

腐植酸对盐碱胁迫下隆子黑青稞种子萌发及幼苗生长的影响

付甜甜,姚 慧,黄慧云,乔云祥,冯西博

(西藏农牧大学植物科学学院,西藏 林芝 860000)

摘要:为探究腐植酸(HA)对盐碱胁迫(SA)下隆子黑青稞种子萌发及幼苗生长的影响,通过腐植酸浸种六棱型隆子黑青稞,用NaCl、Na₂SO₄、NaHCO₃和Na₂CO₃(摩尔比1:9:9:1)混合碱溶液模拟盐碱胁迫,设置50、100、200、300 mg/L共4个腐植酸处理,分析腐植酸对盐碱胁迫下隆子黑青稞种子萌发特性及幼苗生长发育的调控效应。结果表明:黑青稞种子萌发和生长指标均受到盐碱胁迫抑制逐渐下降,与CK相比,发芽势降低31.91%、发芽率降低24.53%、萌发指数降低28.42%、活力指数降低62.58%、芽长降低21.53%、根长降低47.67%、鲜质量降低63.12%和干质量降低48.18%。4个腐植酸处理中,SAT2缓解盐碱胁迫效果最好,与盐碱胁迫相比发芽势和发芽率分别增加43.75%、32.50%,根长增长4.15 cm,根冠比降低43.61%。综合分析,腐植酸浸种有效缓解了盐碱胁迫对隆子黑青稞种子的伤害,促进隆子黑青稞种子萌发及幼苗生长的最佳腐植酸浓度为100mg/L。

关键词:黑青稞;腐植酸;浸种;种子萌发;幼苗生长

中图分类号:S512.3

文献标识码:A

Effect of Humic Acid on Seed Germination and Seedling Growth of Longzi Black Highland Barley Under Salt Stress

FU Tiantian, YAO Hui, HUANG Huiyun, QIAO Yunxiang, FENG Xibo

(School of Plant Science, Xizang Agricultural and Animal Husbandry University, Nyingri Xizang 860000, China)

Abstract: To investigate the effects of humic acid on seed germination and seedling growth of Longzi black barley under salt alkali stress, this study used humic acid to soak hexagonal black barley seeds and simulated salt alkali stress with a mixed alkaline solution of NaCl, Na₂SO₄, NaHCO₃, and Na₂CO₃ (molar ratio 1:9:9:1). Four humic acid treatments were set at 50, 100, 200, and 300 mg/L to analyze the regulatory effects of humic acid (HA) on the germination characteristics of black barley seeds and the growth and development of seedlings under salt alkali stress (SA). The results showed that the germination and growth indicators of black barley seeds were gradually reduced by salt alkali stress (SA). Compared with CK, the germination vigor decreased by 31.91%, the germination rate decreased by 24.53%, the germination index decreased by 28.42%, and the vitality index decreased by 62.58%. Bud length decreased by 21.53%, root length decreased by 47.67%, fresh weight decreased by 63.12%, and dry weight decreased by 48.18%. Among the four humic acid treatments, SAT2 showed the best effect in alleviating salt alkali stress. Compared with SA (salt alkali stress), SAT2 increased germination vigor and germination rate by 43.75% and 32.50% respectively, increased root length by 4.15 cm, and reduced root shoot ratio by 43.61%. Comprehensive analysis showed that soaking seeds in humic acid effectively alleviates the damage of salt alkali stress to Longzi black barley seeds, promoted seed germination and seedling growth of Longzi black barley, and the optimal concentration of humic acid is 100 mg/L.

Key words: black highland barley; humic acid; soaking seeds; seed germination; seedling growth

收稿日期:2025-05-15

基金项目:国家自然科学基金项目(32060482);高原作物学创新团队建设项目(XZNMXYRCDWJS-2024-11)。

作者简介:付甜甜(2000—),女,硕士研究生,研究方向为高原作物栽培与生理,E-mail:3239783400@qq.com。

通信作者:冯西博(1973—),男,博士,副教授,主要从事高原作物遗传育种和栽培研究,E-mail:fxb750217@126.com。

青稞(*Hordeum vulgare* L.var.*nudum* Hook.f)为禾本科大麦属,黑青稞因其植株及籽粒表皮呈现黑紫色而得名,形状为椭圆形或菱形^[1]。黑青稞是西藏隆子县主要种植的特色青稞品种^[2]。黑青稞具有白青稞所没有的高 β -葡聚糖、高花青素等抗氧化性营养成分^[3],并具有降血糖、降血脂、降胆固醇等功效^[4]。随着对青稞的深入研究,青稞为藏区人民的健康和经济发展做出了很大的贡献^[5],而西藏大部分生产地区的土壤具有严重的盐碱化,虽然青稞具有一定的耐盐碱性,但是青稞在种子萌发和幼苗生长时期抗盐碱性较低,会造成一定的致死率和出苗困难,使青稞的产量降低,探讨适配于青稞种植、促进青稞种子萌发和缓解土壤盐碱化的方法逐渐受到重视。浸种是提高种子抗盐碱性能力的方法之一,腐植酸(Humic Acid, HA)是一类有机高分子物质,前人研究发现腐植酸可以改良土壤和抗逆境的作用^[6]。申洁等^[7]研究表明 HA 可显著提高干旱胁迫下谷子的发芽势、根长。李英浩等^[8-9]研究表明,黄腐酸浸种可显著提高燕麦种子活力,且缓解 NaCl 胁迫下对甘草种子萌发的伤害,促进幼苗生长。目前,有关腐植酸的研究主要集中在酸化地、盐碱地和重金属污染地土壤的土壤改良剂研究和其他肥料配施增加作物产量等方面,而腐植酸对黑青稞抗盐碱性的研究鲜见报道。本研究分析腐植酸浸种对黑青稞种子及盐碱胁迫下黑青稞的萌发指标及生长指标的影响,探究腐植酸浸种对黑青稞种子及盐碱胁迫下黑青稞的萌发指标及生长指标之间的差异,并筛选出最佳腐植酸浓度,以期为腐植酸在黑青稞栽培的应用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

以六棱型隆子黑青稞为供试品种,试验中使用的 NaCl、Na₂SO₄、NaHCO₃、Na₂CO₃ 和腐植酸(HA)购于索莱宝有限公司、合肥巴斯夫生物有限公司。

1.2 试验设计

试验于 2024—2025 年在西藏农牧大学栽培实验室进行,设 5 个处理:CK(纯水)、T1(50 mg/L)、

T2(100 mg/L)、T3(200 mg/L)、T4(300 mg/L),通过水培萌发实验探究腐植酸对隆子黑青稞种子萌发特性及幼苗生长的影响。试验采用 NaCl : 9Na₂SO₄ : 9NaHCO₃ : Na₂CO₃ 混合盐碱溶液模拟西藏山南隆子盐碱胁迫,配制浓度为 50 mmol/L,试验设 CK(纯水),SA(纯水浸种,50 mmol/LNaCl : 9Na₂SO₄ : 9NaHCO₃ : Na₂CO₃ 混合盐碱溶液培养)和 SAT1(50 mmol/L⁻¹盐碱溶液+50 mg/LHA)、SAT2(50 mmol/L 盐碱溶液+100 mg/LHA)、SAT3(50 mmol/L 盐碱溶液+200 mg/LHA)、SAT4(50 mmol/L 盐碱溶液+300 mg/LHA)探究腐植酸对盐碱胁迫下隆子黑青稞的种子生长发育的影响(表 1)。选取籽粒成熟度一致的黑青稞种子为实验材料,首先采用 0.5%次氯酸钠溶液进行消毒(5 min),随后用无菌蒸馏水冲洗,继而用无菌滤纸吸除种子表面水分,以设置好的浓度梯度浸种,纯水为对照(CK),处理持续 12 h 后,萌发试验采用标准培养皿法,每皿均匀摆放 20 粒处理后的种子,培养皿底部铺设双层无菌滤纸作为基质,采用称重法补充对应浓度的处理液以维持湿度,所有培养置于可控环境箱中培养,温度设定为(25±0.5)℃,光周期调整为 12 h 光照/12 h 黑暗交替模式,每个处理设置 3 个生物学重复,每日记录种子萌发动态,连续统计 7 d,进行统计分析。

表 1 腐植酸浸种及作用盐碱胁迫对黑青稞的处理

处理	浓度设置	
CK	纯水	
HA 作用 于青稞的 萌发试验	T1	50 mg/LHA
	T2	100 mg/LHA
	T3	200 mg/LHA
	T4	300 mg/LHA
CK	纯水	
HA 作用 于盐碱胁迫下青稞 的萌发试验	SA	50 mmol/L 盐碱溶液
	SAT1	50 mmol/L 盐碱溶液+50 mg/LHA
	SAT2	50 mmol/L 盐碱溶液+100 mg/LHA
	SAT3	50 mmol/L 盐碱溶液+200 mg/LHA
SAT4	50 mmol/L 盐碱溶液+300 mg/LHA	

1.3 测定项目和方法

1.3.1 种子萌发指标测定

从第 3 d 开始记录种子发芽数量,以胚根和胚芽达到种子长度的 1/2 为发芽标准,连续统计 7 d,进行统计分析。发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、相对盐害率的计算公式如下^[10-11]。

$$\text{发芽势}(GE) = n(\text{第 } 4 \text{ d 发芽数}) / N \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{发芽率}(GR) = n(\text{第 } 7 \text{ d 发芽数}) / N \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{发芽指数}(GI) = \sum[Gt / Dt] \quad (3)$$

$$\text{活力指数}(VI) = GI \times S \quad (4)$$

$$\text{相对盐害率} = [\text{CK}(GR) - \text{盐碱胁迫下 SAT}(GR)] / \text{CK}(GR) \times 100\% \quad (5)$$

式(1)—(5)中: N 为种子总数; Gt 为 t 日内的发芽数; Dt 为发芽日数; S 为胚根长。

1.3.2 幼苗生长指标测定

在处理完成后的第 7 d 测定幼苗地上部分和根系的长度参数,随后分别采集茎叶组织和根部样本,用电子天平记录其新鲜质量。将上述样品置于 105 °C 烘箱中进行灭活处理,持续 30 min 后,转移至 80 °C 恒温干燥箱中烘干至质量恒定,

再次测定各组织的干物质重量,计算根冠比=地上部分鲜质量/根系鲜质量,进行 3 次重复。

1.4 数据分析

采用 DPS 和 SPSS 系统对数据进行差异显著性检验和相关分析,绘图在 OriginPro 2021 软件中完成。

2 结果与分析

2.1 不同浓度腐植酸对隆子黑青稞种子萌发特性的影响

由表 2 可知,隆子黑青稞发芽率、发芽势和活力指数均表现为 T2、T3 良好,T4、T1 次之,CK 最差,随着腐植酸浓度增加呈现先促进后抑制作用。不同浓度腐植酸处理都不同程度地促进了黑青稞种子的萌发,其中 T2 处理的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数均显著高于 CK 处理,T2 与 CK 处理相比,发芽势提高了 11.11%,发芽率提高了 12.54%,发芽指数提高了 9.92%,活力指数提高了 31.07%,表明适宜浓度的腐植酸浸种可明显提高黑青稞种子的活力和萌发能力。

表 2 不同浓度腐植酸浸种对隆子黑青稞种子萌发特性的影响

处理	发芽势/%	发芽率/%	发芽指数	活力指数
CK	0.75±0.75 Ab	0.87±0.867 Ac	16.59±0.061 Ab	104.97±0.478 Bc
T1	0.78±0.783 Aab	0.88±0.883 BCc	16.93±0.676 Aab	112.98±5.239 Bbc
T2	0.83±0.833 Aa	0.97±0.967 Aa	18.24±0.274 Aab	137.59±1.644 Aa
T3	0.82±0.817 Aab	0.95±0.950 ABab	16.87±1.680 Aab	118.66±10.579 Bb
T4	0.80±0.800 Aab	0.90±0.900 ABCbc	17.29±0.467 Aab	118.51±3.103 Bb

注:表中数据为平均值±标准差,同一指标不同处理间大写字母表示差异极显著($p < 0.01$)和小写字母表示差异显著($p < 0.05$),下同。

2.2 不同浓度腐植酸对隆子黑青稞幼苗生长发育的影响

由表 3 可知,经腐植酸浸种处理的隆子黑青稞幼苗的生长指标随腐植酸浓度的增加表现为先促进后抑制的动态变化,且相较于未处理的对照组(CK),其各项生长指标普遍有显著提升。T1—T4 较 CK 处理芽长分别提高了 5.34%、16.08%、12.63%、8.57%;根长分别提高了 5.41%、19.17%、11.18%、8.26%;鲜质量分别提高了 8.32%、31.58%、21.19%、16.60%;干质量分别提高了 3.33%、16.11%、10.00%、6.67%;根

冠比分别降低了 19.97%、42.46%、39.42%、37.83%;腐植酸浸种处理为 T2 时,各生长指标最显著,效果最好。根冠比的降低表明适宜浓度的腐植酸使黑青稞根系发展的好,并有效提高了黑青稞的干鲜质量,有利于作物促进养分吸收及在逆境中生存。

2.3 不同浓度腐植酸对隆子黑青稞种子萌发特性及幼苗生长发育的相关分析

腐植酸浸种黑青稞萌发和幼苗生长指标与发芽势的相关程度由高到低为:鲜质量(0.669) > 活力指数(0.619) > 芽长(0.592) > 干质量

(0.580) > 根长(0.557) > 发芽指数(0.534) > 发芽率(0.330) > 根冠比(-0.598)(表4); 发芽势与鲜质量之间呈极显著正相关, 与其他各指标呈显著正相关; 发芽率与活力指数、根长、芽长和鲜质量呈极显著正相关, 与干质量之间呈显著正相关; 发芽指数与活力指数之间呈极显著正相关, 与根长、鲜质量和干质量呈显著正相关; 活力指数与根长、芽长、鲜质量和干质量呈极显著正相

关; 根长与芽长、鲜质量和干质量呈极显著正相关; 芽长与鲜质量和干质量呈极显著正相关; 鲜质量和干质量之间呈极显著正相关。黑青稞的根冠比与其他各指标呈负相关性, 其中与发芽势、发芽率呈显著和极显著呈负相关可能是萌发初期根系发达, 作物干物质积累向根系倾斜(根冠比降低)。

表3 不同浓度腐植酸对隆子黑青稞幼苗生长发育的影响

处理	芽长/cm	根长/cm	鲜质量/g	干质量/g	根冠比
CK	6.16±0.072 Ee	6.33±0.045 Ee	0.95±0.035 Dd	0.12±0.007 Cd	2.52±0.05 Aa
T1	6.49±0.049 Dd	6.67±0.045 Dd	1.03±0.038 CDc	0.12±0.003 BCcd	2.02±0.076 Bb
T2	7.15±0.038 Aa	7.54±0.080 Aa	1.25±0.053 Aa	0.14±0.004 Aa	1.45±0.05 Cd
T3	6.94±0.134 Bb	7.04±0.084 Bb	1.15±0.064 Abb	0.13±0.003 Abb	1.53±0.05 Ccd
T4	6.69±0.019 Cc	6.85±0.046 Cc	1.11±0.016 BCbc	0.13±0.002 BCbc	1.57±0.031 Cc

表4 不同浓度腐植酸对隆子黑青稞种子萌发特性及幼苗生长发育的相关分析

指标	发芽势	发芽率	发芽指数	活力指数	根长	芽长	鲜质量	干质量	根冠比
发芽势	1.000								
发芽率	0.330	1.000							
发芽指数	0.534*	0.453	1.000						
活力指数	0.619*	0.732**	0.858**	1.000					
根长	0.557*	0.812**	0.518*	0.883**	1.000				
芽长	0.592*	0.781**	0.498	0.843**	0.955**	1.000			
鲜质量	0.669**	0.743**	0.640*	0.893**	0.911**	0.879**	1.000		
干质量	0.580*	0.597*	0.547*	0.815**	0.858**	0.891**	0.838**	1.000	
根冠比	-0.598*	-0.718**	-0.456	-0.762**	-0.870**	-0.921**	-0.868**	-0.774**	1.000

注:“*”和“**”分别表示在 0.05 和 0.01 水平差异显著,下同。

2.4 不同浓度腐植酸对盐碱胁迫下隆子黑青稞种子萌发特性的影响

在 SA 处理(盐碱胁迫)下,隆子黑青稞种子萌发特性的各指标均受到了抑制,与对照(CK)处理相比,发芽势和发芽率下降了 31.91%、24.53%,萌发指数和活力指数下降了 28.42%、62.58%,说明盐碱胁迫显著抑制黑青稞种子的萌发能力(表5)。而在 SAT1—SAT4 处理下,较 CK 这些萌发的各指标稍微有降低,但依然高于 SA。对于黑青稞种子,在 SA 下,随腐植酸浓度增加,萌发的各指标都呈现先增后降的趋势。在 SAT2 处理下,HA 浓度为 100 mg/L 时,发芽势(76.67%)、发芽率(88.33%)、萌发指数(16.79),

活力指数(128.26)达到最大值,与 SA 相比发芽势和发芽率分别增加了 43.75%、32.50%,而萌发指数和活力指数均显著高于 SA 且处理间的差异显著。表明腐植酸处理能缓解盐碱胁迫对黑青稞种子萌发的不良影响,但过高的腐植酸浓度可能无缓解作用。

2.5 不同浓度腐植酸对盐碱胁迫下隆子黑青稞幼苗生长发育的影响

在 SA 处理下,黑青稞幼苗生长的各指标均显著低于 CK,盐碱胁迫显著抑制黑青稞幼苗生长除了根冠比,较 CK 芽长、根长、鲜质量和干质量分别降低了 21.53%、47.67%、63.12%、48.18%(表6);而在 SAT1—SAT4 处理下,随腐

植酸浓度增加各指标都呈现先增后降的趋势,表现为 SAT2>SAT3>SAT4>SAT1;与 SA 处理相比,SAT1—SAT4 处理均显著提高了黑青稞幼苗根长,分别增长了 3.43、4.15、3.97、3.74cm;其中 SAT2 缓解盐碱胁迫效果较好,与 SA 相比

根冠比降低了 43.61%。总的来说腐植酸可有效促进隆子黑青稞提升根系的形态建成与生理活性,同时减轻盐碱对黑青稞生长所引发的抑制效应,以提升黑青稞对盐碱逆境的适应能力。

表 5 不同浓度腐植酸对盐碱胁迫下隆子黑青稞种子萌发特性的影响

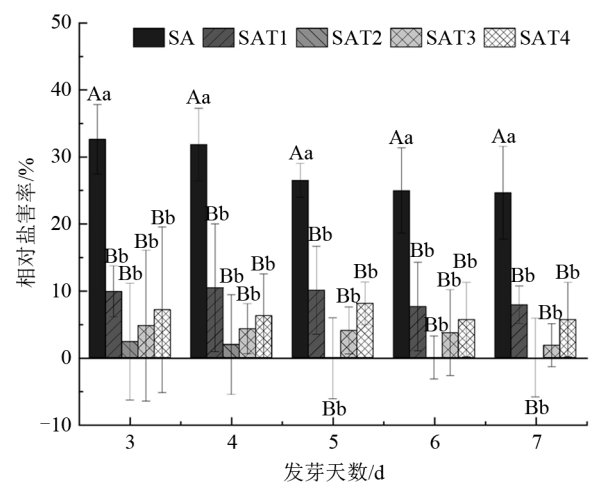
处理	发芽势/%	发芽率/%	发芽指数	活力指数
CK	0.78±0.783 Aa	0.88±0.883 Aa	16.96±0.594 Aa	112.88±2.063 BCbc
SA	0.53±0.533 Bc	0.67±0.667 Bb	12.14±0.745 Cd	42.24±2.064 Dd
SAT1	0.70±0.700 Ab	0.82±0.817 Aa	15.43±0.521 Bc	106.7±4.761 Cc
SAT2	0.77±0.767 Aa	0.88±0.883 Aa	16.79±0.200 ABab	128.26±1.894 Aa
SAT3	0.75±0.750 Aab	0.87±0.867 Aa	16.36±0.670 ABabc	121.94±4.642 Aba
SAT4	0.73±0.733 Aab	0.83±0.833 Aa	15.88±0.698 ABbc	114.81±5.036 BCb

表 6 不同浓度腐植酸对盐碱胁迫下隆子黑青稞幼苗生长发育的影响

处理	芽长/cm	根长/cm	鲜质量/g	干质量/g	根冠比
CK	6.06±0.127 Aa	6.66±0.118 Cd	0.91±0.061 Aa	0.11±0.014 Aa	2.26±0.051 Aa
SA	4.76±0.054 Ef	3.49±0.190 De	0.34±0.047 Cd	0.06±0.003 Dd	2.09±0.061 Bb
SAT1	5.31±0.025 De	6.91±0.088 Cc	0.61±0.040 Bc	0.07±0.002 Cc	1.41±0.047 Cc
SAT2	5.94±0.034 Ab	7.64±0.046 Aa	0.91±0.005 Aa	0.10±0.007 Abab	1.18±0.015 De
SAT3	5.70±0.074 Bc	7.45±0.050 Aba	0.89±0.054 Aa	0.09±0.004 BCb	1.22±0.052 Dde
SAT4	5.51±0.04 Cd	7.23±0.065 Bb	0.71±0.014 Bb	0.08±0.002 BCbc	1.27±0.017 Dd

2.6 不同浓度腐植酸对隆子黑青稞种子相对盐害率的影响

在 3~7 d 中 SA 处理的相对盐害率最高分别为 32.60%、31.81%、26.47%、24.95%、24.62%,并随着种子萌发的时间增长而降低,相比之下 SAT1—SAT4 处理有所缓解盐碱胁迫对黑青稞种子的伤害(图 1)。SAT1—SAT4 处理与 SA 处理相比,黑青稞种子的相对盐害率随腐植酸浓度增加呈先降后升,但均低于 SA;相对盐害率在 3 d 分别下降了 22.71%、30.22%、27.84%、25.46%;在 4d 分别下降了 21.39%、29.86%、27.50%、25.56%;在 5d 分别下降了 16.42%、26.59%、22.43%、18.38%;在 6d 分别下降了 17.32%、23.09%、21.24%、19.28%;在 7d 分别下降了 16.73%、24.62%、22.77%、18.95%。因此腐植酸浸种处理均能缓解在盐碱胁迫下黑青稞种子的相对盐害率,其中 SAT2 相对盐害率下降值最高,效果最好。



图中同一指标不同处理间大写字母表示差异极显著 ($p < 0.01$) 和小写字母表示差异显著 ($p < 0.05$)。

图 1 不同浓度腐植酸对隆子黑青稞种子相对盐害率的影响

2.7 不同浓度腐植酸对盐碱胁迫下隆子黑青稞种子萌发特性及幼苗生长发育的相关分析

不同浓度腐植酸对隆子黑青稞萌发和幼苗生长指标与发芽势的相关程度由高到低为:发芽指

数(0.972) > 活力指数(0.929) > 芽长(0.892) > 鲜质量(0.884) > 根长(0.870) > 发芽率(0.857) > 干质量(0.855) > 根冠比(-0.358) > 相对盐害率(-0.883)(表7);发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数、根长、芽长、鲜质量、干质量与各指标均呈极显著正相关,除了与根冠比、相对盐害率之

间呈负相关;根冠比与相对盐害率之间呈正相关,其中其他各指标与黑青稞的根冠比呈负相关性,与相对盐害率呈极负相关,表明盐碱胁迫对黑青稞的萌发和幼苗生长产生抑制作用,因此黑青稞种子的萌发和幼苗生长指标(如发芽率、根长等)会下降,所以两者之间呈现出负相关关系。

表7 不同浓度腐植酸对盐碱胁迫下隆子黑青稞种子萌发特性及幼苗生长发育的相关分析

指标	发芽势	发芽率	发芽指数	活力指数	根长	芽长	鲜质量	干质量	根冠比	相对盐害率
发芽势	1.000									
发芽率	0.857**	1.000								
发芽指数	0.972**	0.929**	1.000							
活力指数	0.929**	0.877**	0.947**	1.000						
根长	0.870**	0.820**	0.884**	0.985**	1.000					
芽长	0.892**	0.835**	0.895**	0.851**	0.790**	1.000				
鲜质量	0.884**	0.831**	0.892**	0.895**	0.851**	0.959**	1.000			
干质量	0.855**	0.757**	0.845**	0.775**	0.711**	0.934**	0.875**	1.000		
根冠比	-0.358	-0.360	-0.372	-0.605**	-0.681**	-0.182	-0.335	-0.071	1.000	
相对盐害率	-0.883**	-0.962**	-0.942**	-0.900**	-0.841**	-0.858**	-0.873**	-0.758**	0.373	1.000

3 讨论与结论

3.1 讨论

种子的发芽率、发芽势和活力指数是衡量种子品质、生长和生产潜力的指标^[7];根长、芽长和鲜质量可反映黑青稞植株的生长状况。腐植酸浸种可提高水稻了种子发芽势、发芽率、发芽指数^[12],提高玉米根系活力^[13],提高燕麦根长^[14]。本研究表明,随着 HA 浓度梯度的增加,隆子黑青稞得萌发指标及幼苗生长的指标均表现为 T2、T3 良好,T4、T1 次之,CK 最次,呈现先促进后抑制作用,且各指标基本均高于 CK 处理,与前人研究一致,以 T2 处理效果最好,其根冠比最低。研究发现,适量的腐植酸浓度能够有效提升隆子黑青稞种子的生命力和根系生长建设,进而显著增强黑青稞幼苗的发育速度,为植株后期发育提供了关键物质基础。植物个体发育的初期(萌发和幼苗)是植物最脆弱的时期,直接影响幼苗建成、植株发育和作物产量^[15]。盐碱逆境主要通过通过对作物根系渗透调节功能的干扰影响以及生理功能的破坏,共同作用于种子萌发及幼苗的发育进程,从而有效抑制其生长^[10]。研究表明盐

碱胁迫显著抑制燕麦根^[16]、青稞种子萌发后胚根和胚芽的后期生长^[17]、油菜种子萌发指标^[18]。马太光等^[19]研究表明腐植酸提高了 NaCl 胁迫下黄瓜种子的萌发指数及根系长。本研究表明,在 SA 处理(盐碱胁迫)下,隆子黑青稞种子萌发特性的各指标均受到了抑制,加入腐植酸之后有效得提高了黑青稞种子萌发指数及根长,与马太光等的研究一致,且腐植酸处理后黑青稞种子萌发指标与幼苗生长指标大部分呈显著正相关,两者与根冠比呈负相关。孙海燕等^[20]研究表明腐植酸浸种提高了低温胁迫下玉米幼苗的根系活力和植株鲜质量,且腐植酸还能显著缓解盐胁迫下水稻幼苗的形态^[21],增加小麦幼苗根冠比^[22]。相对盐害率越高,说明作物耐盐性越弱^[11],青稞相对盐害率在 20% 以内的为高耐盐性品种^[23]。本研究 SA 处理是模拟西藏山南隆子土壤的盐害,其盐害率大于 30% 以上,SAT1—SAT4 处理是加入不同浓度的腐植酸,其盐害率并随着种子萌发的时间增长而降低,且研究表明腐植酸能显著提高盐碱胁迫下黑青稞幼苗根长,缓解盐碱胁迫对黑青稞幼苗生长造成的伤害,其中 SAT2 缓解盐碱胁迫效果较好,根系增长 4.15 cm,与 SA

相比根冠比降低了 43.61%。

3.2 结论

腐植酸浸种可显著促进隆子黑青稞种子的萌发和幼苗的生长,且腐植酸还可增强作物抵抗盐碱胁迫。试验结果表明,在 50 mmol/L 混合盐碱胁迫下,使用 100 mg/L 腐植酸有效缓解了盐碱胁迫对隆子黑青稞种子萌发和幼苗生长的抑制影响,提高隆子黑青稞种子萌发指标和幼苗生长指标,增强抗逆性并更加有利于黑青稞在逆境中生长,为隆子黑青稞种植及腐植酸在作物生产上的应用提供一定的理论基础。

参考文献:

- [1] 赵希雷,张智勇,解树珍,等.黑青稞的营养价值与产品开发分析与展望[J].粮食加工,2022,47(4):29-32.
- [2] 普布多吉,罗珍,扎西拉姆,等.气候变化背景下西藏隆子县黑青稞气候适宜性分析[J].中国农学通报,2024,40(29):96-102.
- [3] 朱明霞,张玉红.隆子黑青稞花青素提取及体外抗氧化活性分析[J].中国农学通报,2024,40(14):142-147.
- [4] 孙康娜,丁红艳,李岩,等.黑青稞 γ -氨基丁酸提取工艺优化及体外降血糖活性[J].食品研究与开发,2024,45(4):127-133.
- [5] WANG J,LI H,YANG L,et al.Distribution and translocation of selenium from soil to highland barley in the Tibetan Plateau Kashin-Beck disease area[J].Environmental Geochemistry and Health,2017(1):221-229.
- [6] SIMPSON A J,KINGERY W L,HAYES M H,et al.Molecular structures and associations of humic substances in the terrestrial environment.[J].Die Naturwissenschaften,2002,89(2):84-88.
- [7] 申洁,卫林颖,郭美俊,等.腐植酸对干旱胁迫下谷子萌发的影响[J].山西农业大学学报(自然科学版),2019,39(6):26-33.
- [8] 李英浩,刘景辉,赵宝平,等.黄腐酸浸种对燕麦种子萌发及幼苗生长的影响[J].种子,2023,42(2):72-76.
- [9] 王佳琳,王晓琴,魏少奇,等.外源黄腐酸钾对 NaCl 胁迫下甘草种子萌发及幼苗生理特性的影响[J].种子,2025,44(2):162-168.
- [10] 亚梦菲,刘人铜,王建林.不同复合盐碱胁迫下外源褪黑素浸种对黑青稞种子萌发特性及幼苗生长的影响[J].江苏农业科学,2023,51(21):86-92.
- [11] 宋国英.NaCl 胁迫下 8 个黑青稞品种的萌发特性与耐盐性评价[J].大麦与谷类科学,2021,38(6):1-6.
- [12] 刘会丽,郑若菁,罗冬贵.不同浓度矿物源腐植酸钾对水稻种子萌发、生长的影响[J].腐植酸,2024(4):38-41.
- [13] 赵海蓓,危常州,张新疆,等.腐植酸浸种对玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J].新疆农业科学,2020,57(11):2118-2125.
- [14] 全亚明,李刚,王进,等.腐植酸类肥料浸种及浇灌对燕麦种子萌发和幼苗生长的影响研究[J].中国农学通报,2016,32(33):39-42.
- [15] 刘闰卉,刘远微,欧立军.赤霉素浸种对不同品种辣椒种子萌发及幼苗生长的影响[J].种子,2025,44(2):29-35.
- [16] 鲍鑫茹,米俊珍,刘景辉,等.盐碱胁迫下燕麦根际与非根际土壤微生物多样性研究[J].麦类作物学报,2024,44(10):1303-1314.
- [17] 王继发,扎西措姆,尼玛卓嘎,等.混合盐碱胁迫对隆子黑青稞种子萌发及单叶期幼苗生长的影响[J].高原农业,2022,6(6):517-525.
- [18] 丁富功,卢奕霏,康珍,等.混合盐碱胁迫对油菜种子萌发和幼苗生长的影响[J].长江大学学报(自然科学版),2020,17(3):73-80.
- [19] 马太光,张瑞腾,郭秀霞,等.NaCl 胁迫下腐植酸对黄瓜种子发芽特性的影响[J].湖北农业科学,2016,55(9):2287-2289.
- [20] 孙海燕,孔德庸,胡慧影,等.腐植酸浸种对低温胁迫下玉米幼苗抗氧化系统的影响[J].生态学报,2021,41(13):5385-5397.
- [21] 何婷,黄燕婷,吴文杰.腐植酸对盐胁迫下水稻幼苗生长和解剖结构的影响[J].安徽农学通报,2016,22(21):25-27.
- [22] 郭伟,于立河.腐植酸浸种对盐胁迫下小麦萌发种子及幼苗生理特性的影响[J].麦类作物学报,2012,32(1):90-96.
- [23] 袁金娥.中国近缘野生大麦和栽培青稞的耐盐性鉴定及其与 SSR 标记的关联分析[D].成都:四川农业大学,2012.