

本研究以柠条和小叶锦鸡儿的种子为试验材料进行了种子劣变研究,种子老化劣变的实质在于细胞结构与生理功能上的一系列错综复杂的变化,既有物理的,又有生理生化的变化。因此,对于锦鸡儿属植物种子老化的研究还有待于进一步深入。

参考文献:

- [1] 陈默君,贾慎修.中国饲用植物[M].北京:中国农业出版社,2000.455—457.
- [2] Delouche J C. Precepts of seed storage[M]. Proc. of the Mississippi State Seed Processors Shortcourse, 1973. 93—122.
- [3] Abdul-Baki A A. Biochemical aspects of seed vigor[J]. Hortscience, 1980, 15: 735.
- [4] Kalpana R, Madhava Rao K V. On the ageing mechanism in pigeonpea seeds[J]. Seed Science and Technology, 1995, 23: 1—9.
- [5] 王彦荣,刘友良,沈益新.种子劣变的生理学研究进展综述[J].草地学报,2001,9(3):159—164.
- [6] 毛培胜,韩建国.贮藏处理对老芒麦种子活力的影响[J].草业科学,2003,20(4):16—19.
- [7] 魏彦波,申晓辉,林玉梅,等.柠条种子生活力衰退的研究[J].吉林林业科技,2000,29(5):12—14.
- [8] 牛西午.柠条研究[M].北京:科学出版社,2003.66—67.
- [9] 刘林德,张丽,高玉葆.小叶锦鸡儿[J].生物学通报,2004,39(12):21—22.
- [10] 中华人民共和国国家标准.牧草种子检验规程[S].北京:中国标准出版社,2001.

- [11] 李合生. 植物生理生化实验技术原理与技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002. 192—194.
- [12] 李玉荣. 新麦草种子劣变过程中生理生化变化[J]. 草地学报, 2005, 13(3): 180—183.
- [13] 林炎坤. 常用的几种萘酚比色定糖法的比较和改进[J]. 植物生理学讯, 1989, (4): 53—54.
- [14] 王明霞, 易 津, 乌云其木格. 人工劣变处理对华北驼绒藜种子活力的影响[J]. 中国草地, 2003, 25(4): 31—35.
- [15] 董发才, 何南峰, 张 彤, 等. 人工老化大豆种子膜脂质的过氧化研究[J]. 河南大学学报(自然科学版), 1995, 25(3): 91—94.
- [16] Panobianco M, Vieria R D. Electrical conductivity of soybean seed and correlation with seed coat lignin content[J]. Seed Science and Technology, 1999, 27: 945—949.
- [17] Rajagopal A S M, SenMandi S. Studies on acid and alkaline phosphatases in aged rice embryos[J]. Seed Science and Technology, 1992, 20: 215—222.
- [18] 白春霞. 多花木蓝和二色胡枝子种子硬实特性与活力关系的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2004.
- [19] 陈晓玲, 陈叔平, 卢新雄. 评价油菜种子耐贮性人工老化方法的比较研究[J]. 作物学报, 1999, 25(2): 265—268.
- [20] 王彦荣, 余 玲, 刘友良, 等. 数种牧草种子劣变的生活力与膜透性的关系[J]. 草业学报, 2002, 11(3): 85—91.
- [21] 赵垦田, 李立华. 人工老化过程红松种胚细胞物质外渗和超微结构变化[J]. 东北林业大学学报, 2000, 28(3): 5—7.
- [22] Parrish D C, Leopold A C. On the mechanism of ageing in soybean seeds[J]. Plant Physiology, 1978, 61: 365—368.
- [23] Abdul-Baki A A, Anderson J D. Viability and leaching of sugars from germinating barley seed[J]. Crop Science, 1970, 10: 31—34.
- [24] 张 彤. 油菜种子老化过程中的生理生化变化[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 1995, (4): 59—62.
- [25] 程红焱, 郑光华, 陶嘉玲. 超干处理对几种芸苔属植物种子生理生化和细胞超微结构的效应[J]. 植物生理学报, 1991, 17(3): 273—284.
- [26] 陈 贵, 胡文玉, 谢甫锦, 等. 提取植物体内 MDA 的溶剂及 MDA 作为衰老指标的探讨[J]. 植物生理学通讯, 1991, 27(10): 44—46.

Physiological and biochemical study on *Caragana* species seeds during seed deterioration

WANG Zan¹, NA Tong¹, LI Yuan², LIU Da-lin³, GAO Hong-wen¹

(1. Institute of Animal Science, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100094, China;

2. Dryland Farming Institute of Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Hengshui, Hebei 053000, China;

3. College of Animal Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225009, China)

Abstract: Studies on the physiological and biochemical changes of *Caragana microphlla* Lam. and *Caragana korshinskii* Kom, seeds were carried out using the methods of high temperature and high humidity (40℃, 100% RH) accelerating aging. The results showed that the best time grades of high temperature and high humidity artificial aging means is 0 h, 8 h, 16 h, 24 h, 36 h and 48 h; the seed germination percentage and germination index descended ($P < 0.05$) with seed aging. ACP activity, a sensitive index of seed quality, decreased with seed aging ($P < 0.05$). Leaching of sugar increased with seed aging, and lipid peroxidation was an important reason for seed deterioration.

Keywords: artificial aging; *Caragana* Fabr.; seed; physiological and biochemical changes