

渗透胁迫和 pH 对中间锦鸡儿种子萌发和幼苗生长的影响

赵 伟^{1,2,3}, 陈 林^{1,2,3}, 杨新国^{1,2,3}, 刘学东^{1,2,3}, 古君龙^{1,2,3}

(1. 宁夏大学 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 宁夏 银川 750021;

2. 宁夏大学 西北土地退化与生态恢复省部共建国家重点实验室培育基地, 宁夏 银川 750021;

3. 宁夏大学 西部生态与生物资源开发联合研究中心, 宁夏 银川 750021)

摘 要:以中间锦鸡儿种子为试材,采用中心组合试验设计和响应曲面分析方法,在实验室条件下,探讨了渗透势(-1.76~0.00 MPa)和 pH(5.0~8.5)对中间锦鸡儿发芽指数(Gi)、活力指数(VI)、发芽率(GR)、相对发芽率(relative GR)、胚轴长(H)、胚根长(R)、茎粗(SD)的协同影响。结果表明:不同渗透势下,渗透胁迫越大,Gi、GR、relative GR 越低。当渗透势为-0.88 的情况下,pH 过高(pH 8.5)和过低(pH 5.0)时均低于 pH 在 6.8 时的 GR、relative GR。 $A^2(\Psi\pi^2)$ 对 SD 的影响接近($P=0.0504$)显著水平;pH 对 5 个指标的影响达到极显著或显著水平,即 B-pH 和 $B^2(pH^2)$ 分别对 Gi、VI 有极显著($P=0.0095$, $P=0.0012$)和显著($P=0.0349$, $P=0.0346$)影响, B^2 分别对 GR、relative GR 有显著($P=0.0487$)影响,B-pH 对 R 有显著($P=0.0352$)影响。相同 pH 处理下,渗透势越高茎粗值越大。基本上渗透势越靠近中心点 SD 越小,越往两边 SD 值越大。pH 6.9~8.5 时,随着 pH 的增大,VI、GR、relative GR、H 均呈逐渐变小的趋势。pH 6.0~8.5 时,R 随着 pH 的增大而降低;渗透势和 pH 分别为-0.26 MPa 和 5.9 时,各生长指标达到最优值, $\Psi\pi$ 、pH、H、R、SD、GR、relative GR、Gi、VI 分别为-0.26 MPa、5.9、11.78 mm、7.45 mm、1.70 mm、73.75%、92.19%、35.85、4.99,可靠性为 0.75。可见微量的渗透胁迫和微偏酸的环境有助于中间锦鸡儿种子的发芽和幼苗的生长。

关键词:中间锦鸡儿;萌发;生长;响应曲面

中图分类号:S 688 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)21-0065-08

中间锦鸡儿(*Caragana intermedia*)属豆科锦鸡儿属灌木类植物,具有抗旱、抗寒、耐热、耐沙埋等特性,防风固沙及保持水土的能力强,同时又是优质的灌木饲料植物资源,具有较高的生态经济价值^[1]。而播种育苗是柠条造林的主要途径,但种子萌发和幼苗生长是植物一生中最脆弱而又最关键的阶段,在自然条件下,面临不可预测和多变的环境条件,存在较高的死亡风险^[2]。

中间锦鸡儿是长期生活在西部干旱环境中的旱生植物,限制其生长的主要因子是水分^[2]。有研究发现,随着 PEG 浓度升高,中间锦鸡儿种子发芽率降低,5%

PEG 处理种子的发芽率和酶活性最高^[2]。并且,储藏温度、NaCl 及 PEG 渗透处理对中间锦鸡儿种子萌发的影响研究中,在干旱胁迫条件下的最高发芽率为 87%^[3]。除 PEG 处理对中间锦鸡儿的影响研究以外,随着苜蓿各器官水浸提液浓度的增加,对中间锦鸡儿种子萌发抑制作用增强^[4];其它植物种子在 PEG 处理后的发芽率等指标也相应受到抑制,随着干旱胁迫程度的加剧,唐古特白刺^[5]、长豇豆^[6]、紫花苜蓿和高粱^[7]等种子的萌发率、发芽指数等指标降低。在渗透胁迫下,植物种子萌发受到影响,原因之一是渗透胁迫引起植物细胞内生理活性的变化^[8]。与之相反,外源物质壳聚糖^[9]、电场^[10-11]、 GA_3 ^[12]和稀土^[13]等处理中间锦鸡儿种子,能明显提高种子的萌发率。此外,在不同地区不同酸碱程度的土壤上,植物种子萌发和幼苗生长的影响研究中除水分胁迫外,pH 也是其中一个非常重要和关键的影响因子。何海洋等^[14]的研究得出,随着 pH 的增大,光皮桦种子各项指标总体呈下降趋势。余桂红等^[15]研究表明,北美海蓬子在 pH 高于 7.0 时,随 pH 升高,发芽率呈下降趋势。于秋良等^[16]研究发现,绿豆种子在中偏碱的

第一作者简介:赵伟(1990-),女,硕士研究生,研究方向为农业生态与生态恢复。E-mail:ml5103323591@163.com

责任作者:陈林(1983-),男,博士,助理研究员,现主要从事干旱半干旱地区资源与环境研究等工作。E-mail:chenlin198388@163.com

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31460123,31460161,41461046);宁夏自然科学基金资助项目(NZ14006);宁夏大学研究生创新资助项目(GIP201608)。

收稿日期:2016-07-25

pH(7.0~7.5)条件下萌发率最高、萌发最快、植株生长势相对较好,过低或过高的 pH 浸种不仅影响种子的萌发,还抑制植株的生长发育。目前,多采用水浸提液生测法初步评估植物的种子萌发和化感潜势,但水提液法评估受到很多因子的干扰,如水提液的渗透压和 pH。因此,系统认识和尽量排除水提液中干扰因子的作用,对于逐步客观评估植物的种子萌发和化感作用具有重要的意义。渗透压和 pH 作为影响种子萌发和幼苗生长的重要因子,二者的共同作用对中间锦鸡儿种子萌发和幼苗生长的影响至关重要。该试验采用中心组合试验设计和响应曲面分析法,利用渗透势和 pH 组合探讨适合中间锦鸡儿种子萌发和幼苗生长的最适条件,以期中间锦鸡儿幼苗的培育和大面积种植等问题提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料为盐池县的中间锦鸡儿种子。

1.2 试验方法

选取均等大小、籽粒饱满的中间锦鸡儿种子 390 粒,每皿 30 粒。用 $1\text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KMnO_4 溶液对种子和培养皿分别消毒 15 min 和 30 min,用蒸馏水反复冲洗 5~6 次,直至 KMnO_4 溶液完全去除。培养皿(直径 9 cm)干燥后,PEG(6000)溶液的相应渗透势分别是 -1.76、-1.50、-0.88、-0.26、-0.00 MPa。pH 设置分别是 5.0、5.5、6.8、8.0、8.5。每皿放 2 层滤纸,然后放入 30 粒种子,再加入 10 mL 配好的处理液(每天定时定量补充 PEG 和 pH 混合液以保湿),适时补充 PEG 和 pH 混合液。将其置于 25℃ 的恒温光照培养箱中,12 h 光照 12 h 黑暗处理,每 2 d 换一次滤纸。连续观察 3 d 至种子不再萌发时计为发芽结束^[17]。

1.2.1 不同渗透势的配制 PEG 溶液渗透势参照有关 PEG(6000)溶液浓度与渗透势的关系式计算。 $\Psi_s = -(1.18 \times 10^{-2})C - (1.18 \times 10^{-4})C^2 + (2.67 \times 10^{-4})CT + (8.39 \times 10^{-7})C^2T^{18}$ 。式中, Ψ_s 为渗透势, C 为 PEG(6000)浓度($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$), T 为温度(℃)。

1.2.2 不同 pH 缓冲溶液的配制 用 $0.2\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 磷酸二氢钠和 $0.2\text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 磷酸氢二钠调配成不同 pH 的缓冲溶液。

1.2.3 中心组合设计-渗透势和 pH 对柠条种子萌发和幼苗生长的影响 渗透势和 pH 的范围分别为(-1.76~0.00 MPa)、(5.0~8.5)。该试验的响应值分别为发芽率、相对发芽率、发芽指数、活力指数、胚轴长、胚根长、茎粗长,因子为渗透势和 pH,分别以 $\Psi\pi$ 和 pH 表示,每个因子的试验水平编码分别为 -a、-1、0、1、a(表 1),试验采用 2 因素 5 水平,其中 $|a|=1.414\ 21$ 为星号臂值,中心点重复 5 次,共计 13 次试验,试验的次序随机。

1.3 项目测定

每天统计种子发芽数,以胚根冲破种皮 1~2 mm 为发芽标准。记录发芽时间以及计算发芽率、相对发芽

率、发芽指数、活力指数等。发芽第 8 天用电子数显游标卡尺(SF2000,广陆数字测控股份有限公司)测量胚轴长、胚根长、茎粗长,选取 5~10 株用电子天平(EL204,梅特勒-托利多仪器(上海)有限公司)对幼苗的鲜质量进行称量。发芽率($GR, \%$) = 发芽种子数/供试种子数 $\times 100^{[4]}$; 相对发芽率($\%$) = 处理浓度发芽数/对照发芽数 $\times 100^{[19]}$; 发芽指数(Gi) = $\sum(Gt/Dt)$ 。 Gt 为第 t 天的发芽数, Dt 为相应的发芽天数^[19]。活力指数 $VI = Gi \times S$ 。 Gi 为发芽指数, S 幼苗鲜质量^[5]。

采用 Design-Expert 7.1.6 软件对渗透势和 pH 这 2 种因子影响下中间锦鸡儿的各指标显著度进行分析及响应面曲线图的绘制,并选出适合中间锦鸡儿生长的渗透势和 pH 的最优组合。

1.4 数据分析

数据测定结果用平均值(mean)表示。通过最小二乘法拟合因子与响应值之间的二次多项回归方程: $\hat{Y} = b_0 + b_1T + b_2S + b_3TS + b_4T^2 + b_5S^2$ 。式中, \hat{Y} 为响应预测; b_0 为回归常数; b_1 、 b_2 分别为渗透势和 pH 的一次效应; b_3 为渗透势和 pH 互作效应; b_4 、 b_5 分别为渗透势和 pH 的二次效应。具体组合及试验结果见表 1。采用 Design-Expert 7.1.6 软件进行数据的处理及作图。对胚轴长、胚根长、茎粗长、发芽率、相对发芽率、发芽指数、活力指数进行二次多项回归拟合。显著水平设定为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 渗透势和 pH 对发芽指数(Gi)和活力指数(VI)的影响

从表 1 可以看出,渗透势($\Psi\pi$)与 pH 对中间锦鸡儿种子发芽指数(Gi)、活力指数(VI)所建立的回归模型显著($P=0.046\ 6$, $P=0.010\ 9$);失拟项分别为 $P=0.758\ 0$, $P=0.390\ 2$ 均大于 0.05,表明拟合的模型有效。 B -pH 和 B^2 (pH^2)分别对 Gi 、 VI 有极显著($P=0.009\ 5$, $P=0.001\ 2$)和显著($P=0.034\ 9$, $P=0.034\ 6$)影响。 $\Psi\pi$ 和 pH 与 Gi 、 VI 之间的实际二次回归方程的决定系数(R^2)分别为 0.745 3、0.837 6。即该模型能解释 74.53%、83.76%响应值的变化。通过渗透势和 pH 与 Gi 、 VI 之间的响应曲面图(图 1)可评价试验因素对 Gi 、 VI 的两两交互作用,当曲面较圆时说明试验因素对 Gi 、 VI 影响不

表 1 渗透势和 pH 对柠条种子发芽指数和活力指数的回归模型系数显著性检验及方差分析

Table 1 Test of significance and analysis of variance for the effect of $\Psi\pi$ and pH on Gi and VI of *Caragana intermedia* seed

变异源 Source	发芽指数 Gi		活力指数 VI	
	F value	P -value Prob> F	F value	P -value Prob> F
模型 Model	4.10	0.046 6	7.22	0.010 9
A- $\Psi\pi$	0.93	0.367 5	0.48	0.512 5
B-pH	12.51	0.009 5	27.35	0.001 2
AB	2.58E-03	0.960 9	0.023	0.884 0
A ²	0.015	0.907 2	0.70	0.429 3
B ²	6.82	0.034 9	6.84	0.034 6
失拟 Lack of fit	0.41	0.758 0	1.30	0.390 2

显著,较陡时影响显著。等高线的形状可反映出交互效应的程度,越接近圆形表示 2 因素交互作用不显著,角度越小则差异越显著。从表 2 和图 1 可以看出,当渗透势胁迫达到最大值($\Psi\pi=-1.76$)时发芽指数要低于 $\Psi\pi=-0.88$ 和 $\Psi\pi=-0.00$ 时的值。当 $\Psi\pi$ 、pH 为

($-0.88,8.5$)时 G_i 、 V_i 值相对较低,pH 在 $6.9\sim 8.5$ 范围内时,随着 pH 的增大, G_i 、 V_i 均呈逐渐变小的趋势,即此范围的 pH 对 G_i 、 V_i 有明显的抑制作用。 $\Psi\pi$ 、pH 分别为 $-0.26,5.9$, G_i 、 V_i 分别为 35.85% 、 4.99 时最适合种子萌发(表 3)。

表 2 渗透势和 pH 的试验设计组合和结果

Table 2 Experimental design of $\Psi\pi$ and pH(mean)											
组别 Groups	编码值 Coded		实际值 Actual		胚轴长 H/mm	胚根长 R/mm	茎粗长 SD/mm	发芽率 GR/%	相对发芽率 Relative GR/%	发芽指数 Gi/%	活力指数 Vi
	$\Psi\pi$	pH	$\Psi\pi$	pH							
1	-1	-1	-1.50	5.5	14.47	7.82	1.78	66.67	83.33	34.69	5.27
2	1	-1	-0.26	5.5	11.92	7.78	1.74	70.00	87.50	35.03	5.11
3	-1	1	-1.50	8.0	8.75	5.73	1.71	33.33	41.67	21.68	2.84
4	1	1	-0.26	8.0	9.67	5.88	1.53	46.67	58.33	22.43	2.52
5	-a	0	-1.76	6.8	11.43	6.05	1.71	70.00	87.50	30.16	5.24
6	a	0	0.00	6.8	13.31	7.37	1.71	80.00	100.00	37.16	4.85
7	0	-a	-0.88	5.0	9.73	6.68	1.65	60.00	75.00	30.52	4.65
8	0	a	-0.88	8.5	8.39	4.66	1.55	60.00	75.00	20.09	2.67
9	0	0	-0.88	6.8	9.50	7.42	1.69	63.33	79.17	31.77	4.01
10	0	0	-0.88	6.8	10.97	5.89	1.52	86.67	108.33	40.55	5.18
11	0	0	-0.88	6.8	9.92	5.54	1.47	73.33	91.67	27.86	4.03
12	0	0	-0.88	6.8	13.87	8.03	1.58	76.67	95.83	31.72	4.52
13	0	0	-0.88	6.8	10.52	5.96	1.66	76.67	95.83	31.99	4.76

表 3 中间锦鸡儿种子萌发和幼苗生长的最适方案

Table 3 Optimal solutions of <i>Caragana intermedia</i> seed germination and seedling growth										
渗透势 $\Psi\pi$	pH	胚轴长 H/mm	胚根长 R/mm	茎粗长 SD/mm	发芽率 GR/%	相对发芽率 Relative GR/%	发芽指数 Gi/%	活力指数 Vi	可靠性 Desirability	
-0.26	5.9	11.78	7.45	1.70	73.75	92.19	35.85	4.99	0.75	

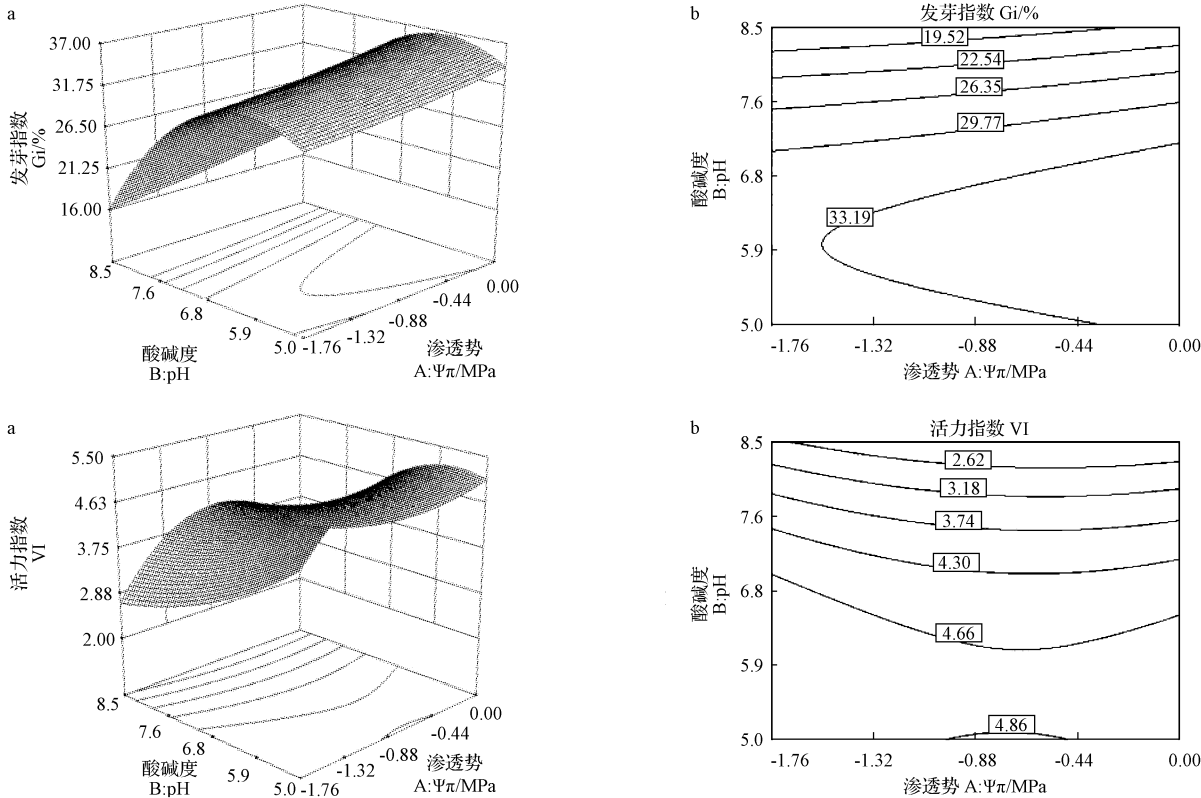


图 1 渗透势和 pH 及其交互作用对柠条种子 G_i 和 V_i 影响的响应面(a)和等高线(b)
Fig. 1 Response surface plot(a) and contour (b) of the effect of $\Psi\pi$ and pH and their interactions on G_i and V_i of *Caragana intermedia* seed

2.2 渗透势和 pH 对发芽率(GR)、相对发芽率(Relative GR)的影响

从表 4 可以看出,发芽率、相对发芽率失拟项分别为 $P=0.123\ 6$ 、 $P=0.123\ 4$,均大于 0.05,表明拟合的模型有效。其中 B^2 ($P=0.048\ 7$) 分别对 GR、Relative GR 有显著影响; $\Psi\pi$ 和 pH 与 GR、Relative GR 之间的实际二次回归方程的决定系数(R^2) 分别为 0.577 2、0.577 3。该模型能解释 57.72%、57.73% 响应值的变化。从表 2 和图 2 可以看出,不同 $\Psi\pi$ 下,渗透胁迫越大,发芽率和相对发芽率越低。当渗透势为 -0.88 ,pH 过高(pH 8.5)和过低(pH 5.0)时,均低于 pH 在 6.8 时的 GR、Relative GR。过高和过低的 pH 都会使 GR、Relative GR 值显著下降。pH 在 6.9~8.5 范围内时,随着 pH 增大,GR、VI 逐渐变小。 $\Psi\pi$ 、pH 分别为 -0.26 MPa、5.9,GR、

Relative GR 分别为 73.75%、92.19% 时最适合种子萌发(表 3)。

表 4 渗透势和 pH 对中间锦鸡儿种子发芽率和相对发芽率的回归模型系数显著性检验及方差分析

Table 4 Test of significance and analysis of variance for the effect of $\Psi\pi$ and pH on GR and relative GR of *Caragana intermedia* seed

变异源 Source	发芽率 GR		相对发芽率 Relative GR	
	F value	P-value Prob>F	F value	P-value Prob>F
模型 Model	1.91	0.210 6	1.91	0.210 6
A- $\Psi\pi$	0.80	0.400 7	0.80	0.400 7
B-pH	2.71	0.143 9	2.71	0.143 9
AB	0.17	0.693 3	0.17	0.693 8
A ²	0.57	0.473 1	0.57	0.473 1
B ²	5.68	0.048 7	5.68	0.048 7
失拟 Lack of fit	3.61	0.123 6	3.61	0.123 4

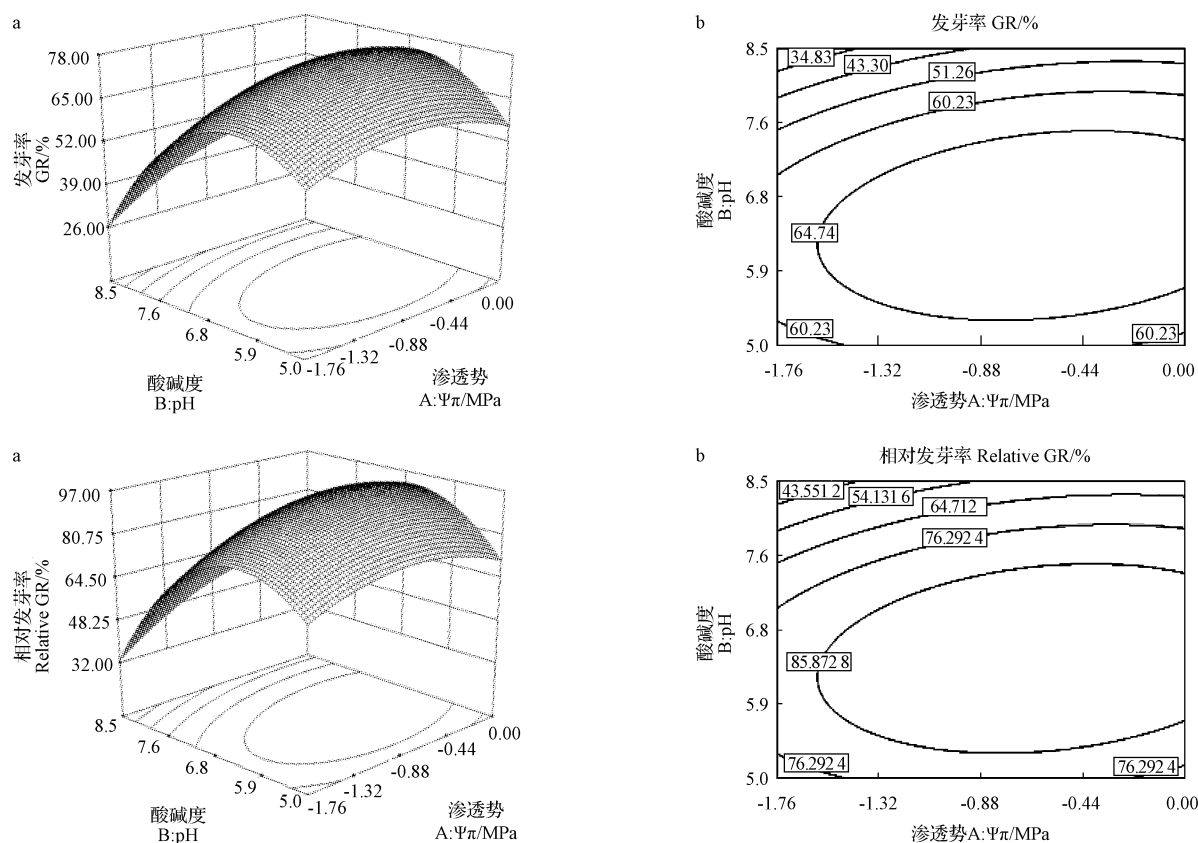


图 2 渗透势和 pH 及其交互作用对中间锦鸡儿种子 GR 和 Relative GR 影响的响应面(a)和等高线(b)

Fig. 2 Response surface plot(a) and contour (b) of the effect of $\Psi\pi$ and pH and their interactions on GR and relative GR of *Caragana intermedia* seed

2.3 渗透势和 pH 对胚轴长(H)、胚根长(R)、茎粗(SD)的影响

从表 5 可以看出,渗透势($\Psi\pi$) 与 pH 对中间锦鸡儿种子胚轴长、胚根长、茎粗所建立的回归模型不显著($P=0.211\ 1$ 、 $0.246\ 7$ 、 $0.172\ 3$);胚轴、胚根、茎粗失拟项分别为 $P=0.542\ 9$ 、 $P=0.783\ 7$ 、 $P=0.745\ 4$ 均大于

0.05,表明拟合的模型有效。pH 的一次项($P=0.035\ 2$) 对 R 有显著影响。 $\Psi\pi$ 的二次项对 SD 的影响接近($P=0.050\ 4$)显著水平。

$\Psi\pi$ 和 pH 与 H、R、SD 之间的实际二次回归方程的决定系数(R^2) 分别为 0.576 9、0.552 2、0.606 4。即该模型能解释 57.69%、55.22%、60.64% 响应值的变化。从

表 5 渗透势和 pH 对中间锦鸡儿种子胚轴、胚根、茎粗的回归模型系数显著性检验及方差分析

Table 5 Test of significance and analysis of variance for the effect of $\Psi\pi$ and pH on H,R and SD of *Caragana intermedia* seed

变异源 Source	胚轴长 H		胚根长 R		茎粗 SD	
	F value	P-value Prob>F	F value	P-value Prob>F	F value	P-value Prob>F
模型 Model	1.91	0.211 1	1.73	0.246 7	2.16	0.172 3
A- $\Psi\pi$	0.048	0.832 7	0.57	0.476 6	0.94	0.364 4
B-pH	4.42	0.073 6	6.78	0.035 2	3.45	0.105 5
AB	1.09	0.330 4	0.01	0.921 4	0.76	0.411 7
A ²	1.74	0.229 0	0.40	0.545 0	5.57	0.050 4
B ²	1.73	0.230 4	0.71	0.428 8	0.3	0.598 9
失拟 Lack of fit	0.83	0.542 9	0.36	0.783 7	0.43	0.745 4

表 2 和图 3 可以看出,pH 6.9~8.5 时,胚轴长(H)呈逐渐下降趋势,渗透势均为-0.88,pH 为 5.0 和 8.5 时的 H 均显著低于除 pH 为 8.0 以外的其它处理;渗透势、pH 为(-0.88,8.5)时的胚根长(R)均显著低于其它处理,pH 6.0~8.5 时,R 随着 pH 的增大而降低;在相同 pH 处理下,渗透势越高茎粗(SD)值越大。渗透势越靠近中心点 SD 越小,越往两边 SD 值越大。尤其在渗透势、pH 为(-0.26,8.0)、(-0.88,8.5)、(-0.88,6.8)时显著低于其它处理。 $\Psi\pi$ 、pH 分别为-0.26 MPa、5.9, H、R、SD 分别为 11.78、7.45、1.70 mm 时最适合种子萌发(表 3)。

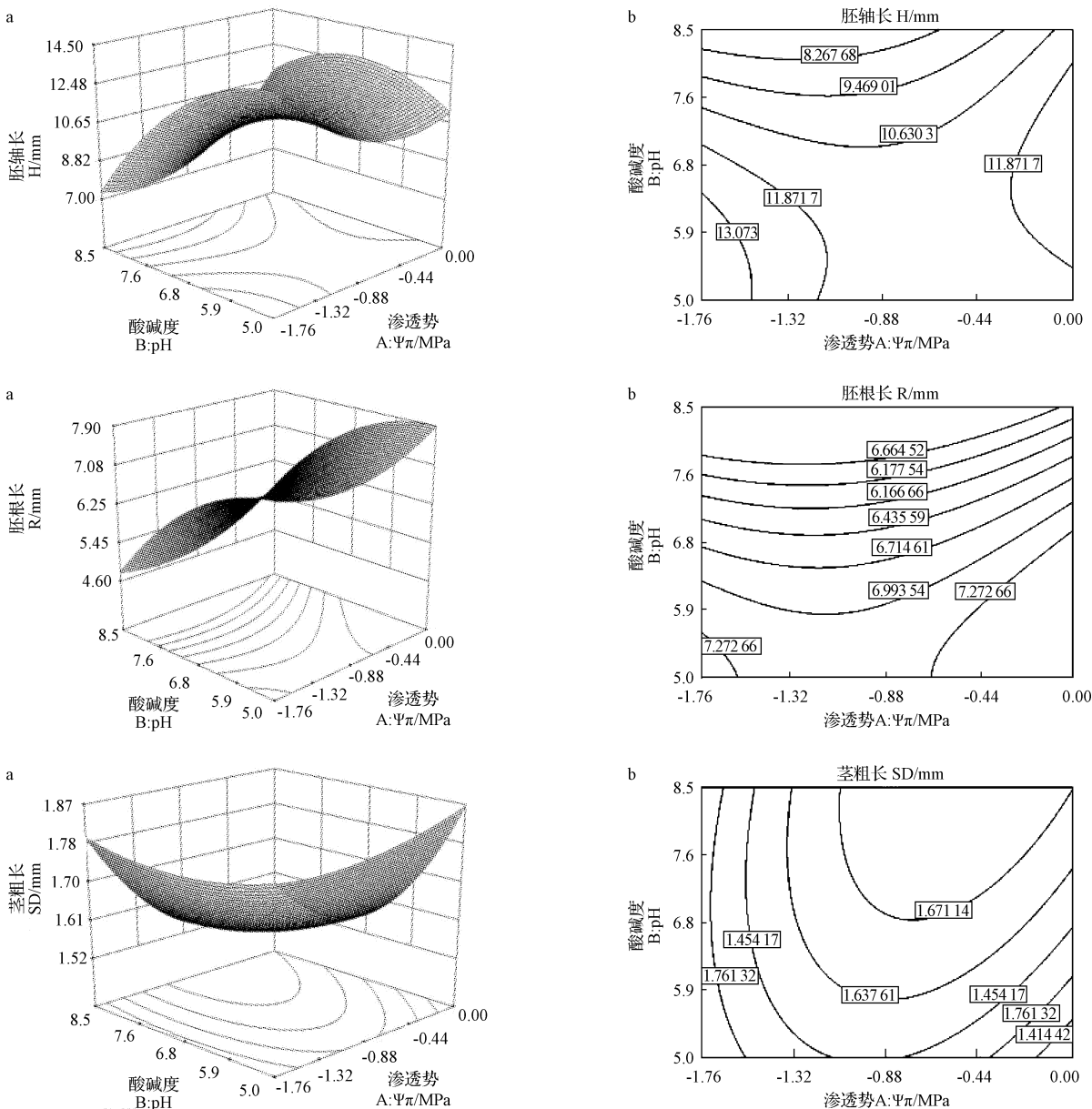


图 3 渗透势和 pH 及其交互作用对中间锦鸡儿种子 H、R、SD 影响的响应面(a)和等高线(b)
Fig. 3 Response surface plot(a) and contour (b) of the effect of $\Psi\pi$ and pH and their interactions on H,R and SD of *Caragana intermedia* seed

3 讨论

柠条(*Caragana intermedia*)因其蒸腾速率低、抗逆性强等特点,已经被广泛用于干旱半干旱地区的生态重建,特别是退耕还林和退牧还草中应用广泛^[20-21]。该地区干旱胁迫和酸碱度对其发芽和幼苗生长的影响研究具有重要意义。

3.1 渗透势和 pH 对中间锦鸡儿种子发芽指数(Gi)和活力指数(VI)的影响

发芽指数和活力指数是反映种子活力的综合指标^[14]。试验结果发现当渗透势胁迫达到最大值($\Psi\pi = -1.76$)时发芽指数要低于 $\Psi\pi = -0.88$ 和 $\Psi\pi = 0.00$ 时的值。这与罗光宏等^[5]的研究结果一致,随着干旱胁迫程度的加剧,唐古特白刺种子的萌发率、发芽指数、活力指数降低。

$B-pH$ 和 $B^2(pH^2)$ 分别对 Gi、VI 有极显著($P=0.009\ 5, P=0.001\ 2$)和显著($P=0.034\ 9, P=0.034\ 6$)影响, H 在 6.9~8.5 时,无论 $\Psi\pi$ 如何变化,随着 pH 的增大, Gi、VI 均呈逐渐变小的趋势,即此范围的 pH 对 Gi、VI 有明显的抑制作用。何海洋等^[14]研究发现,在 pH 6.5 时,与对照相比无显著差异。在碱性条件下, pH 为 8.0 和 8.5 时,其种子发芽与活力指数与对照相比均差异极显著,表明随着 pH 的增大,其发芽指数和活力指数总体呈下降趋势。可见 pH 对 Gi、VI 的抑制作用大于渗透势对 Gi、VI 的影响。

因此在柠条育苗及大面积种植柠条幼苗时,为了获得较高的 Gi、VI 值,不但要注意渗透势不可太高,基质或土壤的 pH 也需控制在小于 6.9 范围内。 $\Psi\pi$ 、pH 分别为 -0.26、5.9, Gi、VI 分别为 35.85、4.99 时最适合种子萌发(表 3)。

3.2 渗透势和 pH 对中间锦鸡儿种子发芽率(GR)、相对发芽率(Relative GR)的影响

该试验结果表明,当 pH 同为 5.5、6.8、8.0 时,随着渗透势的增大,发芽率和相对发芽率呈降低的趋势。其它植物受渗透胁迫的影响也表现类似的变化趋势,随着干旱胁迫程度的加剧,柠条^[2]、唐古特白刺^[5]、长豇豆^[6]、紫花苜蓿和高粱^[7]等种子的萌发率、发芽指数等指标降低。可见渗透势越大,柠条种子的发芽率、相对发芽率越低。在渗透胁迫下,植物种子萌发受到影响,原因之一是渗透胁迫引起植物细胞内生理活性的变化^[9]。并且,限制水分条件下萌发缓慢、萌发率低的特性是干旱沙漠区植物保证幼苗存活的策略之一^[22-23]。

相对于渗透势, pH 对发芽率、相对发芽率有显著影响。其中 $B^2(P=0.034\ 9, P=0.048\ 7)$ 分别对 GR、Relative GR 有显著影响。当渗透势为 -0.88 的情况下, pH 过高(pH 8.5)和过低(pH 5.0)时,均低于 pH 6.8 时的 GR、Relative GR。北美海蓬子的发芽率研究中也发现

pH 7.0 最适于北美海蓬子的种子发芽, pH 高于 7.0 时,随 pH 升高,发芽率呈下降趋势^[14]。与柠条同为豆科植物的绿豆种子在中偏碱的 pH(7.0~7.5)条件下萌发率最高、萌发最快、植株生长势相对较好,过低或过高的 pH 浸种不仅影响种子的萌发,还抑制植株的生长发育^[16],即 pH 过高和过低都会使种子的 GR、relative GR 值显著下降。其中绿豆种子最适 pH 比柠条种子略微偏高,可能是 2 种植物本身的生物学特性不同所致; $\Psi\pi$ 、pH 分别为 -0.26 MPa、5.9, GR、relative GR 分别为 73.75%、92.19%时最适合种子萌发(表 3)。

3.3 渗透势和 pH 对中间锦鸡儿种子胚根长(H)、胚轴长(R)、茎粗(SD)的影响

pH 6.9~8.5 时胚轴长(H)呈逐渐下降趋势,渗透势均为 -0.88, pH 为 5.0 和 8.5 时的 H 值显著低于除 pH 为 8.0 以外的其它处理; pH 的一次项($P=0.035\ 2$)对胚根长(R)有显著影响, pH 6.0~8.5 时,随着 pH 的增大 R 降低;有研究也表明中强度酸对光皮桦种子根有明显的抑制作用,在碱性条件下, pH 为 7.5~8.5 时,其根抑制指数与对照相比差异达到极显著水平^[14]。可见,过低或过高的 pH 浸种不仅影响种子的萌发,还抑制植株的生长发育^[19]。

$\Psi\pi$ 的二次项对 SD 的影响接近($P=0.050\ 4$)显著水平,在相同 pH 处理下,渗透势高的茎粗值较大(对照组除外),基本上渗透势越靠近中心点 SD 越小,越往两边值越大。有研究发现干旱胁迫和盐胁迫抑制了扁蓿豆和苜蓿种子胚芽和胚根的生长,干旱还抑制了地下部和地上部伸长、促进了上胚轴增粗、降低了种子萌发时的物质损耗^[19-20]。在水分胁迫下,萌发种子通常会主动调节地上与地下器官比例和生长量,使其有限的营养物质和水分优先满足根部生长^[10]。刘长利等^[8]、王进等^[24]、BAHRAMI 等^[25]研究发现不同植物在干旱胁迫下,根部优先生长的结论。该试验结果与其有所不同,茎粗的结果与其一致,而胚根、胚轴长却并没有显著变短,根部没有优先生长。这可能是由于试验处理与其不同,在渗透势和 pH 共同作用下,给种子创造了一个和单纯的干旱胁迫不同的生长环境,从而导致试验结果上的差异。因此为使幼苗茁壮生长、增加其抵御自然灾害的能力,可以适当的进行干旱胁迫,使茎粗增大,抑制其伸长生长,有助于幼苗的横向生长,从而达到蹲苗的作用。 $\Psi\pi$ 、pH 分别为 -0.26 MPa、5.9, H、R、SD 分别为 11.78、7.45、1.70 mm 时最适合种子萌发(表 3)。

该试验采用中心组合设计,通过响应曲面法建立渗透势与 pH 对特定发芽指数、活力指数、发芽率、相对发芽率、胚轴长、胚根长、茎粗长的曲面模型,二次多项回归方程的拟合度较好,可以对这些指标进行很好的分析与预测。最终获得影响最佳条件为 $\Psi\pi$ 、pH、H、R、SD、

GR、relative GR、Gi、VI 分别为 -0.26 MPa、 5.9 、 11.78 mm、 7.45 mm、 1.70 mm、 73.75% 、 92.19% 、 35.85 、 4.99 ，可靠性为 0.75 。

在生产中，可以将渗透势与 pH 尽量控制在适合其萌发和生长的最适合水平，当环境条件中二者不符合最佳水平时，可以适当的进行人为干预，以获得最有利于种子萌发和幼苗生长的环境条件。但应该注意渗透势与 pH 过高或过低不利于中间锦鸡儿种子的萌发和幼苗的生长。

参考文献

- [1] 宋乃平,杨新国,何秀珍,等.荒漠草原人工柠条林重建的土壤养分效应[J].水土保持通报,2012,32(4):21-26.
- [2] 蔡仕珍,潘远智,陈其兵,等. PEG 胁迫对柠条种子萌发及生理特性的影响[J]. 种子,2011,30(5):42-45.
- [3] 杜海燕,米金,朱来. 储藏温度、NaCl 及 PEG 渗透处理对中间锦鸡儿 (*Caragana intermedia*) 种子萌发的影响[J]. 中国沙漠,2015,35(4):907-911.
- [4] 翟德苹,陈林,杨新国,等. 苜蓿不同器官水浸提液对中间锦鸡儿种子萌发的影响[J]. 水土保持研究,2014,21(4):59-63.
- [5] 罗光宏,王进,颜霞,等. 干旱胁迫对唐古特白刺 (*Nitraria tangutorum*) 种子吸胀萌发和幼苗生长的影响[J]. 中国沙漠,2014,34(6):1537-1543.
- [6] 张凤银,陈禅友,张萍,等. PEG 模拟不同程度干旱胁迫对长豇豆种子萌发及幼苗生理特性的影响[J]. 湖南师范大学自然科学学报,2014(2):28-32.
- [7] 李文晓,张岁岐,山仑. 水分胁迫下紫花苜蓿和高粱种子萌发特性及幼苗耐旱性[J]. 生态学报,2009(6):3066-3074.
- [8] 刘长利,王文全,魏胜利. 干旱胁迫对甘草种子吸胀萌发的影响[J]. 中草药,2004,35(12):1402-1405.
- [9] 张俊风,段新芳,李庆梅,等. 壳聚糖处理对柠条种子萌发及幼苗生长的影响研究[J]. 种子,2009(9):80-83.
- [10] 那日,杨生,杨体强,等. 模拟沙地干旱环境研究电场对两种沙生植物抗旱性的影响[J]. 中国沙漠,2005,25(1):113-117.
- [11] 杨生,那日,杨体强. 电场处理对柠条种子萌发生长及酶活性的影响[J]. 中国草地学报,2004,26(3):78-80.
- [12] 谷丹,王建华. GA₃ 和 6-BA 对柠条锦鸡儿种子萌发及幼苗生长调控研究[J]. 种子,2004,23(11):3-6.
- [13] 张连第,阎德仁. 稀土对柠条种子萌发效应的研究[J]. 内蒙古林业科技,1996(3):50-52.
- [14] 何海洋,胡春芹,丁强强,等. 不同 pH 对光皮桦种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 西南林业大学学报,2013,33(5):29-33.
- [15] 余桂红,曹君,马鸿翔. NaCl 和 pH 值对北美海蓬子种子萌发的影响[J]. 江苏农业科学,2009(2):88-90.
- [16] 于秋良,杨志贤,李忠芳,等. pH 值对绿豆种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 南方农业学报,2012,43(10):1466-1469.
- [17] 程龙,韩占江,石新建,等. 白茎盐生草种子萌发特性及其对盐旱胁迫的响应[J]. 干旱区资源与环境,2015,29(3):131-136.
- [18] MICHEL B E, KAUFMANN M R. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000[J]. Plant Physiology, 1973, 51(5):914-916.
- [19] 鱼小军,肖红,徐长林,等. 扁蓿豆和苜蓿种子萌发期抗旱性和耐盐性比较[J]. 植物遗传资源学报,2015,16(2):405-410.
- [20] 李小芳,李军,王学春,等. 半干旱黄土丘陵区柠条林水分生产力和土壤干燥化效应模拟研究[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(3):113-119.
- [21] 王孟本,李洪建. 柠条 (*Caragana korshinskii*) 的水分生理生态学特性[J]. 植物生态学报,1996(6):494-501.
- [22] 曾彦军,王彦荣,保平,等. 几种生态因子对红砂和霸王种子萌发与幼苗生长的影响[J]. 草业学报,2005,14(5):24-31.
- [23] ZHU Y, TAN Y, HUA N. Is reduced seed germination due to water limitation a special survival strategy used by xerophytes in arid dunes[J]. Journal of Arid Environments, 2010, 74(4):508-511.
- [24] 王进,王桔红,张勇,等. 苦豆子和披针叶黄华种子萌发和幼苗生长对干旱胁迫的响应[J]. 中国生态农业学报,2011,19(4):872-877.
- [25] BAHRAMI H R J, OSTADI JAFARI A. Effect of drought stress on germination and seedling growth of sesame cultivars (*Sesamum indicum* L.) [J]. International Journal of Agri Science, 2012, 2(5):423-428.

Response of Osmotic Stress and pH on *Caragana intermedia* Seed Germination and Seedling Growth

ZHAO Wei^{1,2,3}, CHEN Lin^{1,2,3}, YANG Xinguo^{1,2,3}, LIU Xuedong^{1,2,3}, GU Junlong^{1,2,3}

(1. Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in North-western China of Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 2. Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration of North-western China, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021; 3. Union Research Center for Ecological and Exploitation of Biological Resources in Western China, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: Taking *C. intermedia* seed as test materials, by adopting central composite design and response surface analysis method, the synergetic effects of osmotic potential ($-1.76-0.00$ MPa) and pH ($5.0-8.5$) on Gi, VI, GR, relative GR, H, R, SD of *C. intermedia* under laboratory conditions were discussed. The results showed that the Gi, GR and relative GR decreased with increasing osmotic stress at different $\Psi\pi$. Too high (pH 8.5) and too low (pH 5.0) of pH, GR, relative GR were lower than these of pH 6.8, when the osmotic potential at -0.88 MPa. $A^2(\Psi\pi^2)$ closed to significant ($P=0.0504$) impact on SD; pH achieved extremely significant and significant effects on 5 index, B-pH and $B^2(pH^2)$ had extremely significant ($P=0.0095$, $P=0.0012$) and significant ($P=0.0349$, $P=0.0346$) impact on Gi and VI, respectively, B^2 had significant ($P=0.0349$, $P=0.0487$) impact on GR and relative GR, respectively, B-pH ($P=0.0352$)

DOI:10.11937/bfyy.201621018

芸苔素内酯对小叶女贞春梢和夏梢生长的影响

白 秀 文

(兴安职业技术学院 农牧系, 内蒙古 乌兰浩特 137400)

摘 要: 以小叶女贞为试材, 采用喷雾法, 研究了芸苔素内酯有效成分用量 $0.005 \sim 0.025 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 对小叶女贞生长的影响, 为芸苔素内酯在小叶女贞上的合理使用提供理论依据和技术指导。结果表明: 随着有效成分用药量的增加, 小叶女贞梢长增值、梢粗增值、叶片长度、叶片宽度、叶片厚度、叶片质量显著提高, 畸形叶率也随之升高。芸苔素内酯 $0.010 \sim 0.020 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 处理后, 与对照相比, 小叶女贞梢长增值、梢粗增值、叶片长度、叶片宽度、叶片厚度、叶片质量均显著提高, 而畸形叶率无显著差异。相关性分析发现, 就春梢而言, 芸苔素内酯浓度与小叶女贞梢长增值、叶片厚度和畸形叶率表现为极显著正相关, 相关系数均在 0.83 以上, 与梢粗增值、叶片长度、叶片宽度和叶片质量表现为显著正相关, 相关系数均在 0.51 以上。就夏梢而言, 除梢粗增值与芸苔素内酯浓度相关性不显著外, 其它相关性与春梢相同。说明芸苔素内酯处理浓度增大可有效促进枝梢和叶片生长, 但会提高畸形叶数量。综合分析认为, 在春梢和夏梢生长期, 采用有效成分含量为 $0.010 \sim 0.020 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 芸苔素内酯进行喷雾处理, 可有效增加春梢和夏梢的梢长和梢粗, 增大叶片大小、叶片厚度和叶片质量, 且畸形叶率较低。

关键词: 芸苔素内酯; 小叶女贞; 生长; 春梢; 夏梢; 相关性

中图分类号: S 793.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2016)21-0072-05

小叶女贞 (*Ligustrum quihoui* Carr.) 属木犀科 (Oleaceae) 女贞属 (*Ligustrum*) 灌木植物, 主要分布于我国华北、华中和西南地区^[1], 为我国园林绿化的常用绿篱材料之一。该植物适应性强, 喜光耐荫, 生长健壮, 易于造型, 对土壤无选择性, 对二氧化硫、氯气和氟化氢的抗性较强, 对烟尘、粉尘等耐性强^[2], 且具有良好的滞尘能力^[3-5], 常作为污染性工矿企业隔离带以及城市园林

及行道树下灌层优选种植树种^[6]。除此之外, 小叶女贞叶片和树皮均可以入药, 具有清热解毒的功效, 可用于治疗烫伤、外伤等^[7]; 果实提取物具有抗氧化、增强免疫力等活性^[8]。目前, 小叶女贞的研究主要集中在其作为绿化树种的绿化功能和作为中药材的相关有效成分生理生化方面, 关于如何利用植物生长调节剂在小叶女贞生长方面的调节作用研究较少。杨艳丽^[9]和马世民^[10]在利用植物生长抑制剂多效唑、抑芽丹抑制小叶女贞生长, 减少人工修剪、节省人力物力方面做了研究, 取得良好效果。而关于如何利用植物生长促进剂促进其快速生长, 进而减少塑形及封行成篱时间, 为中药材生产提

作者简介: 白秀文(1971-), 女, 本科, 副教授, 现主要从事园艺专业教学与科研等工作。E-mail: baixiuwenok@163.com.

基金项目: 内蒙古自治区高等学校科学研究资助项目(NJZY12285)。

收稿日期: 2016-07-20

had a significant ($P=0.035\ 2$) impact on R. SD increased with increasing osmotic stress in the same pH treatment. A smaller SD value when the osmotic potential closed to the center point, the value increased when the osmotic potential closed to edge, basically. When the pH 6.9~8.5, Gi, VI, GR, relative GR, H showed a tendency of gradually decreased with increasing pH value. When the pH 6.0~8.5, R decreased with increasing pH value; Osmotic potential and pH at (-0.26, 5.9), growth index reached the optimal value, $\Psi\pi$, pH, H, R, SD, GR, relative GR, Gi and VI, reached to -0.26 MPa, 5.9, 11.78 mm, 7.45 mm, 1.70 mm, 73.75%, 92.19%, 35.85 and 4.99, respectively, the desirability were 0.75. So osmotic stress of trace amounts and micro-acidic environment promote the seed germination and seedling growth of *Caragana intermedia*.

Keywords: *Caragana intermedia*; germination; growth; response surface