

不同宁夏枸杞品种种子耐锂性综合评价

王亚菲^{1,3}, 梁继业^{2,3*}, 王斌^{3,4}, 李郭^{3,4}, 左忠⁵, 姜黎⁶

(1. 塔里木大学园艺与林学院, 新疆 阿拉尔 843300; 2. 右江民族医学院药学院, 广西 百色 533000; 3. 塔里木盆地生物资源保护利用兵团重点实验室, 新疆 阿拉尔 843300; 4. 塔里木大学生命科学与技术学院, 新疆 阿拉尔 843300; 5. 宁夏农林科学院荒漠化治理研究所, 宁夏 银川 750002; 6. 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要:【目的】探究不同品种宁夏枸杞(*Lycium barbarum*)种子的耐锂性强弱。【方法】采用氯化锂(LiCl)溶液模拟锂环境, 研究11份宁夏枸杞种子的发芽势、发芽率、发芽指数、芽长、根长和活力指数, 并利用隶属函数法对其耐锂性进行综合评价。【结果】宁杞7号、宁农杞1号、宁农杞9号、14-401NM和16-23-8-10的发芽率随着锂浓度的增加呈现先升高后下降的趋势, 低浓度的锂对种子的萌发有促进作用, 枸杞对锂有一定的耐性。14-4-4-16品种虽然不存在上述的变化趋势, 但发芽率在任意浓度下都高于其他品种, 且在高浓度下也保持着高的萌发率。综合评价各品种排名顺序为: 14-401NM>14-4-4-13>16-23-8-10>宁农杞2号>宁农杞1号>16-23-7-8>宁农杞9号>宁杞5号>宁杞1号>14-16>宁杞7号。【结论】14-401NM、14-4-4-13和16-23-8-10综合隶属排名较高, 耐锂性相对较强。

关键词: 宁夏枸杞; 萌发指标; 耐锂; 综合评价

中图分类号: S567.19 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2024)06-0240-09

DOI: 10.13817/j.cnki.cyycp.2024.06.027



枸杞为茄科(Solanaceae)枸杞属(*Lycium*)的多年生灌木。中国对枸杞的开发利用最为发达, 因此已经成为全球枸杞产品的最主要生产国, 形成了五大枸杞主产地, 分别是宁夏中宁、甘肃酒泉、青海都兰、新疆精河、内蒙古乌特拉前旗。2008年以来, 枸杞产业有了快速发展^[1-2]。枸杞的生产涉及食品、酒水、保健品、甚至化妆品。红枸杞果实呈红橘黄色, 因为它的色素主要是类胡萝卜素。红枸杞果实有着增强免疫力, 抗衰老、抗肿瘤、抗疲劳、调节血脂、降血糖、降血压等多重功效^[3-10]。

近年来, 人们对手机的依赖和新能源汽车的需

求, 使锂工业发展迅速, 大量的工业污水排放, 造成土壤锂污染^[11]。锂元素也可存在于水体等各种环境介质中, 从而对人体、植物等造成伤害^[12-13]。对于植物, 土壤中过量的锂元素会直接接触其根部, 运输至植物体内, 并在植物体内大量富集, 影响植物生长, 锂元素还会影响植物叶绿素的合成^[14]。对于人类而言, 锂元素过量摄入会造成神经系统紊乱或肾脏衰竭等多种疾病^[15]。而枸杞是国际上公认的富锂植物, 可以通过种植枸杞来修复锂污染土壤^[16]。元伟等^[16]试验表明对枸杞叶片喷施氯化锂和碳酸锂, 可使叶片中的锂由1.707 μg/g富集到27.200 μg/g。有研究表明, 在盆栽中施加LiCl之后, 枸杞幼苗中根和茎的锂含量可达到对照的6倍之多, 叶片更能达到9倍之多^[17]。目前锂对枸杞种子萌发的研究报道较少, 但有研究表明, 当Li浓度达到100 mmol/L仍能促进盐角草种子的萌发, 而50 mmol/L锂就可以抑制罗布麻种子的萌发^[18-19]。因此本研究选取合适锂浓度范围研究锂对

收稿日期: 2023-10-11; **修回日期:** 2023-11-29

基金资助: 兵团重点领域科技攻关计划项目(2021AB022)。

作者简介: 王亚菲(1998-), 女, 河南洛阳人, 硕士研究生。

E-mail: 1037456862@qq.com

*通信作者。E-mail: Ljy_123123@126.com

宁夏枸杞种子萌发特征的影响,探究宁夏枸杞种子的耐锂性,为种植枸杞修复改良锂污染土壤提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 枸杞种子采集

选取11个性状稳定的适合宁夏栽培的枸杞品种为试材:宁杞1号、宁杞5号、宁杞7号、宁农杞1号、宁农杞2号、宁农杞9号、14-16、14-4-4-13、14-401NM、16-23-7-8、16-23-8-10,其种子采集于2020年,均由宁夏农林科学院提供。

1.2 发芽试验

每个培养皿(直径9 cm)放入25粒种子,加入LiCl溶液至滤纸饱和,设置8个处理:1、10、25、50、100、150、200、300 mmol/L,用蒸馏水作对照,每个处理重复4次。置于25℃恒温、光照14 h(光照强度为12 000 Lx)的培养箱中培养。测定指标:发芽过程中每24 h观察记录1次发芽情况,连续观察记录20 d,种子发芽以胚根露出种皮为准,20 d后测定根长和芽长。计算其发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数。

1.3 发芽参数测定

发芽率(Germination rate, GR) = (发芽种子数/供试种子数) × 100%;

发芽势(Germination potential, GP) = (第5天发芽种子数/供试种子数) × 100%;

发芽指数(Germination index, GI) = $\sum(G_t/D_t)$;

根长(Root length, RL):用游标卡尺进行测量;

芽长(Shoot length, SL):用游标卡尺进行测量;

活力指数(Vigour index, VI) = $S \times GI$ (G_t 指在时间 t 日内的发芽数, D_t 为相应的发芽天数。 S 指芽长与根长之和。)

1.4 发芽率与Li浓度之间的回归分析。

根据已有文献^[19],分别以枸杞种子的发芽率为50%、0时所对应的Li浓度,作为种子发芽时,Li浓度的临界值、极限值,将其代入方程分别计算各品种的回归方程。

1.5 数据分析

使用SPSS 25.0软件进行方差分析并用Excel计算隶属值,用Sigmaplot 12.5软件作图。

隶属函数法计算公式:

$$\text{隶属值} = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$$

式中: X 为测定值, $X_{\max}$ 为最大值, $X_{\min}$ 为最小值。

将隶属函数值进行累加,求取平均值,平均值越大,则该宁夏枸杞品种耐锂性越强。

2 结果与分析

2.1 不同LiCl浓度对宁夏枸杞种子发芽率的影响

宁杞7号、宁农杞1号、宁农杞9号、14-401NM和16-23-8-10的发芽率随着浓度的增加呈现先升高后下降的趋势,宁杞7号和宁农杞9号在10 mmol/L时达到最大,与对照相比分别增加了38.18%和6.58%。宁农杞1号、14-16NM和14-23-8-10则在10 mmol/L时发芽率达到最大,相较于对照分别增加3.16%、12.99%和4.17%(表1)。其余6个品种随着浓度的升高呈现逐渐降低的趋势。当大多数品种在LiCl浓度达到300 mmol/L已经停止发芽时,宁农杞1号、14-4-4-13和41-401NM还分别具有2%、7%和6%的萌发率。

2.2 宁夏枸杞的发芽率与Li浓度之间的回归分析

14-4-4-13、14-401NM的临界值与极限值较高,分别为215.24和434.54、166.61和384.95 mmol/L(表2)。

2.3 不同LiCl浓度对宁夏枸杞种子发芽势的影响

除16-23-8-10品种外其余品种的发芽势都随着浓度的升高而降低,16-23-8-10在浓度为1 mmol/L时达到了最高,高出对照12.82%。宁杞7号在浓度为25 mmol/L时为0,宁杞5号与14-16在100 mmol/L时发芽势为0(表3)。当浓度达到200 mmol/L,多数品种发芽势都为0%时,宁农杞2号和14-4-4-13依然分别具有1%和5%的发芽势。在300 mmol/L时,所有的品种发芽势都为0。

2.4 不同LiCl浓度对宁夏枸杞种子发芽指数的影响

多数品种的发芽指数随着浓度的增加而逐渐降低,宁农杞9号、14-401NM、16-23-8-10 3个品种随浓度的增加呈先上升后下降的趋势,宁农杞9号在10 mmol/L时,发芽指数达到最大,高于对照4.90%,而14-401NM、16-23-8-10这2个品种在10 mmol/L时开始呈现下降的趋势,在1 mmol/L时达到最大,相较于对照分别提升了9.29%和10.88%。与发芽率相同,大多数品种在LiCl浓度达到300 mmol/

表 1 不同 LiCl 浓度对宁夏枸杞种子发芽率的影响

Table 1 Effects of different LiCl concentration on germination percent of *Lycium barbarum* seeds

%

品种	LiCl 浓度/(mmol·L ⁻¹)								
	0	1	10	25	50	100	150	200	300
宁杞 1 号	92.00±3.65 ^a	75.00±7.19 ^b	64.00±7.83 ^b	72.00±4.32 ^b	72.00±7.48 ^b	60.00±4.62 ^b	14.00±2.58 ^c	12.00±1.63 ^c	0.00±0.00 ^c
宁杞 5 号	90.00±4.16 ^a	72.00±1.63 ^b	66.00±7.75 ^b	74.00±3.46 ^b	67.00±5.51 ^b	65.00±5.00 ^b	43.00±3.42 ^c	13.00±1.00 ^c	0.00±0.00 ^c
宁杞 7 号	55.00±3.00 ^b	60.00±8.16 ^b	76.00±5.66 ^a	55.00±4.12 ^b	57.00±3.42 ^b	47.00±5.26 ^{bc}	39.00±4.43 ^c	11.00±5.00 ^d	0.00±0.00 ^d
宁农杞 1 号	95.00±1.91 ^a	98.00±1.15 ^a	88.00±0.00 ^{ab}	82.00±2.58 ^b	80.00±2.83 ^b	84.00±4.32 ^b	63.00±5.26 ^c	47.00±7.72 ^d	2.00±1.15 ^e
宁农杞 2 号	93.00±2.52 ^a	79.00±5.00 ^{ab}	85.00±4.12 ^{ab}	75.00±4.12 ^b	80.00±3.65 ^{ab}	75.00±2.52 ^b	53.00±4.12 ^c	23.00±12.58 ^d	0.00±0.00 ^c
宁农杞 9 号	76.00±3.65 ^a	80.00±5.16 ^a	81.00±5.00 ^a	71.00±3.00 ^a	79.00±5.74 ^a	39.00±5.26 ^b	25.00±5.74 ^c	18.00±1.15 ^c	0.00±0.00 ^d
14-16	81.00±2.52 ^a	81.00±3.42 ^a	74.00±2.00 ^{ab}	70.00±3.46 ^b	68.00±3.65 ^{bc}	60.00±5.42 ^c	45.00±1.91 ^d	2.00±1.15 ^e	0.00±0.00 ^e
14-4-4-13	92.00±4.32 ^a	89.00±3.00 ^a	89.00±1.91 ^a	92.00±2.83 ^a	92.00±2.83 ^a	85.00±1.00 ^a	89.00±3.79 ^a	66.00±3.46 ^b	7.00±4.73 ^b
14-401NM	77.00±4.12 ^{ab}	87.00±1.00 ^a	82.00±3.83 ^a	80.00±3.65 ^a	85.00±3.42 ^a	69.00±5.26 ^{bc}	66.00±1.15 ^c	50.00±4.16 ^d	6.00±4.76 ^c
16-23-7-8	90.00±2.58 ^a	77.00±4.43 ^{bc}	79.00±1.00 ^{bc}	85.00±2.52 ^{ab}	64.00±8.49 ^d	69.00±4.43 ^{cd}	53.00±1.00 ^e	3.00±1.00 ^f	0.00±0.00 ^f
16-23-8-10	72.00±1.63 ^a	75.00±3.79 ^a	71.00±5.51 ^a	73.00±3.42 ^a	65.00±6.81 ^{ab}	55.00±4.43 ^{bc}	49.00±5.26 ^c	25.00±2.52 ^d	0.00±0.00 ^c

注:表中同行不同小写字母表示锂处理间差异显著($P<0.05$),下同。

表 2 不同品种宁夏枸杞发芽率与锂浓度的回归分析

Table 2 Regression analysis of germination rate and lithium concentration on different varieties of *Lycium barbarum*

品种	回归方程	决定系数	临界值/(mmol·L ⁻¹)	极限值/(mmol·L ⁻¹)
宁杞 1 号	$y=78.863-0.298x$	0.902	96.86	264.64
宁杞 5 号	$y=79.793-0.273x$	0.926	109.13	292.28
宁杞 7 号	$y=64.864-0.220x$	0.890	67.56	294.84
宁农杞 1 号	$y=96.817-0.278x$	0.937	168.41	348.26
宁农杞 2 号	$y=89.390-0.289x$	0.921	136.30	309.31
宁农杞 9 号	$y=79.217-0.292x$	0.936	100.06	271.29
14-16	$y=80.401-0.290x$	0.946	104.83	277.24
14-4-4-13	$y=99.074-0.228x$	0.841	215.24	434.54
14-401NM	$y=88.154-0.229x$	0.907	166.61	384.95
16-23-7-8	$y=85.896-0.303x$	0.921	118.47	283.49
16-23-8-10	$y=76.397-0.242x$	0.945	109.08	315.69

L 已经停止发芽时,宁农杞 1 号、14-4-4-13 和 41-401NM 还分别具有 0.77、4.86 和 2.24 的发芽指数(表 4)。

2.5 不同 LiCl 浓度对宁夏枸杞种子芽长的影响

14-16、14-4-4-13 和 16-23-8-10 随着浓度的增加芽的生长受到抑制(表 5)。其余 8 个品种芽

长随着浓度的升高呈现先上升后下降的趋势,宁杞 1 号在 1 mmol/L,芽长达到最长 2.45 cm,宁农杞 9 号在 10 mmol/L 时达到最长 3.00 cm,宁农杞 2 和 14-401NM 在 50 mmol/L 时,达到了最长,相比于对照分别增加了 33.17% 和 34.72%,宁杞 5 号、宁杞 7 号、宁农杞 1 号、16-23-7-8 在 25 mmol/L 时达到了最长,

表3 不同LiCl浓度对宁夏枸杞种子发芽势的影响

Table 3 Effects of different LiCl concentration on germination potential of *Lycium barbarum* seeds

[illegible]

表4 不同LiCl浓度对宁夏枸杞种子发芽指数的影响

Table 4 Effects of different LiCl concentration on germination index of *Lycium barbarum* seeds

品种	LiCl浓度/(mmol·L ⁻¹)								
	0	1	10	25	50	100	150	200	300
宁杞1号	124.64±8.51 ^a	101.84±5.28 ^b	77.63±8.93 ^c	81.20±4.97 ^c	73.65±9.44 ^c	54.71±5.61 ^d	10.72±2.54 ^e	7.48±1.28 ^e	0.00±0.00 ^e
宁杞5号	128.14±8.80 ^a	91.13±2.95 ^b	75.76±8.11 ^b	85.93±5.31 ^b	76.40±7.64 ^b	58.07±6.56 ^c	32.48±4.53 ^d	9.13±1.30 ^e	0.00±0.00 ^e
宁杞7号	61.71±3.93 ^{ab}	60.34±7.88 ^b	73.32±4.52 ^a	55.78±5.88 ^b	49.42±3.90 ^{bc}	38.24±4.91 ^c	23.14±1.22 ^d	5.69±2.88 ^e	0.00±0.00 ^e
宁农杞1号	144.77±5.52 ^a	132.65±1.03 ^a	132.07±3.14 ^a	108.57±2.37 ^b	95.31±5.26 ^c	79.83±5.68 ^d	44.30±6.04 ^e	27.07±5.92 ^f	0.77±0.48 ⁱ
宁农杞2号	141.54±4.68 ^a	111.16±5.01 ^b	111.41±3.83 ^b	103.15±6.26 ^{bc}	95.72±7.87 ^c	77.27±3.17 ^d	34.99±4.23 ^e	16.41±7.29 ^f	0.00±0.00 ^j
宁农杞9号	100.6±6.10 ^{ab}	105.47±6.00 ^a	105.53±5.09 ^a	86.38±5.07 ^b	92.36±9.16 ^{ab}	37.91±4.47 ^c	16.82±3.99 ^d	11.58±1.65 ^{de}	0.00±0.00 ^e
14—16	113.86±1.24 ^a	100.83±4.47 ^b	89.07±6.86 ^c	75.51±1.64 ^d	73.71±2.49 ^d	48.35±8.16 ^e	20.92±1.72 ^f	0.63±0.37 ^g	0.00±0.00 ^g
14—4—4—13	145.94±12.62 ^a	142.76±5.97 ^a	136.59±2.42 ^a	141.12±3.33 ^a	138.83±6.12 ^a	110.17±3.62 ^b	94.71±4.98 ^b	71.60±6.41 ^c	4.86±3.74 ^d
14—401NM	102.56±6.32 ^a	112.09±6.25 ^a	104.54±5.62 ^a	98.40±2.04 ^a	105.87±3.76 ^a	70.8±4.27 ^b	48.05±5.38 ^c	31.79±3.72 ^d	2.24±1.89 ^e
16—23—7—8	138.93±5.89 ^a	105.82±5.44 ^b	107.34±3.10 ^b	111.02±5.09 ^b	85.81±6.54 ^c	70.65±1.74 ^d	31.45±3.20 ^e	2.35±0.86 ^f	0.00±0.00 ^f
16—23—8—10	98.43±3.81 ^{ab}	109.14±5.76 ^a	101.14±6.42 ^{ab}	101.02±6.05 ^{ab}	87.66±10.93 ^b	61.19±9.09 ^c	41.09±2.38 ^d	17.25±3.32 ^e	0.00±0.00 ^e

表6 不同LiCl浓度对宁夏枸杞种子根长的影响

Table 6 Effects of different LiCl concentration on root length of *Lycium barbarum* seeds

cm

[illegible]

表7 不同 LiCl 浓度对宁夏枸杞种子活力指数的影响

Table 7 Effects of different LiCl concentration on vigour index of *Lycium barbarum* seeds[illegible]

表 8 各指标相关分析
Table 8 Correlation analysis of each index

性状	GR	VI	GP	GI	RL	SL
GR	1					
GP	0.167	1				
GI	0.825**	0.614**	1			
Ri	0.483**	−0.167	0.336	1		
SL	−0.162	0.215	−0.013	−0.263*	1	
VI	0.126	0.615**	0.461**	0.097	0.696**	1

注：“*”表示在 0.05 水平上显著相关，“**”表示在 0.01 水平上显著相关。

表 9 隶属函数值及综合排序
Table 9 Values of membership function and comprehensive ranking

	GR	GP	GI	RL	SL	VI	平均值	排名
宁杞 1 号	0.512	0.262	0.406	0.412	0.449	0.363	0.401	9
宁杞 5 号	0.544	0.184	0.429	0.546	0.344	0.377	0.404	8
宁杞 7 号	0.483	0.139	0.553	0.492	0.266	0.382	0.386	11
宁农杞 1 号	0.710	0.267	0.551	0.620	0.307	0.350	0.467	5
宁农杞 2 号	0.626	0.339	0.505	0.584	0.340	0.426	0.470	4
宁农杞 9 号	0.566	0.312	0.534	0.513	0.183	0.385	0.416	7
14—16	0.607	0.157	0.503	0.485	0.302	0.298	0.392	10
14—4—4—13	0.779	0.465	0.641	0.473	0.308	0.331	0.500	2
14—401NM	0.727	0.260	0.606	0.586	0.413	0.465	0.510	1
16—23—7—8	0.602	0.311	0.469	0.541	0.382	0.408	0.452	6
16—23—8—10	0.642	0.387	0.583	0.462	0.439	0.389	0.484	3

3 讨论

在植物生长过程中,种子发芽期是对盐胁迫十分敏感的时期之一,根系是首先感受盐胁迫的器官;在逆境中,植物能否生存第一步取决于它能否成功发芽^[20-21]。目前,锂对枸杞种子发芽与幼苗生长影响的报道较少,因此本试验通过设置不同浓度锂来探究宁夏枸杞种子的耐锂性。

试验利用单一指标鉴定植物种子抗逆性的强弱是片面的,应利用多项指标进行综合性评价,国内外专家普遍使用多指标相结合对植物种子进行综合评价^[22]。因此本研究采用了发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、根长和芽长这 6 项指标,对宁夏枸杞种子的耐锂性进行了综合评价,表现为:14—401NM>14—4—4—13>16—23—8—10>宁农杞 2 号>宁农杞 1 号>16—23—7—8>宁农杞 9 号>宁杞 5 号>宁杞 1 号>14—16>宁杞 7 号。

试验得出宁杞 7 号、宁农杞 1 号、宁农杞 9 号、14—

401NM 和 16—23—8—10 的发芽率随着浓度的增加呈现先升高后下降的趋势,说明这 5 个品种对锂具有一定的耐性。但宁农杞 2 号与 14—4—4—13 虽然没有先上升后下降的趋势,当锂达到高浓度时,却保持高于其他品种的萌发率。宁农杞 1 号和宁农杞 2 号在锂浓度达到 100 mmol/L 时,依旧保持高的萌发率,这与司雨等^[18]研究的结果相似,100 mmol/L 锂浓度促进盐角草种子的萌发。对于 14—4—4—13,其本身就有很高的萌发率,施加锂元素后,当浓度达到 200 mmol/L 时,萌发率还能超过 50%。这与 Jiang 等^[23]研究情况不同,当锂浓度达到 50 mmol/L 时,罗布麻种子的萌发受到了抑制。Gupta^[24]的研究表明,当锂浓度达到 5 mg/kg (0.72 mmol/L) 时,水稻(*Oryza sativa*)和鹰嘴豆(*Cicer arietinum*)的种子萌发率显著下降,即使是重金属超积累植物油菜(*Brassica carinata*),当锂浓度达到 120 mmol/L 时其种子萌发率低于 50%。说明枸杞相较于其他植物具有较强的耐锂性。综合评价中宁农杞 1 号、宁农杞 2 号和 14—4—4—13 的排名靠后,原

因在于浓度较高时,根长受到抑制较重,可能会对枸杞后续生长产生影响。

4 结论

11 份材料中筛选出 3 个耐锂性较强的品种,为 14-401NM、14-4-4-13 和 16-23-8-10。

参考文献:

- [1] 徐常青,刘赛,徐荣,等. 我国枸杞主产区生产现状调研及建议[J]. 中国中药杂志,2014,39(11):1979-1984.
- [2] 曹林,张爱玲. 我国枸杞产业发展的现状阶段与趋势分析[J]. 林业资源管理,2015,30(2):4-8.
- [3] Iris F F, Wai Y B, Chung J W. Enhanced bioavailability of zeaxanthin in a milk-based formulation of wolfberry[J]. British Journal of Nutrition, 2006, 96(1): 154-160.
- [4] 许亮,师俊玲,陈东方,等. 枸杞果酒中总黄酮含量的发酵条件优化[J]. 食品科学, 2011, 32(7): 188-193.
- [5] 叶春华. 枸杞豆腐保健食品的工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2010, 31(11): 113-115.
- [6] 张莉,孟靖,苟春林,等. 枸杞组分特征检测及产地溯源技术研究进展[J]. 分析测试学报, 2018, 37(7): 862-870.
- [7] Francisco C C, Jorge R E. A reflection on the role of ICP-MS in proteomics: Update and future perspective[J]. Journal of Proteomics, 2019, 198: 11-17.
- [8] 王丽哲,刘延东,王萌嘉,等. 针刺联合一贯煎治疗糖尿病合并抑郁症的临床研究[J]. 中医药信息, 2021, 38(7): 53-56.
- [9] 蒋兰,杨毅,江荣高. 枸杞的药理作用及其加工现状[J]. 食品工业科技, 2018, 39(14): 330-334.
- [10] 艾百拉·热合曼,王璇,赵亮,等. 干燥方法对枸杞营养和功能成分的影响[J]. 食品科学, 2017, 38(9): 138-142.
- [11] 周思凡,郑佳,赵蕴华,等. 产业链视角下我国锂产业发展现状与建议[J]. 资源与产业, 2017, 19(6): 22-29.
- [12] Shakoor N, Adeel M, Ahmad M A, *et al.* Environment relevant concentrations of lithium influence soybean development via metabolic reprogramming[J]. J Hazard Mater, 2023, 441: 129898.
- [13] Shakoor N, Adeel M, Ahmad M A, *et al.* Reimagining safe lithium applications in the living environment and its impacts on human, animal, and plant system[J]. Environ Sci EcoTech, 2023, 15: 100252.
- [14] Tanveer M, Hasanuzzaman M, Wang L. Lithium in environment and potential targets to reduce lithium toxicity in plants[J]. J Plant Growth Regul, 2019, 38: 1574-1586.
- [15] 杨学志,齐甜雨,文昊楠,等. 高精度锂分析方法及我国多种环境介质中锂污染初探[J]. 科学通报, 2023, 68(15): 1959-1970.
- [16] 亓伟,张元伊雯,张全武,等. 宁夏枸杞富锂试验[J]. 食品研究与开发, 2014, 35(23): 24-26.
- [17] 王亚菲. 枸杞不同生育期富锂特征及其生理生态适应性研究[D]. 阿拉尔:塔里木大学, 2023.
- [18] 司雨,刘畅,拉兰·艾尼瓦,等. 锂对盐草异型性种子萌发特性的影响[J]. 中国野生植物资源, 2022, 41(9): 14-17+49.
- [19] Jiang L, Wang L, Tian C Y. High lithium tolerance of Apocynum venetum seeds during germination[J]. Environmental science and pollution research international, 2018, 25(5): 5040-5046.
- [20] 李雪颖,高志昊,兰剑,等. NaCl胁迫下 25 份饲用型小黑麦种子的萌发特性及耐盐性评价[J]. 草原与草坪, 2023, 43(4): 65-71+80.
- [21] 向上,汪辉,田莉华,等. 温度对不同品种紫花苜蓿种子发芽特征的影响[J]. 草原与草坪, 2022, 42(2): 74-82.
- [22] Gontia M I, Sapre S, Sharma A, *et al.* Amelioration of drought tolerance in wheat by the interaction of plant growth-promoting rhizobacteria [J]. Plant biology, 2016, 18(6): 992-1000.
- [23] JIANG L, WANG L, MU S Y, *et al.* Apocynum venetum: A newly found lithium accumulator[J]. Elsevier Bv, 2014, 209(5): 285-289.
- [24] GUPTA I C. Lithium tolerance of wheat, barley, rice and gram at germination and seedling stage[J]. Indian Journal of Agricultural Research, 1974, 8: 103-107.

Comprehensive evaluation of lithium tolerance of seeds of different *Lycium barbarum* cultivars

WANG Ya-fei^{1,3}, LIANG Ji-ye^{2,3*}, WANG Bin^{3,4}, LI Guo^{3,4}, ZUO Zhong⁵, JIANG Li⁶

(1. College of Horticulture and Forestry, Tarim University, Alar 843300, China; 2. College of Pharmacy, Youjiang Medical University for Nationalities, Baise 533000, China; 3. Key Laboratory of Conservation and Utilization of Biological resources in Tarim Basin of Xinjiang Construction Corps, Alar 843300, China; 4. College of Life Sciences and Technology, Tarim University, Alar 843300, China; 5. Institute of Desertification Control, Ningxia Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Yinchuan 750002, China; 6. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China)

Abstract: 【Objective】 To investigate the lithium tolerance of different *Lycium chinense* seeds. 【Method】 The germination potential, germination rate, germination index, bud length, root length and vitality index of 11 *L. barbarum* seeds were studied by using LiCl solution to simulate lithium environment. The lithium tolerance was evaluated by membership function method. 【Result】 The germination rates of Ningqi No. 7, Ningnongqi No. 1, Ningnongqi No. 9, 14-401NM and 16-23-8-10 increased first and then decreased with the increase of concentration. Low concentration of lithium could promote seed germination, and *L. barbarum* had a certain tolerance to lithium. Although the 14-4-4-16 varieties did not have the above change trend, the germination rate was higher than that of other varieties at any concentration, and also maintained a high germination rate at high concentration. Therefore, through comprehensive evaluation, the ranking order was as follows: 14-401NM > 14-4-4-13 > 16-23-8-10 > Ningnongqi 2 > Ningnongqi 1 > 16-23-7-8 > Ningnongqi 9 > Ningqi 5 > Ningqi 1 > 14-16 > Ningqi 7. 【Conclusion】 14-401NM, 14-4-4-13 and 16-23-8-10 have higher comprehensive affiliations and relatively strong lithium resistance. This study can provide theoretical basis for the remediation of lithium polluted soil by *L. barbarum*.

Key words: *Lycium barbarum*; germination index; lithium resistance; comprehensive evaluation

(责任编辑:刘建荣)