

# 外源赤霉素浸种对盐胁迫下高羊茅种子萌发和幼苗生长的影响

陈本菊, 刘容, 李振华, 刘敏婷, 赵心笛, 路佳音, 柴琦\*

(兰州大学草地农业科技学院, 甘肃兰州 730020)

**摘要:**【目的】探究外源赤霉素浸种对盐胁迫下高羊茅种子萌发和幼苗生长的影响。【方法】以高羊茅火凤凰2号为材料, 采用纸上发芽法, 设置20个处理, 用0、100、150、200、300 mg/L GA溶液浸泡高羊茅种子2 d, 然后将其分别置于含0、100、200、250 mmol/L NaCl溶液的培养皿中进行萌发试验, 并测定种子萌发和幼苗生长的相关指标。【结果】在100 mmol/L盐胁迫下, 能缓解盐胁迫进而促进种子萌发和幼苗生长的最佳GA浓度为200 mg/L, 种子萌发各项指标优于0 mg/L GA处理, 在200、250 mmol/L盐胁迫下, 能缓解盐胁迫从而促进种子萌发和幼苗生长的最佳GA浓度为150 mg/L, 种子萌发各项指标略优于0 mg/L GA处理。【结论】模糊数学隶属函数法对不同浓度GA溶液浸种缓解盐胁迫能力综合分析证明, 能够缓解盐胁迫并促进种子萌发和幼苗生长的较佳赤霉素浓度为150 mg/L。

**关键词:**高羊茅; 盐胁迫; 赤霉素; 种子萌发; 幼苗生长

**中图分类号:**S543+.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)04-0103-10

**DOI:**10.13817/j.cnki.cycp.2024.04.012



高羊茅(*Festuca arundinacea*), 又名苇状羊茅, 是禾本科羊茅属的多年生草本植物, 其根系发达, 具有耐践踏, 抗性强, 适应性广, 叶片柔软且绿期长等特点, 是冷季型草坪中最常用的草种之一<sup>[1]</sup>。

在我国北方, 高羊茅人工草地需要通过灌溉来进行维护, 但长期灌溉容易导致土壤盐渍化, 对高羊茅造成严重的盐胁迫<sup>[2]</sup>。盐胁迫作为非生物胁迫之一, 是影响植物种子萌发、植物生长的主要逆境因素<sup>[3]</sup>。

赤霉素(Gibberellin, GA)是一种广泛分布于植物中的重要生长激素, 参与种子发芽、幼苗生长和果实发育等重要生理过程。赤霉素可以促进植物生长素的合成和细胞的伸长, 提高种子的胚内酶活性并促进种子的生理代谢活动<sup>[4]</sup>。有研究发现, 人为添加赤霉素可以达到缓解盐胁迫从而促进种子萌发和幼苗生

长的目的, 张丽丽等<sup>[5]</sup>在水培试验中发现, 对于水稻(*Oryza sativa*)种子来说, 50 mg/L外源赤霉素缓解盐胁迫的效应最明显; Chauhan等<sup>[6]</sup>发现质量分数为 $1.5 \times 10^{-4}$ 的GA浸种处理的燕麦(*Avena sativa*)种子能够在不同的盐浓度条件下萌发和生长指标达到最大值。前人研究表明了不同类别植物种子对外源赤霉素的敏感程度不尽相同, 并且关于赤霉素浸种高羊茅的研究较少, 因此, 探究缓解盐胁迫从而促进高羊茅种子萌发的适宜赤霉素浸种浓度具有重要意义。

基于上述研究现状, 为探究在高羊茅种子萌发和幼苗生长中缓解盐胁迫的最佳赤霉素浓度, 本试验采用种子萌发试验, 通过测定和分析高羊茅种子萌发和幼苗生长等指标, 以期得到在盐胁迫下能有效促进高羊茅种子萌发和幼苗生长的赤霉素浸种浓度, 进而为高羊茅在土壤盐渍化地区的培育和建植提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

试验选用高羊茅种子, 品种为火凤凰2号, 购买于

收稿日期: 2023-07-09; 修回日期: 2023-08-29

作者简介: 陈本菊(2000-), 女, 贵州黔南人, 布依族, 研究方向为草坪抗逆性研究。

E-mail: chenbj19@lzu.edu.cn

\*通信作者。E-mail: chaiqi@lzu.edu.cn

北京克劳沃公司;赤霉素由上海展云化学试剂有限公司生产;NaCl(分析纯)由天津大茂化学试剂厂生产。

### 1.2 试验方法

试验采用纸上发芽法,选择健康、成熟且饱满的高羊茅种子,先用75%的酒精溶液对其消毒30 s,再用蒸馏水漂洗1~3遍。然后将消毒好的高羊茅种子分别用0、100、150、200、300 mg/L赤霉素(GA)浸泡2 d,浸种结束后将种子移出并回干12 h<sup>[7]</sup>。

在铺有双层滤纸的培养皿中,分别用0、100、200、250 mmol/L的氯化钠溶液5 mL浸透滤纸,然后将浸泡后的高羊茅种子均匀的摆在培养皿内已浸透的滤纸上(50粒/皿),放入恒温光照培养箱中培养(光照14 h,温度为25℃;黑暗10 h,温度为20℃),试验采用完全随机试验设计,以蒸馏水处理为对照(CK),共20个处理,每个处理重复4次。

### 1.3 测定指标

种子萌动后,会形成胚根和胚芽,当胚根和胚芽达到种子的一半长度时,就被认为已经发芽<sup>[8]</sup>。每天记录发芽数,试验第7天测定发芽势和相对发芽势,试验第28天时计算发芽率、发芽指数、活力指数和相对盐害率等<sup>[9]</sup>。

发芽率(GR)=发芽种子总数/供试种子总数×100%;

发芽势(GP)=规定天数内发芽种子数/供试种子数×100%;

发芽指数(GI)= $\sum G_i/D_i$ ;

活力指数(VI)= $S \times \sum G_i/D_i$ ;

相对盐害率=(对照发芽率-处理发芽率)/对照发芽率×100%

式中: $G_i$ 为不同时间发芽数, $D_i$ 为相应发芽天数, $S$ 为幼苗长度。

生长指标:发芽结束后,苗长、根长取10株健康植株用尺子测量后取平均值,叶片长度、叶片宽度、叶片总表面积和根系的根尖数、根系长度、根系直径和根系总表面积采用仪器扫描,每个处理选取有代表性的10株生长基本整齐一致的植株,分离叶片和根系,根系先用甲基兰染液染色,后用蒸馏水漂洗,再用HP-C7717Singaporean 仪器扫描根系和叶片,Delta-TSCAN系统分析<sup>[9]</sup>。

采用模糊数学隶属函数法进行缓解盐胁迫综合

评价:

$$X(\mu) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min});$$

$X(\mu) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ,当指标呈负相关时,可以用反隶属函数进行转换。

式中: $X(\mu)$ 为高羊茅在某一盐胁迫指标的不同赤霉素浓度浸种处理的隶属函数值, $X$ 为该指标的平均值, $X_{\max}$ 和 $X_{\min}$ 为该指标的最大值和最小值<sup>[10]</sup>。

### 1.4 数据统计与分析

试验数据采用Excel 2019进行统计处理和制表,采用IBM SPSS Statistics 23.0进行最小显著差异法(LSD)分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 赤霉素(GA)浸种对NaCl胁迫下高羊茅种子萌发指标的影响

2.1.1 赤霉素浸种对不同浓度盐胁迫下高羊茅种子发芽率的影响 在0 mmol/L盐胁迫下,200 mg/L GA处理的发芽率最高;在100 mmol/L盐胁迫下,随GA浓度的升高,高羊茅种子的发芽率先升高后降低,200 mg/L GA处理的发芽率最高,300 mg/L GA处理的发芽率最低,其中,300 mg/L GA处理的高羊茅发芽率相较于0 mg/L GA处理降低了1.07%,200 mg/L GA处理的发芽率比0 mg/L GA处理升高了2.67%;在200 mmol/L盐胁迫下,随GA浓度升高,发芽率先升高再降低,200 mg/L GA处理的发芽率最高,较0 mg/L GA处理组升高了10%;在250 mmol/L盐胁迫下,150 mg/L GA处理的发芽率最高,比0 mg/L GA处理升高了6.51%。在同一浓度GA处理下,随盐浓度的升高,除0 mg/L GA处理的发芽率呈现出先升高后降低的趋势外,其余处理的发芽率呈现降低趋势(表1)。

2.1.2 赤霉素浸种对不同浓度盐胁迫下高羊茅种子发芽势的影响 在0 mmol/L盐胁迫下,200 mg/L GA处理的发芽势最高,该处理对应的发芽势与CK差异显著( $P < 0.05$ );在100 mmol/L盐胁迫下,发芽势随着GA浓度的升高呈现出先升高后降低的趋势,200 mg/L GA处理的发芽势最高,较0 mg/L GA处理组升高了44.44%,各处理之间差异均不显著;在200 mmol/L盐胁迫下,200 mg/L GA和300 mg/L GA处理的发芽势最高,较0 mg/L GA处

表 1 4 种盐浓度条件下经不同浓度 GA 浸种的高羊茅发芽率

Table 1 Germination rate of tall fescue seeds soaked with different concentrations of GA at four salt concentrations

%

GA 浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	NaCl 浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	250
0	93.00±1.91 <sup>aA</sup>	93.50±2.63 <sup>aA</sup>	85.00±1.73 <sup>aA</sup>	84.50±2.63 <sup>aA</sup>
100	96.00±1.41 <sup>aA</sup>	94.50±2.36 <sup>aAC</sup>	90.50±2.63 <sup>aAB</sup>	81.50±4.35 <sup>aB</sup>
150	95.50±0.95 <sup>aA</sup>	95.00±1.91 <sup>aA</sup>	90.00±1.41 <sup>aA</sup>	90.00±1.83 <sup>aA</sup>
200	97.50±0.95 <sup>aA</sup>	96.0±0.82 <sup>aA</sup>	93.50±1.50 <sup>aA</sup>	88.00±3.56 <sup>aB</sup>
300	93.50±3.30 <sup>aA</sup>	92.50±1.50 <sup>aA</sup>	91.50±4.03 <sup>aA</sup>	88.00±2.16 <sup>aA</sup>

注:不同小写字母表示同列不同 GA 浓度间差异显著,不同大写字母表示行同行不同盐浓度间差异显著,下同。

理升高了 90%;在 250 mmol/L 盐胁迫下,300 mg/L GA 处理的发芽势最高。在 GA 浓度保持不变的前提下,随着盐浓度的升高,高羊茅种子的发芽势一直降低(表 2)。

表 2 4 种盐浓度条件下经不同浓度 GA 浸种的高羊茅发芽势

Table 2 Germination potential of tall fescue seeds soaked with different concentrations of GA at four salt concentrations

%

GA 浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	NaCl 浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	250
0	58.00±3.65 <sup>bA</sup>	31.50±6.24 <sup>aA</sup>	5.00±4.36 <sup>aA</sup>	0.00±0 <sup>aA</sup>
100	67.50±4.99 <sup>abA</sup>	34.50±1.89 <sup>aAB</sup>	6.00±1.41 <sup>aB</sup>	1.50±0.96 <sup>aB</sup>
150	65.50±5.56 <sup>abA</sup>	36.50±4.19 <sup>aAB</sup>	8.50±1.71 <sup>aB</sup>	1.00±1.00 <sup>aB</sup>
200	77.00±4.20 <sup>aA</sup>	45.50±1.50 <sup>aAB</sup>	9.50±4.11 <sup>aBC</sup>	0.50±0.50 <sup>aC</sup>
300	70.00±4.97 <sup>abA</sup>	41.00±2.65 <sup>aAB</sup>	9.50±1.50 <sup>aB</sup>	3.00±1.00 <sup>aB</sup>

2.1.3 赤霉素浸种对不同浓度盐胁迫下高羊茅种子发芽指数的影响 在 0 mmol/L 盐胁迫下,200 mg/L GA 处理的发芽指数最高,与 CK 差异显著( $P < 0.05$ );100 mmol/L 盐胁迫下,200 mg/L GA 处理的发芽指数最高;200 mmol/L 盐胁迫下,发芽指数随 GA 浓度的升高呈现出先升高后降低的趋势,200

mg/L GA 处理的发芽指数最高,与 0 mg/L、100 mg/L GA 处理差异显著( $P < 0.05$ ),分别升高了 33.11%、20.36%;250 mmol/L 盐胁迫下,150 mg/L GA 处理的发芽指数最高,各处理之间无显著差异(表 3)。在 GA 浓度保持不变的前提下,随着盐浓度的升高,高羊茅种子的发芽指数一直降低。

表 3 4 种盐浓度条件下经不同浓度 GA 浸种的高羊茅发芽指数

Table 3 Germination index of tall fescue seeds soaked with different concentrations of GA at four salt concentrations

%

GA 浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	NaCl 浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	250
0	2.49±0.06 <sup>bA</sup>	2.23±0.12 <sup>aAB</sup>	1.51±0.08 <sup>bBC</sup>	1.25±0.11 <sup>aC</sup>
100	2.65±0.04 <sup>aA</sup>	2.21±0.04 <sup>bB</sup>	1.67±0.05 <sup>bC</sup>	1.20±0.11 <sup>aD</sup>
150	2.59±0.04 <sup>aA</sup>	2.34±0.07 <sup>aA</sup>	1.77±0.09 <sup>abB</sup>	1.45±0.06 <sup>aC</sup>
200	2.77±0.04 <sup>aA</sup>	2.48±0.03 <sup>aA</sup>	2.01±0.06 <sup>aB</sup>	1.40±0.13 <sup>aC</sup>
300	2.60±0.10 <sup>aA</sup>	2.32±0.04 <sup>aA</sup>	1.78±0.08 <sup>abB</sup>	1.39±0.05 <sup>aC</sup>

2.1.4 赤霉素浸种对不同浓度盐胁迫下高羊茅种子活力指数的影响 在 0 mmol/L 盐胁迫下,随 GA 浓度升高,高羊茅种子活力指数先升高后降低,200 mg/L

GA 处理的活力指数最高,较 CK 升高了 99.56%,且与其余处理差异显著( $P < 0.05$ );在 100、200 和 250 mmol/L 盐胁迫下,随 GA 浓度的升高,活力指数

均先升高后降低。在 100 mmol/L 盐胁迫下, 200 mg/L GA 处理的活力指数最高, 较 0 mg/L GA 处理升高了 116.37%, 与其余处理差异显著 ( $P < 0.05$ ); 200 mmol/L 盐胁迫下, 200 mg/L GA 处理的活力指数最高, 与 0 mg/L GA 处理差异显著 ( $P < 0.05$ );

250 mmol/L 盐胁迫下, 200 mg/L GA 处理的活力指数最高, 与 0 mg/L 处理差异显著 ( $P < 0.05$ ) (表 4)。在 GA 浓度保持不变的前提下, 随着盐浓度的升高, 高羊茅种子的活力指数一直降低。

表 4 4 种盐浓度条件下经不同浓度 GA 浸种的高羊茅活力指数

Table 4 Vigour indices of tall fescue seeds soaked with different concentrations of GA at four salt concentrations %

GA 浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	NaCl 浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	250
0	22.80±0.41 <sup>cA</sup>	15.27±0.95 <sup>dB</sup>	7.37±0.23 <sup>dC</sup>	5.06±0.49 <sup>bC</sup>
100	32.19±0.95 <sup>bA</sup>	22.41±0.81 <sup>cB</sup>	10.82±0.63 <sup>cC</sup>	6.34±0.55 <sup>bD</sup>
150	33.71±2.30 <sup>bA</sup>	26.80±1.74 <sup>bB</sup>	13.54±0.67 <sup>bC</sup>	8.79±0.50 <sup>aC</sup>
200	45.50±1.54 <sup>aA</sup>	33.04±1.04 <sup>aB</sup>	17.41±1.00 <sup>aC</sup>	9.54±1.03 <sup>aD</sup>
300	35.17±1.08 <sup>bA</sup>	26.41±0.48 <sup>bcb</sup>	15.95±0.91 <sup>abC</sup>	9.24±0.73 <sup>aD</sup>

2.1.5 赤霉素浸种对不同浓度盐胁迫下高羊茅种子相对盐害率的影响 在 100 mmol/L 盐胁迫下, 随 GA 浓度的升高, 相对盐害率不断降低, 300 mg/L GA 处理的相对盐害率最低, 各处理之间无显著差异; 200 mmol/L 盐胁迫下, 相对盐害率随 GA 浓度的升高而先降低后升高, 200 mg/L GA 处理的相对盐害率最

低; 250 mmol/L 盐胁迫下, 150 mg/L GA 处理的相对盐害率最低。在 GA 浓度保持不变的前提下, 随盐浓度的升高, 0 mg/L、100 mg/L、150 mg/L GA 处理对应的相对盐害率一直升高, 200 mg/L、300 mg/L GA 处理对应的相对盐害率呈现出不同程度的先降低后升高 (表 5)。

表 5 3 种盐浓度条件下经不同浓度 GA 浸种的高羊茅相对盐害率

Table 5 Relative salt damage (%) of tall fescue seeds soaked with different concentrations of GA at three salt concentrations (NaCl) %

GA 浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	NaCl 浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )		
	100	200	250
0	4.30±1.39 <sup>aA</sup>	8.60±1.86 <sup>aA</sup>	9.14±2.83 <sup>aA</sup>
100	4.30±1.08 <sup>aA</sup>	4.84±1.61 <sup>aA</sup>	12.90±4.16 <sup>aA</sup>
150	3.23±1.52 <sup>aA</sup>	3.23±1.52 <sup>aA</sup>	3.76±1.61 <sup>aA</sup>
200	3.23±0.88 <sup>aA</sup>	2.69±0.54 <sup>aA</sup>	5.91±3.55 <sup>aA</sup>
300	2.69±0.54 <sup>aA</sup>	5.91±2.83 <sup>aA</sup>	5.91±1.84 <sup>aA</sup>

## 2.2 赤霉素浸种对 NaCl 胁迫下高羊茅幼苗生长指标的影响

2.2.1 赤霉素浸种对不同浓度盐胁迫下高羊茅幼苗根系的影响 在 0 mmol/L 盐胁迫下, 200 mg/L GA 处理的根系长度最长, 300 mg/L GA 处理最短, 且 200 mg/L GA 处理 300 mg/L GA 处理差异显著 ( $P < 0.05$ ); 在 100 mmol/L 盐胁迫下, 200 mg/L GA 处理的根系长度最长, 与 0 mg/L GA 处理差异显著 ( $P < 0.05$ ); 在 200 mmol/L 和 250 mmol/L 盐胁迫下, 0 mg/L GA 处理的根系长度均最长。在 GA 浓度保持不变的前提下, 随着盐浓度的升高, 高羊茅幼苗的根

系长度一直减少 (表 6)。

在 0~100 mmol/L 盐胁迫下, 随 GA 浓度升高, 根系直径先减小后增大。在 GA 浓度保持不变的前提下, 随着盐浓度的升高, 0 mg/L GA 处理的高羊茅幼苗根系直径先增大后减小, 100、150、200 mg/L GA 处理幼苗根系直径一直增大 (表 7)。

在 0~100 mmol/L 盐胁迫下, 200 mg/L GA 处理的根系表面积最大, 300 mg/L GA 处理最小, 各处理之间差异不显著 ( $P > 0.05$ ); 200 mmol/L 盐胁迫下, 0 mg/L GA 处理的根表面积最大; 250 mmol/L 盐胁迫下, 幼苗根系表面积随 GA 浓度的升高而先增大后

表 6 4 种盐浓度条件下经不同浓度 GA 浸种的高羊茅根系长度  
Table 6 Root length (mm/plant) of tall fescue soaked with different concentrations of GA at four salt concentrations

mm·株<sup>-1</sup>

GA 浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	NaCl 浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	250
0	101.86±12.12 <sup>abA</sup>	60.08±3.03 <sup>bb</sup>	32.67±2.93 <sup>abC</sup>	23.55±2.88 <sup>aC</sup>
100	87.48±10.40 <sup>abA</sup>	64.85±3.37 <sup>abA</sup>	24.92±1.16 <sup>abB</sup>	18.30±1.88 <sup>abB</sup>
150	103.45±18.85 <sup>abA</sup>	62.17±0.96 <sup>baB</sup>	24.09±1.33 <sup>bbC</sup>	15.43±3.23 <sup>abC</sup>
200	128.35±3.31 <sup>aA</sup>	74.44±2.76 <sup>ab</sup>	28.83±2.00 <sup>abC</sup>	19.57±2.52 <sup>abC</sup>
300	82.34±5.71 <sup>ba</sup>	46.61±2.67 <sup>cb</sup>	27.95±2.13 <sup>abC</sup>	14.06±0.60 <sup>bc</sup>

表 7 4 种盐浓度条件下经不同浓度 GA 浸种的高羊茅根系直径  
Table 7 Root width of tall fescue seeds soaked with different concentrations of GA at four salt concentrations

mm·株<sup>-1</sup>

GA 浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	NaCl 浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	250
0	0.06±0.001 <sup>aA</sup>	0.07±0.004 <sup>aA</sup>	0.07±0.005 <sup>aA</sup>	0.06±0.005 <sup>aA</sup>
100	0.06±0.003 <sup>ab</sup>	0.06±0.005 <sup>bb</sup>	0.08±0.005 <sup>aA</sup>	0.09±0.004 <sup>aA</sup>
150	0.05±0.003 <sup>bb</sup>	0.06±0.006 <sup>bb</sup>	0.08±0.005 <sup>aA</sup>	0.09±0.004 <sup>aA</sup>
200	0.05±0.002 <sup>bb</sup>	0.06±0.005 <sup>baB</sup>	0.07±0.005 <sup>aA</sup>	0.07±0.008 <sup>aA</sup>
300	0.06±0.004 <sup>aA</sup>	0.08±0.006 <sup>aA</sup>	0.07±0.007 <sup>aA</sup>	0.08±0.018 <sup>aA</sup>

表 8 4 种盐浓度条件下经不同浓度 GA 浸种的高羊茅根系表面积  
Table 8 Root surface area of tall fescue seeds soaked with different concentrations of GA at four salt concentrations

mm<sup>2</sup>·株<sup>-1</sup>

GA 浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	NaCl 浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	250
0	35.47±4.24 <sup>aA</sup>	27.42±0.89 <sup>aA</sup>	13.53±1.98 <sup>ab</sup>	9.75±1.90 <sup>ab</sup>
100	31.02±4.69 <sup>aA</sup>	25.04±1.53 <sup>aA</sup>	13.07±0.85 <sup>ab</sup>	9.84±1.28 <sup>ab</sup>
150	35.39±7.05 <sup>aA</sup>	24.96±1.70 <sup>aAB</sup>	11.05±0.47 <sup>ab</sup>	9.01±2.13 <sup>ab</sup>
200	40.85±2.36 <sup>aA</sup>	30.36±2.97 <sup>ab</sup>	13.04±0.90 <sup>ac</sup>	8.46±1.79 <sup>ac</sup>
300	30.44±3.20 <sup>aA</sup>	23.82±2.39 <sup>aA</sup>	12.25±2.13 <sup>ab</sup>	7.02±1.53 <sup>ab</sup>

减小,各处理之间无显著差异。在 GA 浓度保持不变的前提下,随着盐浓度的升高,高羊茅根系表面积一直减小(表 8)。

在 0~100 mmol/L 盐胁迫下,200 mg/L GA 处理的根尖数最多,300 mg/L GA 处理最少,各处理之间差异不显著;在 200 mmol/L 盐胁迫下,300 mg/L GA

处理的根尖数最多,除 300 mg/L GA 处理外其余处理均较 0 mg/L GA 处理的根尖数少;250 mmol/L 盐胁迫下,其余处理根尖数均较 0 mg/L GA 处理少。在 GA 浓度保持不变的前提下,随着盐浓度的升高,根尖数一直减少(表 9)。

2.2.2 赤霉素浸种对不同浓度盐胁迫下高羊茅幼苗

表 9 4 种盐浓度条件下经不同浓度 GA 浸种的高羊茅根尖数  
Table 9 Number of tall fescue root tips soaked with different concentrations of GA at four salt concentrations 个·株<sup>-1</sup>

GA 浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	NaCl 浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	250
0	12.68±1.31 <sup>aA</sup>	6.83±0.68 <sup>abB</sup>	4.70±0.48 <sup>ab</sup>	4.13±0.39 <sup>ab</sup>
100	12.70±0.64 <sup>aA</sup>	8.15±0.52 <sup>ab</sup>	4.40±0.35 <sup>ac</sup>	3.10±0.27 <sup>bc</sup>
150	12.45±1.52 <sup>aA</sup>	6.30±0.37 <sup>abB</sup>	3.75±0.52 <sup>ab</sup>	3.35±0.42 <sup>abB</sup>
200	12.75±0.46 <sup>aA</sup>	8.35±0.78 <sup>ab</sup>	4.18±0.41 <sup>ac</sup>	3.65±0.43 <sup>bc</sup>
300	10.30±0.77 <sup>aA</sup>	5.38±0.52 <sup>bb</sup>	4.98±0.25 <sup>ab</sup>	2.63±0.33 <sup>bc</sup>

叶片的影响 在100~200 mmol/L盐胁迫下,随GA浓度的升高,叶片长度不断增长,且300 mg/L GA处理最长,0 mg/L GA处理最短。在0 mmol/L盐胁迫下,300 mg/L GA处理叶片长度较CK增长了50.91%,与CK均差异显著( $P<0.05$ );在100 mmol/L盐胁迫下,300 mg/L GA处理叶片长度较0 mg/L GA处理增长了87.45%,与0 mg/L GA均差异显著( $P<0.05$ );在200 mmol/L盐胁迫下,300 mg/L GA处理叶片长度较0 mg/L GA处理增长了68.86%,且300 mg/L GA处理与200 mg/L GA处理差异不显著;在250 mmol/L盐胁迫下,300 mg/L GA处理与

200 mg/L GA处理无显著差异。在GA浓度为200 mg/L前提下,随盐浓度的升高,高羊茅叶片长度先增长后减短,其余GA处理的高羊茅叶片长度随盐浓度的升高而一直减短(表10)。

在每个盐胁迫下0 mg/L GA处理的高羊茅叶片宽度最大。在100 mmol/L盐胁迫下,随着GA浓度的升高,高羊茅叶片宽度一直减小,0 mg/L GA处理与其余处理差异显著( $P<0.05$ )。在GA浓度保持不变的前提下,随盐浓度的升高,0 mg/L和200 mg/L GA对应的叶宽先增大后减小,300 mg/L GA处理对应的叶宽一直增大(表11)。

表10 4种盐浓度条件下经不同浓度GA浸种的高羊茅叶片长度

Table 10 Leaf length (mm/plant) of tall fescue impregnated with different concentrations of GA at four salt concentrations

mm·株<sup>-1</sup>

GA浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	NaCl浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	250
0	9.37±0.74 <sup>bA</sup>	7.81±3.57 <sup>bB</sup>	5.94±0.68 <sup>cC</sup>	4.58±2.61 <sup>bD</sup>
100	13.45±7.66 <sup>aA</sup>	12.61±7.28 <sup>aA</sup>	7.51±5.27 <sup>bB</sup>	6.99±1.97 <sup>aB</sup>
150	13.04±9.07 <sup>aA</sup>	13.17±5.65 <sup>aA</sup>	8.71±2.94 <sup>abB</sup>	7.72±2.13 <sup>aB</sup>
200	12.95±6.04 <sup>aA</sup>	13.97±8.58 <sup>aA</sup>	9.91±5.59 <sup>abB</sup>	7.40±3.07 <sup>aB</sup>
300	14.14±6.93 <sup>aA</sup>	14.64±3.44 <sup>aA</sup>	10.03±2.99 <sup>abB</sup>	7.92±7.45 <sup>abB</sup>

表11 4种盐浓度条件下经不同浓度GA浸种的高羊茅叶片宽度

Table 11 Leaf width of tall fescue impregnated with different concentrations of GA at four salt concentrations

mm<sup>2</sup>·株<sup>-1</sup>

GA浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	NaCl浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	250
0	0.100±0.001 <sup>aB</sup>	0.120±0.004 <sup>aA</sup>	0.100±0.003 <sup>aB</sup>	0.100±0.006 <sup>aB</sup>
100	0.070±0.000 <sup>bB</sup>	0.090±0.003 <sup>bA</sup>	0.080±0.007 <sup>bcAB</sup>	0.090±0.004 <sup>abA</sup>
150	0.060±0.000 <sup>cB</sup>	0.090±0.002 <sup>bA</sup>	0.080±0.003 <sup>bcA</sup>	0.090±0.006 <sup>abA</sup>
200	0.070±0.000 <sup>bc</sup>	0.080±0.005 <sup>bcB</sup>	0.090±0.002 <sup>abA</sup>	0.070±0.003 <sup>cC</sup>
300	0.060±0.000 <sup>cB</sup>	0.070±0.005 <sup>cAB</sup>	0.070±0.003 <sup>cAB</sup>	0.080±0.006 <sup>bcA</sup>

在100~200 mmol/L盐胁迫下,随GA浓度的升高,高羊茅幼苗叶片表面积先增大后减小,且200 mg/L GA处理的叶片表面积最大。250 mmol/L盐胁迫下,150 mg/L GA处理的叶片表面积最大。在同一浓度GA处理下,随着盐浓度的升高,高羊茅叶片表面积先增大后减小(表12)。

### 2.3 不同盐浓度处理下高羊茅萌发指标和生长指标的隶属函数法分析

对设置的4个不同的盐浓度下不同GA浓度浸种的高羊茅种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、相对盐害率、叶片长度、叶片表面积、叶片宽度、根

系长度、根系表面积、根系直径、根尖数结果采用隶属函数法计算,得到隶属函数总平均值(表13),结果表明:在没有盐胁迫的情况下,100 mg/L GA浸种浓度最佳,在100 mmol/L盐胁迫下,促进高羊茅生长程度最佳的GA浸种浓度为200 mg/L;在200~250 mmol/L盐胁迫下,促进高羊茅生长的最佳GA浸种浓度为150 mg/L。同时为了计算出在盐胁迫下能够缓解盐胁迫从而促进高羊茅的生长的最佳GA浸种浓度,再把100、200、250 mmol/L盐胁迫内各GA浓度对应的高羊茅的各项生长指标采用隶属函数法计算,得到综合平均值(表14),结果表明,在有盐胁迫条件下,

表 12 4 种盐浓度条件下经不同浓度 GA 浸种的高羊茅叶片表面积  
Table 12 Leaf surface area of tall fescue seeds soaked with different concentrations of GA at four salt concentrations

mm<sup>2</sup>·株<sup>-1</sup>

GA 浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	NaCl 浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )			
	0	100	200	250
0	54.27±2.64 <sup>aA</sup>	57.03±4.50 <sup>aA</sup>	36.96±1.52 <sup>bB</sup>	26.90±2.34 <sup>bB</sup>
100	55.95±3.93 <sup>aAB</sup>	68.09±6.51 <sup>aA</sup>	38.27±4.72 <sup>bB</sup>	36.65±1.26 <sup>abB</sup>
150	51.92±5.57 <sup>aAB</sup>	71.11±4.25 <sup>aA</sup>	44.06±2.69 <sup>abB</sup>	43.04±2.97 <sup>abB</sup>
200	52.92±4.28 <sup>aAB</sup>	72.39±7.61 <sup>aA</sup>	55.52±4.35 <sup>aB</sup>	33.94±1.36 <sup>abB</sup>
300	53.23±3.35 <sup>aAB</sup>	63.61±4.67 <sup>aA</sup>	44.17±2.10 <sup>abB</sup>	41.56±4.15 <sup>abB</sup>

能够缓解盐胁迫从而促进高羊茅种子萌发和幼苗生长的 GA 浸种浓度由大到小依次为 150 mg/L > 200 mg/L > 100 mg/L > 300 mg/L > 0 mg/L。

表 13 不同浓度 NaCl 胁迫下经不同浓度赤霉素浸种的高羊茅各项指标隶属值及高羊茅生长综合评价

Table 13 Affiliation values of various indicators and comprehensive evaluation of the growth of tall fescue under different concentrations of NaCl stress with different concentrations of gibberellin drenched seeds

NaCl 浓度/(mmol·L <sup>-1</sup> )	GA 浓度/(mg·L <sup>-1</sup> )	发芽率	发芽势	发芽指数	活力指数	相对盐害率	叶片表面积	叶片宽度	叶片长度	根系表面积	根系直径	根系长度	根尖数	综合值	排序
0	0	0.50	0.63	0.54	0.41	0.50	0.40	0.34	0.40	0.46	0.58	0.46	0.51	0.476	4
	100	0.61	0.67	0.44	0.62	0.38	0.39	0.60	0.42	0.62	0.51	0.69	0.53	0.540	1
	150	0.52	0.38	0.73	0.32	0.63	0.56	0.57	0.43	0.37	0.40	0.33	0.43	0.472	5
	200	0.50	0.38	0.53	0.56	0.62	0.49	0.54	0.56	0.61	0.46	0.54	0.53	0.527	2
	300	0.50	0.54	0.51	0.54	0.38	0.46	0.30	0.36	0.64	0.42	0.48	0.62	0.478	3
100	0	0.41	0.63	0.53	0.45	0.50	0.38	0.38	0.42	0.64	0.48	0.41	0.36	0.466	4
	100	0.31	0.65	0.43	0.32	0.25	0.52	0.57	0.50	0.59	0.45	0.46	0.60	0.471	3
	150	0.43	0.38	0.45	0.63	0.67	0.36	0.29	0.45	0.53	0.47	0.63	0.60	0.489	2
	200	0.58	0.50	0.48	0.42	0.50	0.65	0.66	0.73	0.48	0.43	0.65	0.46	0.545	1
	300	0.42	0.42	0.40	0.53	0.25	0.55	0.44	0.50	0.58	0.55	0.34	0.34	0.443	5
200	0	0.28	0.50	0.45	0.48	0.50	0.56	0.44	0.60	0.37	0.48	0.37	0.52	0.463	4
	100	0.67	0.45	0.68	0.49	0.42	0.59	0.42	0.56	0.45	0.59	0.43	0.60	0.528	2
	150	0.56	0.67	0.49	0.58	0.67	0.52	0.63	0.48	0.61	0.37	0.40	0.67	0.554	1
	200	0.42	0.58	0.45	0.42	0.25	0.51	0.62	0.48	0.42	0.46	0.33	0.54	0.455	5
	300	0.58	0.64	0.57	0.58	0.63	0.31	0.36	0.54	0.41	0.43	0.46	0.34	0.489	3
250	0	0.00	0.45	0.29	0.36	0.45	0.35	0.44	0.64	0.38	0.52	0.35	0.66	0.407	5
	100	0.38	0.38	0.46	0.37	0.39	0.57	0.58	0.47	0.41	0.62	0.46	0.67	0.479	4
	150	0.25	0.50	0.60	0.34	0.58	0.56	0.58	0.42	0.52	0.53	0.57	0.74	0.516	1
	200	0.25	0.63	0.59	0.48	0.68	0.56	0.49	0.32	0.40	0.40	0.49	0.58	0.488	3
	300	0.75	0.40	0.56	0.50	0.44	0.58	0.40	0.52	0.32	0.34	0.62	0.52	0.495	2

### 3 讨论

#### 3.1 赤霉素浸种对不同浓度盐胁迫下高羊茅种子萌发的影响

3.1.1 赤霉素浸种对盐胁迫下高羊茅种子萌发各项指标的影响 发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数直接反映了种子发芽整齐度、发芽速度及种子活力,同时也可以用来判定其萌发期的耐盐性<sup>[11]</sup>。根据本试验结果分析,随盐浓度的升高,高羊茅种子的发芽

率、发芽势和发芽指数等不断降低,这与前人在大黄(*Rheum officinale*)<sup>[12]</sup>、蒙古黄芪(*Astragalus mongholicus*)<sup>[13]</sup>和膜荚黄芪(*A. membranaceus*)<sup>[14]</sup>的研究结果一致;在 100 mmol/L 和 200 mmol/L 较低、中浓度盐胁迫下(简写为较低、中浓度盐胁迫),能够缓解盐胁迫从而促进种子萌发、提高种子萌发速率、提高种子活力的最佳的 GA 浓度为 200 mg/L,这与王伟杰等<sup>[15]</sup>研究结果一致;在本试验所设置的盐浓度范围内,随盐浓度的增高,能够缓解盐胁迫从而提高种子发芽率

表 14 不同浓度 NaCl 胁迫下经不同浓度赤霉素浸种的高羊茅指标隶属值及赤霉素缓解盐胁迫综合评价

Table 14 Index affiliation values of tall fescue seeds drenched with different concentrations of gibberellin under different NaCl stress and comprehensive evaluation of gibberellin for salt stress mitigation

GA 浓度/ (mg·L <sup>-1</sup> )	NaCl 浓度/ (mmol·L <sup>-1</sup> )	发芽率	发芽势	发芽 指数	活力 指数	相对盐 害率	叶片表 面积	叶片 宽度	叶片 长度	根系表 面积	根系 直径	根系 长度	根尖数	综合值	排序
0	100	0.41	0.63	0.53	0.45	0.50	0.38	0.38	0.42	0.64	0.48	0.41	0.36	0.445	5
	200	0.28	0.50	0.45	0.48	0.50	0.56	0.44	0.60	0.37	0.48	0.37	0.52		
	250	0.00	0.45	0.29	0.36	0.45	0.35	0.44	0.64	0.38	0.52	0.35	0.66		
100	100	0.31	0.65	0.43	0.32	0.25	0.52	0.57	0.50	0.59	0.45	0.46	0.60	0.493	3
	200	0.67	0.45	0.68	0.49	0.42	0.59	0.42	0.56	0.45	0.59	0.43	0.60		
	250	0.38	0.38	0.46	0.37	0.39	0.57	0.58	0.47	0.41	0.62	0.46	0.67		
150	100	0.43	0.38	0.45	0.63	0.67	0.36	0.29	0.45	0.53	0.47	0.63	0.60	0.520	1
	200	0.56	0.67	0.49	0.58	0.67	0.52	0.63	0.48	0.61	0.37	0.40	0.67		
	250	0.25	0.50	0.60	0.34	0.58	0.56	0.58	0.42	0.52	0.53	0.57	0.74		
200	100	0.58	0.50	0.48	0.42	0.50	0.65	0.66	0.73	0.48	0.43	0.65	0.46	0.496	2
	200	0.42	0.58	0.45	0.42	0.25	0.51	0.62	0.48	0.42	0.46	0.33	0.54		
	250	0.25	0.63	0.59	0.48	0.68	0.56	0.49	0.32	0.40	0.40	0.49	0.58		
300	100	0.42	0.42	0.40	0.53	0.25	0.55	0.44	0.50	0.58	0.55	0.34	0.34	0.476	4
	200	0.58	0.64	0.57	0.58	0.63	0.31	0.36	0.54	0.41	0.43	0.46	0.34		
	250	0.75	0.40	0.56	0.50	0.44	0.58	0.40	0.52	0.32	0.34	0.62	0.52		

和发芽指数的较佳 GA 浓度在一定范围内降低,而缓解盐胁迫从而提高种子发芽势的较佳 GA 浓度在一定范围内升高,缓解盐胁迫从而提高种子活力指数的较佳 GA 浓度则一直保持不变;李翊华等<sup>[16]</sup>对黄瓜(*Cucumis sativus*)种子、杨晓平等<sup>[17]</sup>对甘蓝(*Brassica oleracea*)种子的探讨表明,一定浓度的 GA 处理可以有效缓解种子的盐胁迫,在低浓度 GA 处理条件下,种子的发芽特性随 GA 浓度的升高呈上升趋势,而在高浓度 GA 处理条件下则呈下降趋势,且增幅明显小于低浓度 GA 处理,本试验结果与之相似;在 0 mg/L GA 处理下,随着盐浓度的升高,高羊茅种子的发芽率呈现先增高后降低的趋势,在 100 mmol/L 盐浓度时的发芽率高于 CK,这与谢德意等<sup>[18]</sup>关于棉花(*Gossypium* spp.)种子的研究结论相似,即一定范围内,低浓度盐胁迫可以促进种子的萌发。

3.1.2 赤霉素浸种对盐胁迫下高羊茅种子萌发期间相对盐害率的影响 相对盐害率可以直接反应种子在萌发期间受到盐害的程度,在 200 mmol/L 盐胁迫下,随 GA 浓度的升高,相对盐害率呈现出先下降后上升的趋势,这与韦朝妹等<sup>[19]</sup>的研究结果相似。在本试验所设置的盐浓度范围内,随着盐浓度的升高,能够降低相对盐害率的最佳 GA 浓度依次降低,最佳 GA 浸种浓度随盐浓度的升高依次为 300、200、150 mg/L,

且降低相对盐害率的幅度先增大后减小,即随着盐浓度的升高,最佳 GA 缓解盐胁迫的能力先增大后减小。

### 3.2 赤霉素浸种对不同浓度盐胁迫下高羊茅幼苗生长的影响

3.2.1 赤霉素浸种对不同浓度盐胁迫下高羊茅幼苗根的影响 国内许多研究表明,外源赤霉素浸种会在一定程度上缓解盐胁迫从而提高幼苗的成活率。施加外源赤霉素可以在一定程度上提高植物对抗盐胁迫的能力从而缓解盐胁迫带来的不利影响,维持植物体正常生长发育,戴陶宇等<sup>[7]</sup>研究表明,当番茄(*Solanum lycopersicum*)受到一定浓度的盐胁迫,影响种子发芽和幼苗生长时,通过施用一定浓度的 GA 可以减轻盐胁迫的负面影响,而一定浓度的 GA 对盐胁迫下番茄主根芽的生长有一定的影响;刘贵娟<sup>[20]</sup>研究表明,赤霉素浸种能促进蓖麻(*Ricinus communis*)种子幼芽和幼根的生长,在一定程度上缓解了盐分对蓖麻种子幼芽和幼根生长的胁迫作用。根据本试验结果,在较低浓度盐胁迫下,对高羊茅幼苗根系长度和根系表面积生长最佳的 GA 浓度均为 200 mg/L,在中、高浓度盐胁迫下,所有不同浓度赤霉素处理的高羊茅根系长度均小于无赤霉素处理,可以猜测在中、高度盐胁迫条件下 GA 浸种对高羊茅的根系长度有抑制作用。在较低浓度盐胁迫下,对高羊茅幼苗根系直径和根尖

数生长最佳的GA浓度均为200 mg/L,在较中度盐胁迫下,对高羊茅幼苗根尖数生长最佳的GA浓度为300 mg/L,而在较高浓度盐胁迫下,所有不同浓度GA处理的高羊茅根尖数均小于无赤霉素处理的高羊茅根尖数,可以猜测随着盐胁迫的增加,有利于高羊茅根尖数生长的赤霉素浓度可能会在一定程度上增加,并且当盐胁迫为较高浓度时,本试验所设置的GA浓度对高羊茅根头数的生长有抑制作用。在同一盐浓度下,随GA浓度的升高,当GA浓度为300 mg/L时,高羊茅幼苗的根系长度以及根系表面积均小于没有赤霉素浸种处理组,说明当赤霉素浓度超过一定范围后将会抑制高羊茅幼苗根的生长,这与戴陶宇<sup>[7]</sup>等关于番茄的相关研究结果一致。

3.2.2 赤霉素浸种对不同浓度盐胁迫下高羊茅幼苗叶的影响 高添乐等<sup>[21]</sup>研究表明,喷施外源GA<sub>3</sub>能够缓解盐胁迫对甜玉米(*Zea mays*)幼苗造成的伤害;俞龙生等<sup>[22]</sup>研究表明,200 mg/L GA浸种对黄槐决明(*Cassia surattensis*)幼苗苗长具有一定促进作用。根据本试验结果分析,在4个浓度的盐胁迫下,对高羊茅幼苗叶片长度生长最佳的GA浓度均为300 mg/L,且高羊茅的叶片长度随着盐浓度的升高而变短,这与李依民等<sup>[12]</sup>关于大黄种子的相关研究趋势一致。在较低、中度盐胁迫下,对高羊茅幼苗叶片表面积生长最佳的GA浓度为200 mg/L,在较高浓度盐胁迫下,对高羊茅幼苗叶片表面积生长最佳的GA浓度为150 mg/L,随着盐浓度的升高,缓解盐胁迫从而促进高羊茅幼苗叶片表面积生长的最佳赤霉素浓度降低。

## 4 结论

本试验以高羊茅为研究对象,分析了较低、中、高度盐胁迫下经不同浓度赤霉素浸泡对高羊茅种子萌发和幼苗生长的影响,结果表明:1)在无GA浸种处理的条件下,随盐浓度的升高,高羊茅的发芽率、叶片面积、叶片宽度和根系直径等指标在较低盐浓度下达到最高值,即随着盐浓度的升高而先升高后降低,其他各项指标基本降低。2)在无盐胁迫且GA浸种处理条件下,高羊茅种子的活力指数随着GA浓度的升高而先升高后降低,即GA浸种在一定浓度范围内对高羊茅种子萌发有促进作用,但当超过这个范围之后可能会抑制高羊茅种子的萌发。3)在本试验所设的盐

胁迫下,随盐浓度的升高,能够缓解盐胁迫从而降低相对盐害率的最佳GA浓度依次降低,采用模糊数学隶属函数法对高羊茅的萌发指标和幼苗生长指标进行计算分析,得出在一定的盐浓度范围内能够缓解盐胁迫从而促进高羊茅种子萌发和幼苗生长的最佳赤霉素浓度为150 mg/L,研究结果为高羊茅在土壤盐渍化地区的培育和建植提供了理论依据。

## 参考文献:

- [1] 陈志飞,宋书红,张晓娜,等. 赤霉素对于干旱胁迫下高羊茅萌发及幼苗生长的缓解效应[J]. 草业学报,2016,25(6): 51-61.
- [2] 宋锐. 硅提高高羊茅耐盐性的生理机制研究[D]. 兰州: 西北民族大学,2017.
- [3] 邵金彩,刘玉霞,杨佳鑫,等. 盐胁迫对蜡梅种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 浙江农业学报,2017,29(7):1139-1143.
- [4] 杜晨曦,王金丽,周华坤,等. 赤霉素对植物种子萌发及幼苗生长影响的研究进展[J]. 湖北农业科学,2019,58(22):9-14.
- [5] 张丽丽,倪善君,张战,等. 外源赤霉素对盐胁迫下水稻种子萌发及幼苗生长的缓释效应[J]. 中国稻米,2018,24(2):42-46.
- [6] Chauhan A, AbuAmarah B A, Kumar A, *et al*, Influence of gibberellic acid and different salt concentrations on germination percentage and physiological parameters of oat cultivars[J]. Saudi journal of biological sciences, 2019, 26(6): 1298-1304.
- [7] 戴陶宇,王前程,张迎迎,等. 外源赤霉素对盐胁迫下番茄种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 种子,2022,41(3): 74-80.
- [8] 方志荣,苏智先,胡进耀. 脱落酸、赤霉素和乙烯对种子休眠的萌发和调控[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2007,28(2):127-132.
- [9] 王慧慧,刘骥华,王婧,等. 4个匍匐翦股颖品种种子萌发期耐盐性评价[J]. 草原与草坪,2019,39(5): 31-36+43.
- [10] 杨雨薇,王琳,卢俊峰,等. 应用隶属函数法评价10个紫花苜蓿品种的耐热性[J]. 草原与草坪,2021,41(4): 81-88.
- [11] 李颖,鱼小军,赵一珊,等. 水杨酸和脱落酸浸种对低温下扁扁豆种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草地学报, 2021,29(1):174-181.
- [12] 李依民,梁小燕,张晗,等. 赤霉素对NaCl胁迫下大黄种

- 子萌发和幼苗生长的影响[J]. 中草药, 2022, 53(18): 5834—5841.
- [13] 韩多红, 张勇, 晋玲. 碱性盐及混合盐碱胁迫对蒙古黄芪种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 中草药, 2013, 44(12): 1661—1666.
- [14] 韩多红, 晋玲, 张勇. NaCl胁迫对膜荚黄芪种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 中草药, 2012, 43(10): 2045—2049.
- [15] 王伟杰, 管仁伟, 路俊仙, 等. GA3浸种对盐胁迫下黄芩种子萌发抗氧化酶及内源激素的影响[J]. 中药材, 2022, 45(2): 288—292.
- [16] 李翊华, 陈修斌, 王燕慧, 等. 盐胁迫下赤霉素对黄瓜种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 西北农业学报, 2014, 23(9): 207—210.
- [17] 杨晓平, 陈修斌, 李翊华, 等. 赤霉素对盐胁迫下甘蓝种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(33): 42—44.
- [18] 谢德意, 王惠萍, 王付欣, 等. 盐胁迫对棉花种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国棉花, 2000, 27(9): 12—13.
- [19] 韦朝妹, 胡小京, 莫幻. 外源赤霉素对盐胁迫下万寿菊种子萌发与幼苗生长的影响[J]. 北方园艺, 2022(16): 69—75.
- [20] 刘贵娟. 盐分胁迫条件下蓖麻萌发出苗及幼苗对外源赤霉素调节的响应[D]. 扬州: 扬州大学, 2013.
- [21] 高添乐, 陈丹仪, 李云峰, 等. 外源赤霉素对盐胁迫下甜玉米幼苗生理性状的影响[J]. 种子, 2019, 38(6): 48—50.
- [22] 俞龙生, 李卫, 许铭宇, 等. 赤霉素浸种对2种矿区修复先锋植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 生态环境学报, 2022, 31(11): 2225.

## Effects of soaking seeds with exogenous gibberellin on seed germination and seedling growth of tall fescue under salt stress

CHEN Ben-ju, LIU Rong, LI Zhen-hua, LIU Ming-ting, ZHAO Xin-di,  
LU Jia-yin, CHAI Qi\*

(College of Grassland Agricultural Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou 730020, China)

**Abstract:** [Objective] The study was carried out to investigate the effect of exogenous gibberellin infusion on seed germination and seedling growth of tall fescue under salt stress. [Method] In this experiment, tall fescue "Fire Phoenix 2" was used as experimental material, and paper germination method was adopted. Twenty treatment groups were set up to soak tall fescue seeds with 0, 100, 150, 200 and 300 mg/L GA solution for 2 days, and then placed them in petri dishes containing 0, 100, 200 and 250 mmol/L NaCl solution for germination test, and the related indexes of seed germination and seedling growth were determined respectively. [Result] The analysis of related indexes showed that under 100 mmol/L salt stress, the optimal GA concentration for alleviating salt stress and thus promoting seed germination and seedling growth was 200 mg/L, and all the indexes of seed germination were better than those of the 0 mg/L GA treatment, and under 200 and 250 mmol/L salt stress, the optimal GA concentration for alleviating salt stress and thus promoting seed germination and seedling growth was 150 mg/L, and all the indexes of seed germination were slightly better than those of the 0 mg/L GA treatment. [Conclusion] The comprehensive analysis of salt stress relieving ability of different concentration GA solution by fuzzy mathematical membership function method showed that the best concentration of gibberellin which could relieve salt stress and promote seed germination and seedling growth was 150 mg/L.

**Key words:** tall fescue; salt stress; gibberellin; seed germination; seedling growth

(责任编辑 刘建荣)