

一年生早熟禾种子萌发适宜温度研究

田晓岚,白小明*,闫玉邦,张才忠,朱雅楠,郑锋,陈辉

(甘肃农业大学草业学院,草业生态系统教育部重点实验室,甘肃省草业工程实验室,中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070)

摘要:【目的】探究一年生早熟禾(*Poa annua*)种子萌发适宜温度。【方法】试验以甘肃省16个不同地区的野生一年生早熟禾种子为材料,设4、8、12、16、20、24、28和32℃8个恒温处理,研究温度对一年生早熟禾种子萌发的影响。【结果】随着温度的升高,一年生早熟禾种子的发芽率、发芽势、发芽指数、胚根长、苗鲜重、活力指数均呈先增后减趋势,胚芽长呈逐渐增大趋势。结论 隶属函数综合评价表明,光照周期为16 h光照/8 h黑暗,相对湿度55%的恒温条件下,野生一年生早熟禾种子适宜萌发温度范围为16~24℃,最适萌发温度为24℃。

关键词:一年生早熟禾;种子;温度;萌发特性

中图分类号:S688.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)01-0183-10

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2024.01.021



甘肃省地处青藏高原、黄土高原、蒙新高原和西秦岭山地的交汇地带^[1],境内早熟禾种质资源丰富,早熟禾属植物有35种、2变种,一年生早熟禾种质资源在陇南、陇东、中部地区、河西地区及祁连山等均有分布,几乎遍布全省^[2]。一年生早熟禾(*Poa annua*)为禾本科早熟禾属一年生或越年生植物,茎直立,叶形纤美,质地柔软,是一种常见的冷季型草坪草。一年生早熟禾喜湿润,主要分布在寒带和北温带潮湿地区,是草地和草甸植被的重要组成成分^[3]。因其绿期较长、再生性好,同时具有较强的抗寒性和抗旱性,在我国广泛应用于园林绿化和草坪建植。野生一年生早熟禾种质经过长期进化具有优良的基因,抗逆性较强,观赏价值较高。目前,国内外关于温度对早熟禾属植物种子萌发特性的影响研究多集中在草地早熟

禾等多年生早熟禾植物方面^[4-7],而一年生早熟禾的研究报道尚较少。因此,开展野生一年生早熟禾种质研究,对其品种选育和进一步开发利用具有现实意义。

种子萌发经过吸胀作用,引发一系列有序的生理和形态变化,其过程受多种因素的影响,如系统发育、生活史、种子大小、扩散类型、环境条件等^[8]。种子萌发需要适宜的温度、充足的水分和空气,适宜的温度可以提高种子萌发速率和发芽率,促进种子萌发和幼苗生长^[9]。种子萌发是种子繁殖的第一阶段,过高或过低的温度都会抑制种子发芽。温度过低会抑制酶的活化或催化作用,过高的温度会破坏酶的结构或使酶失活,从而抑制种子的正常生理代谢。张敏等^[10]研究发现,云南扁穗雀麦(*Bromus willdenowii*)种子萌发率随着温度的降低而逐渐降低,当温度接近10℃时几乎不萌发;兰香草(*Caryopteris incana*)种子在15~30℃均可萌发,在35℃以上几乎不萌发,20~25℃为种子萌发最适宜温度^[11];王红春等^[12]研究表明,一年生早熟禾萌发最适温度范围为5~25℃,在25~35℃条件下,种子萌发率随温度升高而降低。同一植物种中,种子产地不同会导致萌发特性产生差异。高寒草甸植物种子萌发行为与种源海拔和萌发温度有关,种

收稿日期:2022-03-17;修回日期:2022-05-24

基金项目:甘肃省林草局草原生态修复治理科技支撑项目(GSLC-2020-3,LCJ20210021);甘肃省科技计划项目(20JR10RA564);国家自然科学基金项目(31560667)

作者简介:田晓岚(1999-),女,侗族,贵州石阡人,硕士研究生。E-mail:1320493497@qq.com

*通信作者。E-mail:baixm@gsau.edu.cn

子发芽率在低温下随海拔的升高显著增大^[13];汪秀岩等^[14]研究互花米草(*Spartina alterniflora*)种子萌发特性,结果表明,种源对萌发率和萌发时间有显著影响,高纬度种源种子萌发率比低纬度种源种子高,但所需萌发时间较长,且随着温度升高,种源之间的萌发特性差异增大。因此,研究温度对野生种质萌发特性,对其开发利用具有重要的实践指导价值。

本研究以甘肃省境内不同地区的16份野生一年

生早熟禾种子为材料,研究野生早熟禾种子萌发对温度的响应,旨在探讨其萌发的适宜温度范围,为早熟禾新品种开发利用提供数据资料。

1 材料和方法

1.1 材料

供试材料均为甘肃省境内的野生一年生早熟禾,采集时间为2021年5—7月,共16份材料,采集地及生境等见表1。

表1 供试材料

Table 1 The selected materials

编号	材料名称	采集地	生境	海拔/m	坐标
YC	一年生早熟禾(永昌)	永昌县	绿化带	1 961	34°99.501' N, 104°52.276' E
WY	一年生早熟禾(渭源)	渭源县	路边	1 924	35°40.492' N, 104°21.359' E
NX	一年生早熟禾(宁县)	宁县	屋檐下	1 234	35°53.818' N, 107°93.204' E
KT	一年生早熟禾(崆峒)	崆峒区	路边	1 489	35°55.945' N, 106°53.785' E
QC	一年生早熟禾(庆城)	庆城县	屋檐下	1 491	35°89.987' N, 107°60.347' E
LZ	一年生早熟禾(兰州)	兰州市	绿化带	1 558	36°09.087' N, 103°69.112' E
WW	一年生早熟禾(武威)	武威市	植物园	1 521	37°93.013' N, 102°61.733' E
ZY	一年生早熟禾(张掖)	张掖市	绿化带	1 473	38°95.960' N, 100°40.963' E
ZQ	一年生早熟禾(舟曲)	舟曲县	屋檐下	1 420	33°46.421' N, 104°22.320' E
CX	一年生早熟禾(崇信)	崇信县	乔木下	1 125	35°31.116' N, 107°02.994' E
MJ	一年生早熟禾(麦积)	麦积区	路边	1 603	34°21.233' N, 105°58.591' E
XH	一年生早熟禾(西和)	西和县	农田边	1 736	33°47.324' N, 104°20.533' E
JC	一年生早熟禾(泾川)	泾川县	路边	1 012	35°35.08' N, 107°44.323' E
LX	一年生早熟禾(临夏)	临夏自治州	乔木下	2 013	35°49.801' N, 103°08.777' E
QZ	一年生早熟禾(秦州)	秦州区	路边	1 347	34°28.124' N, 105°42.243' E
SD	一年生早熟禾(山丹)	山丹县	路边	1 965	38°63.974' N, 101°13.184' E

1.2 试验方法

随机选取颗粒饱满、大小均匀、无破损的一年生早熟禾种子,用自来水浸泡2 h,去除种子表面泥土、灰尘后用0.2%过氧化氢溶液浸泡2 h,再用75%乙醇消毒3~5 min,最后用无菌水冲洗3~5次,用滤纸吸干表面水分,自然风干。选用直径90 mm的培养皿,灭菌后铺两层滤纸并加5 mL水,每个培养皿放置100粒种子,每个处理4次重复。采用FYZ—智能光照培养箱进行恒温培养。试验共设8个温度处理,分别为4、8、12、16、20、24、28和32℃。光照周期为16 h光照/8 h黑暗,光照强度1 000 lx,相对湿度55%。每天定时用蒸馏水补充水分,保持滤纸水分饱和状态,以胚根露出种皮作为发芽标准,记录每个培养皿中种子初始发芽天数、累计发芽数,试验周期28 d。

1.3 测定指标

发芽率(G)=发芽终止期发芽种子粒数/供试种子总粒数×100%^[15];

发芽势(PV)=发芽初期10 d正常发芽种子数/供试种子总粒数×100%;

发芽指数(GI)= $\sum(Gt/Dt)$ ^[16];

活力指数(VI)=GI×S^[17];

式中:Gt为在第t日发芽种子数,Dt为对应发芽天数;S为第21天每株平均鲜重。

胚根长、胚芽长、苗鲜重:试验第21天从每个培养皿中随机挑选均匀的幼苗15株,用毫米尺测量胚根长、胚芽长,用滤纸轻轻吸干多余水分后放置万分之一天平称苗鲜重。

1.4 数据分析

用SPSS 20.0软件进行统计分析,DUNCAN法

进行差异比较,最小显著极差法(LSD)进行多重比较,不同字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著。

利用模糊隶属函数对一年生早熟禾种子萌发特性进行综合评价^[18]。隶属函数公式如下:

$$X(i)=(X_i-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min})$$

式中: $X(i)$ 表示第*i*个指标的隶属函数值, X_i 表示第*i*个指标测定值($i=1,2,\dots,n$), X_{\min} 表示第*i*个指标最小值, X_{\max} 为第*i*个指标的最大值。计算各材料在不同温度处理下的隶属函数值。

2 结果与分析

2.1 温度对一年生早熟禾种子发芽率的影响

随着温度升高,所有供试材料的发芽率呈先升高

后降低趋势(表2)。材料WY在20℃处理时发芽率最大,显著高于其它温度处理($P<0.05$);材料QC在24℃处理下发芽率最大,但与16和20℃处理相比差异不显著($P>0.05$);除QC和SD材料以外,其余13个材料在24℃时种子发芽率最大,且显著高于其他温度处理。材料ZY的发芽率最高,达99.00%。

材料YC、ZY、LX、SD在32℃处理种子发芽率最小,显著低于其它温度处理($P<0.05$),其中材料YC 32℃发芽率最低,为4.00%,显著小于材料ZY、LX、SD($P<0.05$),仅为其24℃处理发芽率的4.06%。其余12个材料4℃处理发芽率最小,其中材料WW发芽率最小,为2.75%,显著小于除材料QC以外的其他材料($P<0.05$),仅为其24℃处理发芽率的2.86%。

表2 温度对一年生早熟禾种子发芽率的影响

Table 2 The effects of temperature on seed germination percentage of *P. annua* seeds

编号	发芽率/%							
	4℃	8℃	12℃	16℃	20℃	24℃	28℃	32℃
YC	38.00±0.41 ^{Ag}	65.00±0.41 ^{Al}	84.25±0.48 ^{Be}	94.75±0.48 ^{ABd}	97.25±0.48 ^{Ab}	98.50±0.29 ^{ABa}	96.00±0.41 ^{Ac}	4.00±0.41 ^{Lh}
WY	15.75±0.48 ^{Dh}	35.00±0.41 ^{Hf}	76.00±0.71 ^{Dd}	86.50±0.65 ^{Ec}	93.75±0.48 ^{CDa}	90.00±0.58 ^{Fb}	48.50±0.65 ^{Je}	25.25±0.48 ^{Dg}
NX	11.75±0.48 ^{Ff}	42.25±0.25 ^{Ed}	80.25±0.75 ^{Cc}	90.00±0.41 ^{Db}	91.75±0.75 ^{EFb}	95.50±0.50 ^{Da}	91.75±0.75 ^{Bb}	28.25±0.63 ^{Ce}
KT	5.00±0.41 ^{Hg}	50.25±0.25 ^{De}	80.75±0.48 ^{Cd}	94.75±0.48 ^{ABa}	91.00±0.41 ^{Fb}	95.00±0.41 ^{Da}	84.50±0.29 ^{Ec}	18.50±0.65 ^{FGf}
QC	3.00±0.41 ^{If}	39.25±0.48 ^{Fd}	87.50±0.65 ^{Ab}	93.75±0.25 ^{BCa}	93.50±0.65 ^{CDa}	94.75±0.48 ^{Da}	84.00±0.41 ^{EFc}	10.25±0.25 ^{Je}
LZ	5.50±0.29 ^{Hg}	41.25±0.48 ^{Ef}	80.25±0.25 ^{Ce}	92.50±0.50 ^{Cc}	94.00±0.71 ^{CDb}	97.50±0.29 ^{ABa}	82.75±0.25 ^{Fd}	6.00±0.71 ^{Kg}
WW	2.75±0.48 ^{If}	30.75±0.75 ^{le}	80.00±0.00 ^{Cc}	92.75±0.25 ^{Cb}	93.00±0.41 ^{BEb}	96.00±0.71 ^{CDa}	35.25±0.63 ^{Ld}	3.25±0.75 ^{Lf}
ZY	22.75±0.48 ^{BCg}	55.75±0.48 ^{Cf}	80.75±0.48 ^{Ce}	86.00±0.71 ^{Ed}	93.50±0.65 ^{CDb}	99.00±0.00 ^{Aa}	89.25±0.63 ^{Bc}	19.00±0.41 ^{EFh}
ZQ	12.00±0.41 ^{Fh}	39.25±0.48 ^{Ff}	60.00±0.41 ^{He}	78.50±0.29 ^{Fc}	81.50±0.50 ^{Hb}	88.00±0.41 ^{Ga}	75.50±0.29 ^{Gd}	16.50±0.29 ^{Hg}
CX	5.00±0.41 ^{Hh}	58.75±0.48 ^{Bf}	74.00±0.71 ^{Ed}	77.25±0.48 ^{Fc}	81.75±0.48 ^{Hb}	86.75±0.48 ^{Ga}	65.00±0.41 ^{He}	13.75±0.48 ^{kg}
MJ	13.50±0.50 ^{Eg}	35.75±0.25 ^{Hf}	65.50±0.50 ^{FGd}	70.75±0.48 ^{Hc}	73.00±0.41 ^{Jb}	81.00±0.41 ^{Ia}	52.50±0.29 ^{Je}	17.25±0.25 ^{GHg}
XH	7.00±0.41 ^{Gg}	30.75±0.25 ^{Ef}	66.75±0.25 ^{Fd}	88.75±0.48 ^{Db}	89.00±0.41 ^{Gb}	92.25±0.48 ^{Ea}	86.00±0.00 ^{Dc}	20.25±0.25 ^{Ef}
JC	12.75±0.48 ^{EFg}	59.50±0.29 ^{Be}	81.25±0.48 ^{Cd}	95.25±0.48 ^{Ab}	95.00±0.71 ^{BCb}	97.25±0.75 ^{BCa}	92.75±0.48 ^{Bc}	42.25±0.25 ^{Af}
LX	24.00±0.41 ^{Bf}	42.00±0.71 ^{Ec}	64.75±0.25 ^{Gd}	85.50±0.29 ^{Ec}	88.00±0.41 ^{Gb}	90.75±0.48 ^{Fa}	88.50±0.29 ^{Bb}	18.50±0.65 ^{FGg}
QZ	17.00±0.41 ^{Dh}	37.50±0.29 ^{Gf}	66.25±0.48 ^{Fd}	73.50±0.29 ^{Gc}	76.50±0.29 ^{Jb}	84.25±0.25 ^{Ha}	45.50±0.29 ^{Ke}	32.00±0.41 ^{Bg}
SD	21.50±0.65 ^{Cf}	65.25±0.48 ^{Ae}	74.50±0.29 ^{Ed}	95.50±0.65 ^{Ab}	96.50±0.65 ^{ABab}	98.00±0.71 ^{ABa}	76.50±0.65 ^{Gc}	9.25±0.75 ^{Jg}

注:同一列不同大写字母表示同一温度下不同材料之间差异显著($P<0.05$),同一行不同小写字母表示同一材料在不同温度处理间差异显著,下同。

2.2 温度对一年生早熟禾种子发芽势的影响

随着温度升高,供试的16个一年生早熟禾材料种子发芽势呈先升高再降低的趋势(表3)。16~28℃处理下,16份材料发芽势达到最大值。其中材料KT、QC、XH和LX在16℃处理下发芽势最大,WY和SD在20℃处理发芽势最大,CX在20和24℃处理发芽势最大,YC在28℃处理发芽势最大,其余8个材料在24℃处理发芽势最大,其中材料QC发芽势最大,为84.75%。

4℃低温处理下,所有材料发芽势均为0。8~32℃处理,WY、JC和SD 8℃发芽势最小,其余13个材料在32℃处理发芽势最小,其中材料JC发芽势最小,仅为1.33%。

2.3 温度对一年生早熟禾种子发芽指数的影响

随着温度升高,所有供试材料发芽指数呈先升后降趋势(表4)。20~28℃处理下,16份发芽指数达到最大。WY在20℃处理下发芽指数最大,YC在28℃处理发芽指数最大,CX在24和28℃处理发芽指数均

表3 温度对一年生早熟禾种子发芽势的影响

Table 3 The effects of temperature on seed germination potential of *P. annua* seeds

编号	发芽势/%							
	4 °C	8 °C	12 °C	16 °C	20 °C	24 °C	28 °C	32 °C
YC	0.00±0.00 ^{Ag}	16.00±0.71 ^{Bc}	25.25±0.25 ^{Gd}	66.00±0.41 ^{Ec}	75.00±0.41 ^{Bb}	74.50±0.29 ^{Eb}	82.50±0.65 ^{Aa}	3.25±0.75 ^{Hf}
WY	0.00±0.00 ^{Ag}	1.50±0.29 ^{Ef}	32.75±0.48 ^{Cd}	48.75±0.48 ^{Kc}	65.25±0.63 ^{Ea}	55.00±0.41 ^{lb}	32.50±0.29 ^{Gd}	16.25±0.75 ^{Ce}
NX	0.00±0.00 ^{Ag}	0.00±0.00 ^{Fg}	25.50±0.29 ^{Ge}	55.75±0.48 ^{Hd}	63.50±0.29 ^{Fb}	73.50±0.29 ^{Ea}	58.25±0.25 ^{Cc}	21.25±0.25 ^{Bf}
KT	0.00±0.00 ^{Af}	0.00±0.00 ^{Ff}	17.25±0.25 ^{ld}	79.25±0.48 ^{Ba}	75.00±0.41 ^{Bb}	79.00±0.58 ^{Ca}	67.25±0.86 ^{Bc}	13.75±0.48 ^{De}
QC	0.00±0.00 ^{Ag}	12.25±0.96 ^{Cg}	23.50±0.65 ^{He}	84.75±0.63 ^{Aa}	71.25±0.48 ^{Cc}	77.50±0.65 ^{Db}	49.50±0.65 ^{Ed}	8.75±0.75 ^{Ff}
LZ	0.00±0.00 ^{Ag}	0.00±0.00 ^{Fg}	32.75±0.48 ^{Cd}	67.00±0.41 ^{Eb}	54.75±0.48 ^{Ic}	77.50±0.29 ^{Da}	44.25±0.25 ^{Fd}	3.50±0.29 ^{Hf}
WW	0.00±0.00 ^{Ag}	0.00±0.00 ^{Fg}	17.25±0.25 ^{ld}	53.75±0.25 ^{lc}	60.00±0.58 ^{Gb}	67.50±0.29 ^{Fa}	15.00±0.41 ^{He}	3.00±0.71 ^{Hf}
ZY	0.00±0.00 ^{Ag}	18.75±0.48 ^{Af}	17.75±0.25 ^{ld}	60.00±0.41 ^{Gc}	64.75±0.48 ^{EFb}	82.75±0.25 ^{Ba}	49.00±0.41 ^{Ed}	4.50±0.50 ^{Hg}
ZQ	0.00±0.00 ^{Ag}	0.00±0.00 ^{Fg}	29.25±0.48 ^{Ee}	47.00±0.41 ^{Ld}	56.50±0.65 ^{Hb}	65.25±0.25 ^{Ga}	49.75±1.49 ^{Ec}	11.25±0.48 ^{Ef}
CX	0.00±0.00 ^{Ag}	12.25±0.25 ^{Ce}	34.75±0.25 ^{Bd}	50.75±0.48 ^{lb}	57.25±0.25 ^{Ha}	57.25±0.25 ^{Ia}	32.00±0.41 ^{Gc}	9.75±0.25 ^{EFf}
MJ	0.00±0.00 ^{Ag}	0.00±0.00 ^{Fg}	18.50±0.65 ^{Je}	25.75±0.85 Nd	35.75±0.48 ^{Lb}	39.75±0.48 ^{La}	30.50±1.04 ^{Gc}	2.50±0.29 ^{If}
XH	0.00±0.00 ^{Ag}	0.00±0.00 ^{Fg}	26.50±0.29 ^{FGe}	72.50±0.29 ^{Da}	68.50±0.29 ^{Db}	67.50±0.29 ^{Fc}	54.50±0.29 ^{Dd}	13.00±0.41 ^{Df}
JC	0.00±0.00 ^{Ag}	1.33±0.00 ^{Eg}	27.50±0.29 ^{Fd}	78.50±0.65 ^{Bb}	74.75±0.25 ^{Bc}	83.75±0.75 ^{ABa}	65.50±0.65 ^{Bd}	36.25±0.48 ^{Af}
LX	0.00±0.00 ^{Af}	0.00±0.00 ^{Ff}	17.50±0.29 ^{ld}	61.75±0.25 ^{Fa}	47.00±0.58 ^{Jc}	59.75±0.48 ^{Ha}	53.50±0.29 ^{Db}	13.00±0.71 ^{De}
QZ	0.00±0.00 ^{Af}	0.00±0.00 ^{Ff}	18.50±0.65 ^{Je}	30.25±0.63 ^{Mc}	43.00±0.41 ^{Kb}	48.50±0.65 ^{Ka}	32.00±0.91 ^{Gc}	22.50±1.04 ^{Bd}
SD	0.00±0.00 ^{Ag}	5.50±0.29 ^{Df}	17.75±0.25 ^{ld}	74.00±0.41 ^{Cb}	84.75±0.48 ^{Aa}	84.25±0.25 ^{Aa}	54.75±0.48 ^{Dc}	6.75±0.25 ^{Ge}

最大,其余13个材料在24 °C处理发芽势最大,其中YC发芽势最大,为13.72%。

在4 °C处理发芽指数最小, QC发芽指数最小,仅为0.11。

除YC发芽指数32 °C处理最小外,其余13个材料

表4 温度对一年生早熟禾种子发芽指数的影响

Table 4 The effects of temperature on germination index of *P. annua* seeds

编号	发芽指数							
	4 °C	8 °C	12 °C	16 °C	20 °C	24 °C	28 °C	32 °C
YC	1.56±0.01 ^{Ag}	4.71±0.07 ^{Af}	6.82±0.02 ^{Ce}	10.12±0.09 ^{Dd}	10.98±0.08 ^{Bc}	12.23±0.08 ^{Ab}	13.72±0.17 ^{Aa}	0.51±0.10 ^{Hh}
WY	0.60±0.02 ^{Eh}	1.50±0.01 ^{GHIg}	6.27±0.04 ^{Dd}	8.65±0.06 ^{Fc}	10.34±0.05 ^{Ca}	10.18±0.06 ^{FGb}	5.12±0.08 ^{Fe}	2.86±0.06 ^{Cf}
NX	0.44±0.02 ^{Gg}	1.57±0.24 ^{FGHI}	6.70±0.06 ^{Cd}	9.12±0.04 ^{Ee}	10.16±0.10 ^{CD}	11.70±0.06 ^{CDa}	10.22±0.03 ^{BCb}	3.31±0.10 ^{Be}
KT	0.19±0.01 ^{Ig}	2.18±0.03 ^{Ef}	6.41±0.02 ^{Dd}	10.74±0.07 ^{Bbc}	10.97±0.05 ^{Bb}	12.19±0.10 ^{ABa}	10.59±0.09 ^{Bc}	2.44±0.18 ^{De}
QC	0.11±0.01 ^{Jg}	3.15±0.04 ^{Ce}	7.06±0.03 ^{Bd}	10.45±0.15 ^{Cb}	10.71±0.17 ^{Bab}	10.81±0.05 ^{Ea}	8.26±0.03 ^{Ec}	1.41±0.10 ^{Ff}
LZ	0.21±0.01 ^{Ig}	1.63±0.02 ^{FGe}	6.75±0.04 ^{Cd}	10.06±0.04 ^{Db}	10.24±0.06 ^{CD}	12.00±0.08 ^{ABCa}	8.42±0.16 ^{Ec}	0.65±0.02 ^{Hf}
WW	0.10±0.02 ^{Ig}	1.37±0.04 ^{Hle}	7.01±0.03 ^{Bc}	9.28±0.05 ^{Eb}	9.92±0.13 ^{EFa}	9.96±0.04 ^{Ga}	3.13±0.11 ^{Gd}	0.44±0.12 ^{Hf}
ZY	0.86±0.02 ^{Cg}	4.26±0.07 ^{Be}	6.73±0.07 ^{Cd}	8.75±0.07 ^{Fc}	9.70±0.08 ^{Fb}	11.82±0.10 ^{BCDa}	8.59±0.07 ^{Ec}	1.52±0.03 ^{Ff}
ZQ	0.44±0.01 ^{Gh}	1.79±0.02 ^{Ff}	5.17±0.04 ^{GHe}	7.93±0.05 ^{Gd}	8.77±0.14 ^{Gb}	10.41±0.20 ^{Fa}	8.42±0.13 ^{Ec}	2.06±0.02 ^{Ef}
CX	0.92±0.01 ^{Bg}	1.75±0.03 ^{Ff}	4.87±0.07 ^{ld}	9.28±0.12 ^{Eb}	8.82±0.09 ^{Gc}	9.89±0.05 ^{Ga}	9.89±0.02 ^{CDa}	2.46±0.07 ^{De}
MJ	0.49±0.02 ^{Fh}	1.78±0.01 ^{Ff}	5.12±0.06 ^{He}	6.06±0.06 ^{Ic}	7.33±0.03 ^{lb}	7.68±0.07 ^{Ia}	5.28±0.06 ^{Fd}	1.17±0.05 ^{Gg}
XH	0.26±0.02 ^{Hh}	1.29±0.02 ^{Ig}	5.29±0.05 ^{FGe}	10.45±0.03 ^{Cb}	9.96±0.05 ^{DEFe}	10.84±0.22 ^{Ea}	9.51±0.10 ^{Dd}	2.59±0.10 ^{Df}
JC	0.47±0.02 ^{Fgf}	2.69±0.07 ^{De}	7.82±0.06 ^{Ac}	10.68±0.06 ^{BCb}	10.33±0.20 ^{Cb}	11.49±0.29 ^{Da}	10.45±0.65 ^{BCb}	5.06±0.01 ^{Ad}
LX	0.94±0.02 ^{Bg}	1.75±0.03 ^{Ff}	4.87±0.07 ^{ld}	9.32±0.15 ^{Eb}	8.77±0.12 ^{Gc}	10.53±0.11 ^{EFa}	9.46±0.07 ^{Db}	2.45±0.06 ^{De}
QZ	0.64±0.01 ^{Eg}	1.67±0.02 ^{FGf}	5.35±0.12 ^{Fc}	6.66±0.02 ^{Hc}	8.21±0.06 ^{Hb}	8.58±0.10 ^{Ha}	5.15±0.09 ^{Fd}	3.42±0.07 ^{Be}
SD	0.81±0.05 ^{Dh}	2.27±0.19 ^{Ef}	5.76±0.08 ^{Ee}	11.11±0.05 ^{Ac}	11.78±0.12 ^{Ab}	12.37±0.19 ^{Aa}	8.81±0.12 ^{Ed}	1.14±0.13 ^{Gg}

2.4 温度对一年生早熟禾种子胚根长的影响

随着温度升高,供试材料种子萌发过程中胚根长度呈先增大后减小趋势(表5)。16份材料在20~28 °C

处理下胚根最长。MJ和LX在20 °C处理胚根最长, JC在20和28 °C处理胚根最长, YC、WY和NX在28 °C处理胚根最长,其余10个材料在24 °C处理胚根最长,

但 WW、ZY 和 CX 与 20 °C 处理差异不显著 ($P > 0.05$), QZ 胚根最长, 为 4.42 cm。

所有材料 4 °C 胚根最短, 但除 YC 4 °C 胚根长为

0.2 cm 外, 其余 15 个材料胚根长均为 0。8 °C 处理 YC 胚根最长, 为 0.26 cm, LZ 胚根最短, 仅为 0.13 cm。

表 5 温度对一年生早熟禾种子胚根长的影响

Table 5 The effects of temperature on radicle length of *P. annua* seeds

编号	胚根长/cm							
	4 °C	8 °C	12 °C	16 °C	20 °C	24 °C	28 °C	32 °C
YC	0.20±0.00 ^{Af}	0.26±0.01 ^{Ff}	2.01±0.01 ^{Bd}	2.02±0.04 ^{ABd}	3.05±0.03 ^{lc}	3.47±0.02 ^{FGHb}	3.59±0.04 ^{Ba}	1.03±0.01 ^{Ae}
WY	0.00±0.00 ^{Bd}	0.20±0.01 ^{Gd}	1.78±0.00 ^{Db}	1.44±0.46 ^{Db}	3.44±0.04 ^{DEa}	3.17±0.03 ^{la}	3.45±0.03 ^{Ca}	0.83±0.01 ^{CDc}
NX	0.00±0.00 ^{Bh}	0.35±0.00 ^{Dg}	1.54±0.03 ^{Ee}	1.98±0.03 ^{ABd}	3.56±0.04 ^{BCb}	3.33±0.04 ^{Hlc}	3.82±0.03 ^{Aa}	0.92±0.02 ^{Bf}
KT	0.00±0.00 ^{Bg}	0.31±0.01 ^{Ef}	1.83±0.01 ^{Dd}	2.03±0.02 ^{ABc}	3.58±0.02 ^{Ba}	3.63±0.02 ^{EFGa}	3.11±0.03 ^{Eb}	0.48±0.01 ^{Ge}
QC	0.00±0.00 ^{Bg}	0.26±0.01 ^{Ff}	2.01±0.03 ^{Bd}	2.06±0.01 ^{ABd}	3.15±0.02 ^{Ghb}	3.77±0.04 ^{DEa}	2.74±0.03 ^{Hlc}	0.73±0.01 ^{Ee}
LZ	0.00±0.00 ^{Bh}	0.13±0.00 ^{lg}	1.62±0.02 ^{Ee}	1.82±0.02 ^{BCd}	3.14±0.04 ^{Ghb}	3.72±0.03 ^{DEFa}	2.19±0.02 ^{Kc}	0.77±0.02 ^{DEf}
WW	0.00±0.00 ^{Be}	0.27±0.01 ^{Fe}	2.32±0.08 ^{Abe}	2.06±0.02 ^{ABc}	3.24±0.03 ^{Ga}	3.38±0.31 ^{GHa}	2.49±0.06 ^{jb}	0.71±0.02 ^{Ed}
ZY	0.00±0.00 ^{Bf}	0.64±0.01 ^{Ae}	1.98±0.04 ^{BCc}	2.00±0.03 ^{ABc}	3.18±0.03 ^{Ga}	3.21±0.04 ^{la}	2.93±0.04 ^{Fb}	0.85±0.01 ^{BCd}
ZQ	0.00±0.00 ^{Bh}	0.43±0.02 ^{Gg}	1.54±0.05 ^{Ee}	2.30±0.03 ^{Ad}	3.08±0.02 ^{Hlb}	4.18±0.02 ^{Ba}	2.93±0.04 ^{Fc}	0.75±0.05 ^{DEf}
CX	0.00±0.00 ^{Bf}	0.66±0.02 ^{Ae}	1.52±0.05 ^{Ed}	2.00±0.04 ^{ABc}	3.4±0.03 ^{DEFa}	3.48±0.03 ^{FGHa}	2.68±0.02 ^{lb}	0.74±0.02 ^{Ee}
MJ	0.00±0.00 ^{Bh}	0.51±0.01 ^{Bg}	1.81±0.05 ^{De}	2.02±0.03 ^{ABd}	4.11±0.02 ^{Aa}	2.20±0.03 ^{Kc}	3.25±0.04 ^{Db}	0.86±0.03 ^{BCf}
XH	0.00±0.00 ^{Bh}	0.16±0.01 ^{Hlg}	1.64±0.04 ^{Ee}	2.00±0.04 ^{ABd}	3.33±0.03 ^{Fb}	4.12±0.03 ^{BCa}	2.82±0.04 ^{Ghc}	1.03±0.03 ^{Af}
JC	0.00±0.00 ^{Bf}	0.18±0.01 ^{GHe}	1.85±0.07 ^{CDc}	1.52±0.04 ^{CDd}	2.92±0.03 ^{Ja}	2.58±0.02 ^{lb}	2.92±0.03 ^{FGa}	0.57±0.02 ^{Fg}
LX	0.00±0.00 ^{Bh}	0.2±0.01 ^{Gg}	1.65±0.04 ^{Ee}	1.83±0.04 ^{BCd}	4.06±0.03 ^{Aa}	3.50±0.02 ^{FGHb}	3.24±0.04 ^{Dc}	0.86±0.04 ^{BC}
QZ	0.00±0.00 ^{Bg}	0.46±0.02 ^{Cf}	2.08±0.04 ^{Bd}	2.09±0.03 ^{ABd}	3.48±0.03 ^{CDb}	4.42±0.26 ^{Aa}	3.24±0.03 ^{Dc}	0.60±0.05 ^{Fe}
SD	0.00±0.00 ^{Bg}	0.63±0.01 ^{Af}	1.85±0.07 ^{CDc}	2.01±0.03 ^{ABd}	3.35±0.06 ^{EFb}	3.89±0.03 ^{CDa}	2.99±0.03 ^{Fc}	0.62±0.04 ^{Ff}

2.5 温度对一年生早熟禾种子胚芽长的影响

随着温度升高, 供试材料种子萌发过程中胚芽长度的变化规律不尽相同(表 6)。KT、QC、ZQ、CX、MJ、JC、LX 和 QZ 8 个材料胚芽长度呈先增大后减小趋势, CX、QC、LX 和 JC 在 20 °C 胚芽最长, KT、ZQ、MJ、和 QZ 在 28 °C 胚芽最长; 其余 8 个材料胚芽长度均呈逐渐增大趋势; QZ 胚芽最长, 为 1.82 cm。

与胚根一样, 所有材料 4 °C 胚芽最短, 但除 YC 4 °C 胚芽长为 0.16 cm 外, 其余 15 个材料胚芽长均为 0。8 °C 处理 SD 胚芽最长, 为 0.27 cm; WY 胚芽最短, 仅为 0.08 cm, 但与 XH 差异不显著 ($P > 0.05$)。

2.6 温度对一年生早熟禾种子苗鲜重的影响

随着温度升高, 所有供试一年生早熟禾材料种子萌发过程中苗鲜重呈先增大后下降趋势(表 7), MJ 在 28 °C 处理、其余材在 24 °C 处理苗鲜重最大, 其中 XH 苗鲜重最大, 为 3.74 mg/株, 显著大于 24 °C 处理其它材料苗鲜重 ($P < 0.05$)。

与胚根和胚芽长一样, 所有材料 4 °C 苗鲜重均最小, 但除 YC 4 °C 鲜重最为 0.29 mg/株外, 其余 15 个材料苗鲜重均为 0。8 °C 处理 SD 苗鲜重最大, 为

1.4 mg/株, 显著大于除 WY 和 NX 以外的其它材料; KT 苗鲜重最小, 仅为 0.8 mg/株。

2.7 温度对一年生早熟禾种子活力指数的影响

随着温度升高, 所有供试材料种子萌发过程中种子活力指数呈先增大后减小趋势(表 8), 且均在 24 °C 处理最大, 其中 KT 种子活力指数最大, 为 40.55, 显著大于除 XH 以外的其它材料 ($P < 0.05$)。

所有材料 4 °C 活力指数均最小, 但除 YC 4 °C 活力指数为 0.45 外, 其余 15 个材料活力指数均为 0。8 °C 处理 YC 活力指数最大, 为 4.88, 显著大于除 ZY 以外的其它材料; XH 活力指数最小, 仅为 1.19。

2.8 一年生早熟禾种子萌发特性综合评价

为综合反映野生一年生早熟禾材料萌发特性, 准确探讨其最适萌发温度, 以 16 个野材料分别在 4、8、12、16、20、24、28 和 32 °C 处理下发芽率、发芽势、发芽指数、胚根长、胚芽长、苗鲜重及活力指数的平均值为实测值, 利用隶属函数法对野生一年生早熟禾不同温度处理下的萌发特性进行综合评价。结果显示(表 9), YC 最适萌发温度为 28 °C, WY 和 MJ 最适萌发温度为 20 °C, 其他材料最适萌发温度为 24 °C。各材料

表 6 温度对一年生早熟禾种子胚芽长的影响

Table 6 The effects of temperature on sprout length of *P. annua* seeds

编号	胚芽长/cm							
	4 °C	8 °C	12 °C	16 °C	20 °C	24 °C	28 °C	32 °C
YC	0.16±0.02 ^{Ae}	0.12±0.01 ^{DEFGe}	1.09±0.02 ^{Ed}	1.14±0.05 ^{CDd}	1.61±0.03 ^{BCDa}	1.28±0.04 ^{FGc}	1.43±0.01 ^{BCb}	1.68±0.07 ^{ABa}
WY	0.00±0.00 ^{Be}	0.08±0.01 ^{He}	1.33±0.08 ^{BBc}	1.06±0.01 ^{Dd}	1.50±0.05 ^{CDEab}	1.32±0.12 ^{EFc}	1.42±0.01 ^{BCBe}	1.64±0.05 ^{ABCa}
NX	0.00±0.00 ^{Be}	0.14±0.01 ^{DEFd}	1.13±0.02 ^{DEc}	1.15±0.03 ^{CDc}	1.61±0.03 ^{BCDa}	1.57±0.03 ^{ABab}	1.48±0.03 ^{BCb}	1.65±0.09 ^{ABCa}
KT	0.00±0.00 ^{Bd}	0.19±0.02 ^{Cc}	1.17±0.05 ^{CDEb}	1.14±0.04 ^{CDb}	1.53±0.02 ^{CDEa}	1.48±0.07 ^{BCDEa}	1.56±0.06 ^{ABa}	1.49±0.09 ^{BCDa}
QC	0.00±0.00 ^{Bf}	0.15±0.01 ^{DEc}	1.08±0.01 ^{Ed}	1.30±0.06 ^{Bc}	1.83±0.01 ^{Aa}	1.31±0.04 ^{EFc}	1.62±0.06 ^{ABb}	1.78±0.07 ^{Aa}
LZ	0.00±0.00 ^{Bc}	0.12±0.01 ^{DEFGc}	1.17±0.02 ^{CDEb}	1.13±0.04 ^{CDb}	1.37±0.05 ^{EFa}	1.39±0.07 ^{CDEFa}	1.39±0.09 ^{BCa}	1.46±0.03 ^{BCDa}
WW	0.00±0.00 ^{Bd}	0.12±0.01 ^{DEFGc}	1.22±0.02 ^{BCDab}	1.13±0.02 ^{CDb}	1.26±0.05 ^{Fa}	1.24±0.04 ^{FGab}	1.22±0.06 ^{Cab}	1.31±0.06 ^{Da}
ZY	0.00±0.00 ^{Bf}	0.11±0.01 ^{EFGe}	1.11±0.02 ^{DEd}	1.16±0.05 ^{CDd}	1.32±0.06 ^{Fb}	1.21±0.02 ^{FGc}	1.25±0.03 ^{BCb}	1.47±0.03 ^{BCDa}
ZQ	0.00±0.00 ^{Be}	0.15±0.01 ^{Dd}	1.28±0.02 ^{BCb}	1.12±0.03 ^{CDc}	1.31±0.08 ^{Fb}	1.25±0.03 ^{FGBe}	1.45±0.04 ^{BCa}	1.38±0.08 ^{CDab}
CX	0.00±0.00 ^{Bf}	0.27±0.01 ^{Ae}	1.30±0.02 ^{Bd}	1.49±0.02 ^{ABc}	1.70±0.02 ^{ABa}	1.53±0.04 ^{ABCab}	1.35±0.08 ^{BCd}	1.42±0.13 ^{BCDbed}
MJ	0.00±0.00 ^{Bf}	0.22±0.01 ^{Be}	1.22±0.06 ^{BCDed}	1.13±0.05 ^{CDd}	1.38±0.07 ^{EFBc}	1.11±0.06 ^{FGd}	1.81±0.06 ^{Aa}	1.44±0.07 ^{BCDb}
XH	0.00±0.00 ^{Bd}	0.10±0.00 ^{GHd}	1.26±0.05 ^{BCBc}	1.18±0.02 ^{BCDc}	1.40±0.07 ^{EFb}	1.35±0.03 ^{DEFb}	1.37±0.07 ^{BCb}	1.62±0.07 ^{ABCa}
JC	0.00±0.00 ^{Bd}	0.11±0.00 ^{FGd}	1.12±0.01 ^{DEc}	1.12±0.03 ^{CDc}	1.58±0.04 ^{BCDa}	1.28±0.01 ^{FGBc}	1.54±0.18 ^{Ba}	1.45±0.07 ^{BCDab}
LX	0.00±0.00 ^{Be}	0.12±0.01 ^{DEFGc}	1.31±0.05 ^{Bcd}	1.26±0.01 ^{BCd}	1.84±0.07 ^{Aa}	1.51±0.02 ^{ABCDB}	1.57±0.07 ^{ABb}	1.46±0.10 ^{BCDBc}
QZ	0.00±0.00 ^{Bc}	0.14±0.00 ^{DEFc}	1.46±0.04 ^{Ab}	1.45±0.11 ^{Ab}	1.74±0.05 ^{ABab}	1.66±0.06 ^{Aab}	1.82±0.17 ^{Aa}	1.62±0.16 ^{ABCab}
SD	0.00±0.00 ^{Be}	0.27±0.02 ^{Ad}	1.16±0.04 ^{CDEc}	1.14±0.02 ^{CDc}	1.73±0.09 ^{ABa}	1.37±0.10 ^{CDEFb}	1.36±0.07 ^{BCb}	1.78±0.05 ^{Aa}

表 7 温度对一年生早熟禾种子苗鲜重的影响

Table 7 The effects of temperature on seedling fresh weight of *P. annua* seeds

编号	苗鲜重/(mg·株 ⁻¹)							
	4 °C	8 °C	12 °C	16 °C	20 °C	24 °C	28 °C	32 °C
YC	0.29±0.01 ^{Af}	1.04±0.02 ^{FGe}	1.50±0.04 ^{EFGd}	1.98±0.05 ^{Dc}	2.30±0.07 ^{BCb}	2.98±0.02 ^{FGa}	2.25±0.13 ^{DEFb}	2.17±0.05 ^{Eb}
WY	0.00±0.00 ^{Bg}	1.32±0.02 ^{ABCf}	1.90±0.04 ^{Ae}	1.96±0.02 ^{De}	2.18±0.03 ^{CDd}	2.97±0.03 ^{Ga}	2.60±0.05 ^{Cc}	2.83±0.02 ^{Bb}
NX	0.00±0.00 ^{Bg}	1.36±0.02 ^{ABCf}	1.59±0.02 ^{CDc}	2.02±0.03 ^{Dc}	2.08±0.04 ^{DEc}	3.17±0.02 ^{Da}	2.81±0.04 ^{Bb}	1.93±0.01 ^{GHd}
KT	0.00±0.00 ^{Bg}	0.80±0.01 ^{If}	1.57±0.01 ^{DEc}	1.98±0.02 ^{Dd}	2.43±0.02 ^{Ab}	3.33±0.06 ^{Ca}	2.33±0.04 ^{DEc}	1.57±0.03 ^{Je}
QC	0.00±0.00 ^{Bg}	1.21±0.02 ^{DEf}	1.74±0.04 ^{Be}	2.31±0.04 ^{ABb}	2.16±0.03 ^{CDEc}	2.63±0.03 ^{Ha}	1.94±0.02 ^{Id}	1.81±0.03 ^{Ie}
LZ	0.00±0.00 ^{Bg}	1.30±0.02 ^{BCDf}	1.55±0.02 ^{DEc}	1.83±0.02 ^{Ed}	2.17±0.02 ^{CDEc}	2.70±0.05 ^{Ha}	2.36±0.02 ^{Db}	2.66±0.02 ^{Ca}
WW	0.00±0.00 ^{Bg}	1.09±0.04 ^{Ff}	1.88±0.02 ^{Ae}	2.36±0.02 ^{Ab}	2.23±0.02 ^{BCc}	3.02±0.02 ^{EFGa}	2.21±0.02 ^{FGc}	2.01±0.03 ^{FGd}
ZY	0.00±0.00 ^{Bg}	1.10±0.04 ^{Ff}	1.49±0.04 ^{EFGe}	2.04±0.02 ^{Dc}	2.20±0.02 ^{CDb}	2.32±0.02 ^{Ja}	2.22±0.02 ^{FGb}	1.60±0.03 ^{Jd}
ZQ	0.00±0.00 ^{Bg}	1.18±0.03 ^{Ef}	1.55±0.02 ^{DEc}	1.94±0.02 ^{Dd}	2.18±0.03 ^{CDc}	3.14±0.01 ^{Da}	3.01±0.03 ^{Ab}	1.90±0.01 ^{Hd}
CX	0.00±0.00 ^{Bf}	1.37±0.02 ^{ABe}	1.83±0.04 ^{Ad}	1.95±0.05 ^{Dc}	2.18±0.03 ^{CDb}	3.52±0.03 ^{Ba}	2.24±0.03 ^{EFGB}	2.01±0.05 ^{FGc}
MJ	0.00±0.00 ^{Bg}	1.27±0.02 ^{CDf}	1.45±0.02 ^{FGc}	2.00±0.06 ^{Dd}	2.22±0.04 ^{BCc}	2.38±0.03 ^{lb}	2.60±0.03 ^{Ca}	2.04±0.06 ^{Fd}
XH	0.00±0.00 ^{Bg}	0.93±0.02 ^{Hf}	1.42±0.02 ^{Ge}	2.14±0.05 ^{Cb}	1.74±0.02 ^{Fd}	3.74±0.02 ^{Aa}	2.04±0.03 ^{He}	2.09±0.04 ^{EFBc}
JC	0.00±0.00 ^{Bh}	0.98±0.02 ^{GHg}	1.51±0.02 ^{DEFe}	1.82±0.02 ^{Ed}	2.35±0.02 ^{ABb}	3.08±0.03 ^{DEFa}	2.17±0.03 ^{Ge}	1.29±0.03 ^{Kf}
LX	0.00±0.00 ^{Bg}	1.07±0.05 ^{FGf}	1.66±0.02 ^{Cc}	1.66±0.03 ^{Fe}	2.05±0.02 ^{Ed}	3.50±0.04 ^{Ba}	2.99±0.05 ^{Ab}	2.44±0.02 ^{Dc}
QZ	0.00±0.00 ^{Bf}	1.27±0.03 ^{CDEe}	1.83±0.01 ^{Ad}	2.22±0.04 ^{DEc}	2.20±0.04 ^{CDc}	3.52±0.01 ^{Ba}	2.15±0.03 ^{Ge}	3.21±0.02 ^{Ab}
SD	0.00±0.00 ^{Bg}	1.40±0.04 ^{Af}	1.86±0.02 ^{Ae}	2.02±0.02 ^{Dd}	2.16±0.03 ^{CDEc}	3.11±0.03 ^{DEa}	2.25±0.03 ^{EFGB}	1.36±0.02 ^{Kf}

萌发特性综合评价从大到小依次为 JC>ZY>QC>YC>NX>KT>CX>LZ>MJ>WW>ZQ>SD>WY>QZ>XH>LX。各温度处理萌发特性综合评价从大到小依次为 24 °C>20 °C>28 °C>16 °C>12 °C>32 °C>8 °C>4 °C,其中 24 和 20 °C 综合评价大于 0.8,表明野生一年生早熟禾种子萌发适

宜温度范围为 20~24 °C,最适宜萌发温度为 24 °C。

3 讨论

3.1 种源对一年生早熟禾种子萌发的影响

通常情况下,种子萌发所需最适温度与其原生境生态条件和气候条件有关,不同植物或同一植物来自

表 8 温度对一年生早熟禾种子活力指数的影响

Table 8 The effects of temperature on vitality index of *P. annua* seeds

编号	活力指数							
	4 °C	8 °C	12 °C	16 °C	20 °C	24 °C	28 °C	32 °C
YC	0.45±0.02 ^{Ab}	4.88±0.17 ^{Af}	10.22±0.27 ^{CDEc}	20.08±0.55 ^{Dd}	31.56±1.05 ^{Ab}	36.47±0.33 ^{CDa}	24.75±1.52 ^{Bc}	1.10±0.22 ^{Jg}
WY	0.00±0.00 ^{Bh}	1.97±0.02 ^{FGg}	11.90±0.20 ^{Be}	16.93±0.17 ^{Gc}	22.57±0.37 ^{EFb}	30.20±0.40 ^{Fa}	13.29±0.37 ^{Fd}	8.09±0.20 ^{Bf}
NX	0.00±0.00 ^{Bh}	2.12±0.31 ^{EFGg}	10.67±0.17 ^{Ce}	18.44±0.18 ^{EFd}	21.09±0.65 ^{Gc}	37.03±0.32 ^{BCa}	28.67±0.32 ^{Ab}	6.38±0.19 ^{CDf}
KT	0.00±0.00 ^{Bh}	1.75±0.05 ^{GHg}	10.08±0.07 ^{DEc}	21.23±0.27 ^{Cd}	26.69±0.15 ^{Bb}	40.55±1.01 ^{Aa}	24.68±0.55 ^{Bc}	3.82±0.21 ^{Ff}
QC	0.00±0.00 ^{Bh}	3.81±0.07 ^{Bf}	12.24±0.29 ^{Be}	24.08±0.52 ^{Ab}	23.09±0.21 ^{DEc}	28.39±0.35 ^{Ga}	15.98±0.21 ^{Ed}	2.55±0.22 ^{Gg}
LZ	0.00±0.00 ^{Bh}	2.11±0.03 ^{EFGf}	10.45±0.12 ^{CDe}	18.36±0.14 ^{EFd}	22.24±0.22 ^{EFGb}	32.35±0.76 ^{Ea}	19.86±0.39 ^{Dc}	1.74±0.07 ^{Hg}
WW	0.00±0.00 ^{Bf}	1.48±0.05 ^{HHe}	13.18±0.09 ^{Ac}	21.84±0.26 ^{Bcb}	22.13±0.40 ^{EFGb}	30.07±0.28 ^{Fa}	6.92±0.27 ^{Hd}	0.88±0.26 ^{Je}
ZY	0.00±0.00 ^{Bh}	4.68±0.14 ^{Af}	10.04±0.35 ^{DEc}	17.80±0.26 ^{FGd}	21.32±0.34 ^{FGb}	26.67±0.20 ^{Ha}	19.05±0.12 ^{Dc}	2.44±0.03 ^{Gg}
ZQ	0.00±0.00 ^{Bh}	2.11±0.08 ^{EFGg}	8.02±0.11 ^{Ge}	15.39±0.12 ^{Hd}	19.13±0.45 ^{Hc}	32.67±0.71 ^{Ea}	25.31±0.46 ^{Bb}	3.90±0.05 ^{Ff}
CX	0.00±0.00 ^{Bh}	2.39±0.05 ^{DEg}	8.90±0.14 ^{Fe}	18.08±0.68 ^{Fd}	19.25±0.48 ^{Hc}	34.82±0.35 ^{Da}	22.16±0.27 ^{Cb}	4.93±0.16 ^{Ef}
MJ	0.00±0.00 ^{Bg}	2.26±0.05 ^{EFf}	7.42±0.07 ^{He}	12.09±0.42 ^{Id}	13.71±0.21 ^{Jc}	18.31±0.38 ^{Ia}	16.26±0.33 ^{Eb}	2.37±0.05 ^{Gf}
XH	0.00±0.00 ^{Bh}	1.19±0.04 ^{Ig}	7.52±0.10 ^{GHe}	22.37±0.53 ^{Bb}	17.36±0.26 ^{Id}	40.52±0.89 ^{Aa}	19.35±0.33 ^{Dc}	5.38±0.11 ^{Ef}
JC	0.00±0.00 ^{Bg}	2.64±0.05 ^{Df}	11.81±0.28 ^{Bd}	19.38±0.30 ^{DEc}	24.21±0.45 ^{CDb}	35.35±1.03 ^{CDa}	22.66±1.39 ^{Cb}	6.52±0.14 ^{Ce}
LX	0.00±0.00 ^{Bh}	1.87±0.06 ^{Gg}	8.07±0.14 ^{Ge}	15.48±0.33 ^{Hd}	17.94±0.45 ^{Hc}	36.8±0.26 ^{BCa}	28.21±0.26 ^{Ab}	5.95±0.15 ^{Df}
QZ	0.00±0.00 ^{Bg}	2.11±0.05 ^{EFGf}	9.79±0.20 ^{Ee}	14.75±0.27 ^{Hc}	18.04±0.36 ^{Hb}	30.16±0.42 ^{Fa}	11.06±0.30 ^{Gd}	10.95±0.24 ^{Ad}
SD	0.00±0.00 ^{Bh}	3.18±0.15 ^{Cf}	10.73±0.04 ^{Ce}	22.39±0.22 ^{Bc}	25.47±0.23 ^{BCb}	38.45±0.40 ^{Ba}	19.79±0.34 ^{Dd}	1.54±0.08 ^{Hg}

表 9 一年生早熟禾种子萌发特性各指标隶属函数值及综合评价

Table 9 The comprehensive evaluation and the order of *P. annua* seeds

编号	隶属函数值								萌发特性综合评价价值	排序
	4 °C	8 °C	12 °C	16 °C	20 °C	24 °C	28 °C	32 °C		
YC	0.080 3	0.268 2	0.493 4	0.720 3	0.817 7	0.917 3	0.934 2	0.250 9	0.560 3	4
WY	0.038 3	0.133 0	0.554 4	0.643 2	0.932 3	0.931 9	0.679 0	0.332 6	0.530 6	13
NX	0.024 6	0.161 0	0.516 0	0.687 7	0.830 8	0.974 7	0.882 0	0.394 7	0.559 0	5
KT	0.013 5	0.165 6	0.507 4	0.754 9	0.879 3	0.992 2	0.823 4	0.309 1	0.555 7	6
QC	0.012 8	0.224 1	0.580 6	0.848 4	0.898 3	0.947 2	0.734 4	0.321 2	0.570 9	3
LZ	0.007 7	0.167 6	0.554 1	0.736 3	0.827 5	0.993 2	0.733 7	0.389 0	0.551 1	8
WW	0.004 2	0.144 4	0.674 7	0.810 3	0.892 5	0.992 4	0.501 1	0.284 2	0.538 0	10
ZY	0.019 8	0.274 3	0.581 4	0.748 8	0.879 5	0.974 7	0.801 4	0.308 6	0.573 6	2
ZQ	0.017 1	0.163 0	0.498 2	0.679 7	0.790 9	0.980 3	0.833 2	0.321 4	0.535 5	11
CX	0.020 2	0.270 3	0.540 2	0.740 2	0.869 7	0.985 7	0.669 8	0.315 5	0.551 5	7
MJ	0.018 5	0.195 2	0.565 3	0.688 0	0.924 9	0.866 3	0.759 0	0.304 6	0.540 2	9
XH	0.019 0	0.107 8	0.460 6	0.751 5	0.769 9	0.966 3	0.729 4	0.356 7	0.520 1	15
JC	0.026 3	0.185 0	0.611 5	0.744 1	0.886 9	0.956 2	0.850 7	0.416 4	0.584 6	1
LX	0.034 0	0.124 7	0.410 0	0.665 1	0.811 0	0.956 0	0.864 6	0.237 8	0.512 9	16
QZ	0.051 9	0.131 0	0.495 5	0.634 1	0.800 8	0.987 4	0.664 7	0.458 1	0.527 9	14
SD	0.025 4	0.238 4	0.482 5	0.732 1	0.874 6	0.966 3	0.695 2	0.249 3	0.533 0	12
萌发特性综合评价价值	0.025 8	0.184 6	0.532 9	0.724 0	0.855 4	0.961 8	0.759 7	0.328 1		
排序	8	7	5	4	2	1	3	6		

不同生长环境都会受环境和遗传特性的影响,导致其种子萌发特性对温度的响应有一定差异^[19]。

本试验中,WY和YC最适萌发温度为20 °C,MJ最适萌发温度为28 °C,存在明显差异,WY和YC种源海拔均超过1 900 m,且YC在N 38°,渭源县年均温

5.7 °C,永昌县年均温4.8 °C,一年生早熟禾经过长期进化,种子能在较低温度下萌发,进而萌发适宜温度也较低,而MJ种源来自N 34°,海拔1 600 m,麦积区年均温12 °C,气候温和,四季分明,一年生早熟禾在此气候下不耐严寒,从而种子萌发适宜温度较高。来自高

海拔、高纬度地区的种子适宜的萌发温度较低,而低海拔低纬度地区的种子适宜萌发温度较高,这可能与不同地区种子萌发机制有关,催化种子萌发的酶表现出最高活性时的温度有差异。利用模糊隶属函数法,综合评价了16个一年生早熟禾种质在8个温度处理下的萌发特性,隶属函数值显示极大差异,从大到小排序为JC > ZY > QC > YC > NX > KT > CX > LZ > MJ > WW > ZQ > SD > WY > QZ > XH > LX,整体上,来自低海拔、低纬度地区的种子综合评价结果较好,这可能是因为种子的生产环境不同导致种子活力出现较大差异^[20],从而影响种子萌发对温度的响应。

3.2 温度对一年生早熟禾种子萌发的影响

种子萌发过程会受到温度、光照和水分等众多因素影响,其中温度被认为是最关键的因素之一^[21],温度过高或过低均会显著降低种子的萌发活性,导致种子萌发特性发生变化^[22]。

发芽率能够体现种子的发芽能力,是发芽试验中重要评价指标。种子发芽率受温度等环境因素影响,高寒草甸种子萌发研究中,萌发性状与种源海拔和萌发温度有关,低温处理下发芽率随海拔升高而显著增大^[13]。本试验与该研究结果一致,在4℃下,来自高海拔的YC在16份材料中表现出最高发芽率,严寒气候下选育出的种子在低温下表现更好。王红春^[12]等研究表明,一年生早熟禾萌发最适温度范围为5~25℃,在25~35℃条件下,种子萌发率随温度升高而降低。本研究中,16份材料发芽率整体随温度升高呈先升后降趋势,当温度高于最适萌发温度后,种子萌发被抑制,导致发芽率降低。另外,发芽势、发芽指数和活力指数等也是重要评价指标。研究发现,随温度的升高,野生老芒麦种子发芽率、发芽势、发芽指数和活力指数等增大,种子萌发在25℃条件下达到了最佳响应^[23],与本研究结果有差异,本研究呈现随温度升高先升后降,在20~28℃达到最佳响应,究其原因,该研究最高温为25℃,而本研究为32℃,可能是高温抑制了酶的活性从而降低种子活力,出现下降趋势。此外,重要参考指标还有胚芽长、胚根长和苗鲜重等。贺佳圆等^[24]研究发现,10~35℃恒温范围内,随温度升高,野生早熟禾材料种子的胚芽长、胚根长、苗鲜重均表现出先增大后降低趋势。本试验中,随着温度升

高,一年生早熟禾的胚根长和苗鲜重呈先增大后减小趋势,与该研究结果一致,而胚芽长展现出差异,8份材料胚芽长度呈逐渐增大趋势,另外8份材料呈先增大后减小趋势,这可能是因为,来自不同地区的种子幼苗在不同温度下对营养物质的吸收利用效率不同,导致对温度的响应出现较大差异。在20~24℃处理下,16份材料发芽率和种子活力指数达到最大值,最大发芽率达99%,种子活力指数最大为40.55,这说明高温和低温都会抑制一年生早熟禾种子内部多种酶的催化和物质代谢,导致种子新陈代谢受到抑制而延缓,从而抑制种子萌发。

温度对一年生早熟禾种子萌发的影响极显著,不同温度处理下,部分萌发特性差异明显,且在低温条件和高温条件下种子萌发受到明显抑制,这是一年生早熟禾种子萌发对环境条件的适应。适宜温度可以软化种皮促进种子水分吸收,增强酶活性活性和呼吸作用^[6],而且储存的营养物质处于可溶性状态,便于使用,温度主要影响种子内各种酶的代谢,高温和低温都会抑制种子的新陈代谢,因此,种子在适宜温度下可以表现出最高的发芽率^[25],而促进一年生早熟禾种子萌发的酶还有待进一步研究。

3.3 一年生早熟禾种子萌发适宜温度综合性评价

一般不能用单一指标评价种子的萌发特性,本研究发现,单个指标评价16个一年生早熟禾种质萌发适宜温度结果不一,不同生境的一年生早熟禾对同一温度的响应不同,且同一材料各指标在不同温度下表现不一致,因此,用单一指标评价不可靠。本研究以7个萌发指标,利用隶属函数法对16个一年生早熟禾种子萌发特性进行了综合评价,各温度处理下综合评价值从大到小依次为24℃ > 20℃ > 28℃ > 16℃ > 12℃ > 32℃ > 8℃ > 4℃,20和24℃下综合评价值均大于0.8000,24℃最大,表明其适宜萌发温度范围为2~24℃。

4 结论

本试验研究结果表明,甘肃境内16份不同地区的野生一年生早熟禾材料种子萌发过程中,随着温度升高,其发芽率、发芽势、发芽指数、胚根长、苗鲜重和活力指数均呈先增大后减小趋势,胚芽长呈逐渐增大趋势,WY和YC最适萌发温度为20℃,MJ最适萌发温

度为28℃,其他材料最适萌发温度为24℃,适宜萌发温度范围为20~24℃,最适萌发温度为24℃。

参考文献:

- [1] 黄大燊. 甘肃植被[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社, 1997:1-15.
- [2] 方强恩,孙英,白小明,等. 甘肃早熟禾属野生植物资源分布研究[J]. 中国草地学报, 2010, 32(6):39-45.
- [3] 白小明,张咏梅,陈辉,等. 甘肃野生草地早熟禾(*Poa pratensis*)分布区土壤养分状况[J]. 中国沙漠, 2020, 40(6):242-249.
- [4] Bonvissuto G L, Busso C A. Germination of grasses and shrubs under various water stress and temperature conditions: (With 4 Figures & 2 Tables)[J]. *Phyton*, 2007, 76(3722):119-131.
- [5] Daniel L Mummey, Mollie E Herget, Kristina M Hufford, *et al.* Germination Timing and Seedling Growth of *Poa secunda* and the Invasive Grass, *Bromus tectorum*, in Response to Temperature: Evaluating Biotypes for Seedling Traits that Improve Establishment [J]. *Ecological Restoration*. 2016, 34(3):200-208.
- [6] Wei L, Zhang C, Dong Q, *et al.* Effects of temperature and water potential on seed germination of 13 *Poa* L. species in the Qinghai-Tibetan Plateau [J]. *Global Ecology and Conservation*. 2021, 25: e1442.
- [7] 张金青,贾新风,李凡,等. 温度和稃壳去除对甘肃野生草地早熟禾发芽特性和多胚苗频率的影响[J]. 草原与草坪, 2021, 41(3):70-77.
- [8] Fernández Pascual E, Carta A, Mondoni Andrea, *et al.* The seed germination spectrum of alpine plants: a global meta-analysis[J]. *The New phytologist*, 2020, 229(6): 3573-3586.
- [9] 鱼小军,师尚礼,龙瑞军,等. 生态条件对种子萌发影响研究进展[J]. 草业科学, 2006, 23(10):44-49.
- [10] 张敏, NIPAPAN Kanjana, 李铷, 等. 环境因子对云南扁穗雀麦种子萌发和出苗的影响[J]. 草业学报, 2021, 30(12):143-151.
- [11] 史小华,马广莹,金亮,等. 温度及赤霉素处理对兰香草种子萌发特性的影响[J]. 分子植物育种, 2021, 19(16): 5522-5527.
- [12] 王红春,娄远来,李宜慰. 早熟禾萌发特性研究[J]. 江苏农业科学, 2009(4):138-140.
- [13] 许静,李文龙,吴鑫悦,等. 青藏高原高寒草甸种子萌发行为沿海拔梯度的分异特征[J]. 草地学报, 2021, 29(S1):10-18.
- [14] 汪秀岩,周宇鹏,薛雨霏,等. 高低纬度种源互花米草种子萌发特性及其对温度的响应[J]. 生态学杂志, 2021, 40(9):2763-2772.
- [15] 王志恒,杨秀柳,胡韩,等. 杨柴种子萌发对环境因子的响应研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(9):99-109.
- [16] Westoby M, Leishman M, Lord J, *et al.* Comparative ecology of seed size and dispersal [and Discussion][J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society B Biological Sciences*, 1996, B(1345):1309-1318.
- [17] 高志昊,李雪颖,兰剑,等. 干旱胁迫条件下不同饲用燕麦品种种子萌发指标比较与评价[J]. 草地学报, 2022, 30(5):1210-1218.
- [18] 朱依晗,刘宁芳,胡龙兴,等. 8份绿穗苜蓿种子萌发期耐盐碱性综合评价[J]. 草地学报, 2021, 29(10):2176-2183.
- [19] 雷舒涵,许蕾,白小明. 温度及盐胁迫对7个野生观赏草种子萌发特性的影响[J]. 草原与草坪, 2017, 37(2): 20-28.
- [20] 梁润芳,武自念,李志勇,等. 低温和光照对羊草种子萌发的影响[J]. 中国草地学报, 2021, 43(12):33-39.
- [21] 姜黎,赵振勇,张科,等. 温度与盐分对囊果碱蓬种子萌发特性的影响[J]. 中国草地学报, 2021, 43(10): 115-120.
- [22] 赵文静,张浩阳,徐燕妮,等. 不同温度下 AOX 和 COX 途径对苜蓿种子萌发和幼根生长的影响[J]. 草地学报, 2022, 30(1):84-92.
- [23] 王传旗,徐雅梅,梁莎,等. 西藏野生老芒麦种子萌发对温度和水分的影响[J]. 作物杂志, 2017(6):165-169.
- [24] 贺佳圆,王靖婷,白小明,等. 温度对8个野生早熟禾材料萌发特性的影响[J]. 草业科学, 2013, 30(3): 383-389.
- [25] 童琪,钟雁,李婧等. 不同温度对迷人杜鹃种子萌发与幼苗生长及生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2020, 40(3):471-477.

Study on suitable temperature for seed germination of *Poa annua*

TIAN Xiao-lan, BAI Xiao-ming*, YAN Yu-bang, ZHANG Cai-zhong, ZHU Ya-nan,
ZHENG Feng, CHEN Hui

(College of Pratacultural Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory Pratacultural Ecosystem, Ministry of Education, Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-US Center for Grazingland Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: 【Objective】 The investigation was performed to find the suitable temperature for seed germination of *Poa annua*. 【Method】 The germplasm of wild annual *Poa pratensis* from 16 different areas in Gansu province was used as materials in this experiment. Eight different temperature gradient treatments were set at 4, 8, 12, 16, 20, 24, 28 and 32 °C. The effects of different temperature on seed germination of annual *Poa pratensis* were studied. 【Result】 The results showed that with the increase of temperature, the germination percentage, germination potential, germination index, radicle length, seedling fresh weight and vitality index of annual *Poa pratensis* seeds increased firstly and then decreased, while the plumule length increased gradually. 【Conclusion】 The comprehensive evaluation of membership function showed that the optimal temperature range for seed germination was 16~24 °C under the condition of 16 h illumination / 8 h darkness and 55% relative humidity, and the optimum germination temperature was 24 °C.

Key words: *Poa annua*; seed; temperature; germination characteristics

(责任编辑 刘建荣)