

狼毒种子不同密度对 6 种草地植物种子发芽及幼苗生长的化感影响

刘秀艳, 郭丽珠, 刘 丽, 黄 顶

(中国农业大学 动物科学技术学院, 北京 100193)

摘要:为了探究狼毒种子对 6 种草地植物针茅(*Stipa copillata*)、羊草(*Aneurolepidium chinense*)、披碱草(*Elymus dahuricus*)、扁穗冰草(*Agropyron cristatum*)、独行菜(*lepidium apetalum*)、碱地风毛菊(*Saussurea runcinata*)种子发芽和幼苗生长的影响,采用培养皿滤纸法分别将不同密度的狼毒种子(0、5、10、20、40 粒/皿)和 6 种草地植物种子(10 粒/皿)一起培养,并测定了相关指标。结果表明:随着狼毒种子密度增大,受试种子发芽率,发芽势,发芽指数先增大后减小,且为促进作用,在狼毒种子密度为 10 粒/皿时促进作用最大,促进作用由大至小依次为披碱草,羊草,扁穗冰草,针茅,碱地风毛菊,独行菜。除碱地风毛菊根长在狼毒种子密度为 10 粒/皿时存在微弱的抑制作用之外,其他受试植物根长苗长存在不同程度的促进作用。

关键词:狼毒;种子密度;发芽;化感作用

中图分类号:S 452;S 330.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2019)01-0001-07

化感作用是植物通过分泌化感物质而影响周围植物,微生物以及自身的生长和繁殖的生化互作^[1],在自然条件下,化感物质主要来源于植物活的或死的根、茎、叶、花和花序等器官^[2-3],目前,大量研究集中于植物根、茎、叶、花的提取液对其他植物种子发芽的化感作用^[4-7]。近年来,学者们开始关注植物种子对其他种子和幼苗化感作用的研究^[8-9],但是在草地生态系统上进行的相关研究较少。

狼毒(*Stellera chamaejasme*)是我国草地生态系统中重要的有毒植物,广泛分布于西藏、青海、甘肃、四川、宁夏、内蒙古等地^[10],放牧时家畜采食常常会引起家畜中毒,还会同牧草争夺光和肥,狼毒数量的增多,使我国草地畜牧业的可持续发展和草地生态安全受到了严重的威胁^[11]。此外,有研究认为狼毒对牧草的化感作用是草地退化的重要原因^[12],但有学者认为狼毒

对周围植物生长有积极影响^[13],这种不定性使狼毒化感作用的研究在草地退化恢复中很重要。

种子繁殖是狼毒繁殖的唯一途径,土壤种子库中狼毒种子的数量决定狼毒植被的更新^[13-14],狼毒的研究在植株产生的化感物质对其他植物花粉萌发和种子结实的花粉化感效应以及狼毒的治理方面^[4,12,15]较多,对狼毒种子在草地退化过程中对其他植物种子发芽是否起到化感作用的研究较少。选择退化草地上狼毒周围的植物扁穗冰草,羊草,针茅,披碱草以及独行菜,碱地风毛菊为供试草种种子,旨在探究草地生态系统中狼毒种子对周围牧草种子发芽的化感影响,以期对狼毒退化草地补播草种的选择提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

试验地位于河北省沽源县国家草地生态系统野外科学观测研究站的典型草原(Typical Steppe),地理位置 E 116°14', N 41°37', 海拔 1 430 m,河北沽源典型草原属于温带半干旱季风气候带,年均温 1.4℃,1 月平均气温 -18.6℃,7 月平均气温 17.6℃,霜期 80~110 d;年均降水量 350~450 mm,主要集中于生长季的 6~9 月,占全年降水量的 80%,年潜在蒸发量

收稿日期:2018-06-25;修回日期:2018-12-02

基金项目:公益性行业科研专项“半干旱天然牧区打草场培育与利用技术研究”(21176080)资助

作者简介:刘秀艳(1993-),女,河北唐山人,硕士研究生。

E-mail:lxxy537@cau.edu.cn

黄顶为通讯作者。E-mail:huangding@263.net

1 700~2 300 mm,平均气温为1℃,最冷月(1月)平均气温-18.6℃,最热月(7月)平均气温17.6℃,≥0℃年积温2 000~2 800℃,≥10℃年积温1 500~2 200℃;土壤类型以栗钙土为主;羊草为该地区的建群种,主要植物种类为羊草(*Aneurolepidium chinense*)、克氏针茅(*Stipa krylovii*)、冰草(*Agropyron cristatum*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)等。

1.2 试验材料与测定

于2017年7~8月收集狼毒的种子和当地存在于狼毒周围较多的扁穗冰草,羊草,针茅,披碱草,独行菜,碱地风毛菊种子,风干备用。

试验设置0(对照)、5、10、20、40粒/皿5个狼毒种子密度梯度处理^[16](培养皿规格15 cm×15 cm,狼毒种子数,代表狼毒种子中化感物质的浓度),分别与禾本科牧草扁穗冰草,羊草,针茅,披碱草和杂类草独行菜,碱地风毛菊的种子一起培养(每个培养皿10粒种子),每个处理设置4次重复,试验前将种子放入15%次氯酸钠溶液中消毒30 min,蒸馏水清洗。将6种草地种子规则摆放在带有两层滤纸的培养皿中,将狼毒种子放在草地草种子之间。为了保证发芽时水分的需求,每日每个处理加入等量蒸馏水,所有处理置于20~30℃的人工培养箱中,光照10 h/d,光照强度12 000 lx培养。从发芽试验起,每日记录供试种子发芽数(胚根长度大于1 mm视为发芽),直到发芽数不再改变(15 d)。测量根长、苗长(芽长)后烘干称重,并计算各项指标:

发芽率=(15 d后发芽数/供试种子数)×100%

发芽指数GI=(GT表示试验期内每天的发芽数,DT表示发芽天数)

发芽势=(试验期5 d内正常种子的发芽数/供试种子数)×100%

化感效应指数(RI)=1-C/T

式中:C为不加狼毒种子的对照值,T为处理值,RI>0时,表示为促进作用,RI<0时,表示为抑制作用,而RI绝对值的大小表示狼毒的化感作用强度的大小。

1.3 数据分析

利用Excel软件对数据进行初步整理,SPSS 19.0进行数据方差分析,方差分析采取LSD法进行多重比较,并且计算综合化感系数,综合化感系数为同一处理下发芽率,发芽势,发芽指数,根长,苗长,干重各个指标化感系数的平均值^[17],最后运用GraphPad Prism 5

软件作图。

2 结果与分析

2.1 狼毒种子不同密度处理对4种草地植物种子的发芽率、根长、苗高和干重的影响

随着狼毒种子密度的增大,扁穗冰草种子的发芽率,发芽势,发芽指数,干重先增加后减少,根长,苗长呈先增加后减少再增加的趋势(表1)。发芽率、发芽势、发芽指数在种子密度为10粒/皿时达到最大,前者与对照差异显著($P<0.05$),其他处理与对照差异不显著($P>0.05$)。苗长在种子密度为5、20粒/皿时与对照差异显著($P<0.05$),其余处理间差异不显著($P>0.05$)。随着狼毒种子密度的增加,羊草种子发芽率,发芽势,发芽指数,苗长表现为先增加后减少再增加,干重表现为随着种子密度的增加而增大。狼毒种子密度为5粒/皿时,羊草种子的发芽势与对照差异显著,对于发芽指数,种子密度为20粒/皿时与对照差异显著($P<0.05$),其余处理间差异不显著($P>0.05$)。对于根长,种子密度为5粒/皿时与对照差异显著($P<0.05$)。对于干重,种子密度为40粒/皿时与对照相比差异显著($P<0.05$)。其余处理间差异不显著($P<0.05$)。此外,狼毒种子密度对针茅种子发芽率、发芽势、发芽指数、根长、干重的影响趋势为先增加后减少,种子密度为20粒/皿时达到最大值。试验中除了根长,苗长之外,其余指标在狼毒种子密度为20粒/皿时与对照相比差异显著($P<0.05$),各处理间差异不显著($P>0.05$)。最后,随着狼毒种子密度的增加,披碱草种子发芽率、发芽势、发芽指数、根长、苗长、干重的影响表现为先增加后减少后稍有波动,在种子密度为5粒/皿时达到最大。发芽率,发芽势,发芽指数处理间差异不显著($P>0.05$)。对于根长,种子密度为10、20粒/皿时,与对照相比差异显著($P>0.05$)。其余处理间差异不显著($P>0.05$)。

在狼毒种子密度为5粒/皿时,羊草与披碱草种子发芽率达到最大,与对照相比分别增加了15%、17.5%,当狼毒种子密度为10粒/皿时,扁穗冰草种子发芽率,发芽势,发芽指数,干重达到最大,与对照相比分别增加了22.5%、16%、1.44、0.002 3 g,增加量大于针茅>披碱草>羊草。当狼毒种子密度为20粒/皿时,针茅种子的发芽率,发芽势,发芽指数,根长,干重达到最大,比对照分别增加了32.5%、21.82%、1.60、

0.004 6 g, 与对照相比种子发芽率, 发芽势, 发芽指数, 根长, 干重的增加量大于披碱草 > 羊草 > 扁穗冰草, 披碱草的干重达到最大, 比对照增加了 0.005 1 g。但是羊草, 针茅, 披碱草种子发芽的根长苗长变化不

大, 都与对照差异不显著 ($P > 0.05$)。狼毒种子密度为 40 粒/皿时, 受试种子发芽率与对照相比增加量最大的是披碱草, 其次针茅, 羊草, 增加量最少的是扁穗冰草。

表 1 狼毒种子处理下扁穗冰草、羊草、针茅、披碱草种子的萌发及幼苗生长情况

Table 1 Effect of *Stellera chamaejasme* seeds on germination and seedling growth of *Agropyron cristatum*, *Aneurolepidium chinense*, *Stipa copillata* and *Elymus dahuricus*

物种	种子密度 (/粒·皿 ⁻¹)	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	根长/cm	苗长/cm	干重/ (×10 ⁻³ g/个)
扁穗冰草	0	60.00±0.07 ^a	29.25±0.02 ^a	2.09±0.07 ^a	1.41±0.14 ^{ab}	3.02±0.37 ^a	4.45±0.19 ^a
	5	62.50±0.07 ^{ab}	43.00±0.04 ^a	2.81±0.33 ^a	1.71±0.21 ^{ab}	4.14±0.12 ^b	4.50±0.69 ^a
	10	82.50±0.06 ^b	45.25±0.13 ^a	3.53±0.99 ^a	1.23±0.18 ^a	3.44±0.32 ^{ab}	6.75±0.82 ^a
	20	60.00±0.10 ^a	36.00±0.05 ^a	2.37±0.30 ^a	2.51±0.45 ^b	4.21±0.47 ^b	6.00±1.85 ^a
	40	62.50±0.05 ^{ab}	29.25±0.02 ^a	2.01±0.19 ^a	1.59±0.69 ^{ab}	3.71±0.43 ^{ab}	5.00±0.33 ^a
羊草	0	12.50±0.02 ^a	4.50±0.03 ^a	0.58±0.21 ^a	2.75±0.46 ^a	4.77±0.61 ^a	1.10±0.26 ^a
	5	27.50±0.05 ^a	24.00±0.07 ^b	1.47±0.39 ^{ab}	5.57±0.57 ^b	5.96±0.21 ^a	1.93±0.24 ^{ab}
	10	17.50±0.02 ^a	6.82±0.04 ^{ab}	1.70±0.08 ^{ab}	3.77±0.62 ^{ab}	5.77±1.07 ^a	2.35±0.95 ^{ab}
	20	17.50±0.12 ^a	11.36±0.08 ^{ab}	1.87±0.56 ^b	3.38±1.53 ^{ab}	4.96±1.21 ^a	2.45±1.15 ^{ab}
	40	25.00±0.09 ^a	18.18±0.06 ^{ab}	1.67±0.51 ^{ab}	3.72±0.36 ^{ab}	5.72±0.08 ^a	3.45±0.45 ^b
针茅	0	45.00±0.10 ^a	18.18±0.06 ^a	1.53±0.29 ^a	1.98±0.19 ^a	3.34±0.47 ^a	3.10±1.04 ^a
	5	35.00±0.06 ^a	20.45±0.04 ^a	1.68±0.35 ^a	3.08±0.81 ^a	3.93±0.49 ^a	3.80±0.64 ^a
	10	62.50±0.10 ^{ab}	27.27±0.08 ^a	2.34±0.47 ^{ab}	2.75±0.48 ^a	4.00±0.64 ^a	5.25±0.19 ^a
	20	77.50±0.07 ^b	50.00±0.05 ^b	3.13±0.40 ^b	3.09±0.23 ^a	3.63±0.29 ^a	7.65±1.14 ^b
	40	60.00±0.11 ^{ab}	36.36±0.06 ^{ab}	2.23±0.36 ^{ab}	2.18±0.27 ^a	3.63±0.30 ^a	4.60±0.84 ^a
披碱草	0	37.50±0.10 ^a	29.50±0.10 ^a	2.40±0.86 ^a	3.54±0.26 ^a	5.43±0.86 ^a	7.73±3.23 ^a
	5	55.00±0.08 ^a	43.00±0.10 ^a	3.53±0.72 ^a	4.08±0.27 ^a	7.16±0.44 ^a	11.22±2.43 ^a
	10	47.50±0.06 ^a	22.50±0.07 ^a	2.16±0.26 ^a	2.78±0.31 ^b	5.85±1.14 ^a	6.95±1.04 ^a
	20	52.25±0.06 ^a	34.00±0.07 ^a	2.97±0.58 ^a	2.78±0.14 ^b	5.20±0.57 ^a	12.87±1.78 ^a
	40	52.25±0.06 ^a	24.75±0.04 ^a	2.73±0.28 ^a	3.59±0.40 ^a	5.96±0.63 ^a	10.32±1.08 ^a

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同

2.2 狼毒种子不同密度处理下碱地风毛菊和独行菜种子发芽的影响

狼毒种子密度对碱地风毛菊种子发芽率, 发芽势, 发芽指数, 苗长, 干重的影响不显著, 对于根长, 种子密度为 10、40 粒/皿时与对照相比差异显著 ($P < 0.05$)。其余处理间差异不显著 ($P > 0.05$)。对独行菜种子的发芽势, 发芽指数, 干重的影响不显著 (表 2)。

碱地风毛菊种子的发芽率, 发芽势, 发芽指数, 干重在狼毒种子密度为 5 粒/皿时达到最大, 比对照分别增加了 12.5%、5%、0.82、0.0013 g。但在狼毒种子密度为 10 粒/皿时, 碱地风毛菊根长与对照相比减少了

0.80 cm。而独行菜发芽率, 发芽势, 发芽指数, 根长, 苗长在狼毒种子密度为 10 粒/皿时达到最大, 比对照分别增加了 2.5%、3.5%、1.52、2.79 cm、0.13 cm。其余指标与对照相比变化不大 (表 2)。

2.3 狼毒种子不同密度处理下对植物种子的综合化感系数

狼毒种子密度对供试草种子发芽的综合化感系数 (除碱地风毛菊) 均有程度不同的促进作用, 只有碱地风毛菊种子密度为 10 粒/皿时, 种子发芽受狼毒种子密度抑制。狼毒种子密度对扁穗冰草, 羊草, 针茅, 披碱草, 碱地风毛菊, 独行菜发芽的综合化感系数分别在

表 2 狼毒种子不同密度处理下碱地风毛菊和独行菜的种子萌发及幼苗生长情况

Table 2 Effect of *Stellera chamaejasme* seeds on germination and seedling growth of *Saussurea runcinata* and *Lepidium apetalum*

物种	种子密度 (/粒·皿 ⁻¹)	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	根长/cm	苗长/cm	干重/ (×10 ⁻³ g/个)
----	-------------------------------	-------	-------	------	-------	-------	--------------------------------

碱地风毛菊	0	47.50±0.08 ^a	36.00±0.05 ^a	3.30±0.54 ^a	2.90±0.13 ^a	0.74±0.02 ^a	4.20±0.00 ^a
	5	60.00±0.12 ^a	41.00±0.10 ^a	4.12±1.07 ^a	2.64±0.20 ^{ab}	0.74±0.05 ^a	6.50±1.20 ^a
	10	50.00±0.10 ^a	41.00±0.10 ^a	3.29±0.82 ^a	2.10±0.41 ^b	0.83±0.04 ^a	4.90±1.22 ^a
	20	57.50±0.06 ^a	40.75±0.06 ^a	3.43±0.54 ^a	2.37±0.18 ^{ab}	0.83±0.05 ^a	6.10±0.00 ^a
	40	60.00±0.08 ^a	36.00±0.05 ^a	3.02±0.43 ^a	2.19±0.07 ^b	0.87±0.04 ^a	5.45±0.63 ^a
独行菜	0	97.50±0.02 ^{ab}	86.50±0.03 ^a	21.57±1.17 ^a	1.60±0.14 ^a	0.52±0.01 ^a	2.15±0.46 ^a
	5	90.00±0.05 ^a	88.00±0.03 ^a	21.63±0.12 ^a	3.14±0.58 ^{ab}	0.53±0.04 ^{ac}	2.43±0.58 ^a
	10	100.00±0.00 ^b	91.00±0.00 ^a	23.09±0.29 ^a	4.39±0.80 ^b	0.65±0.02 ^b	2.18±0.39 ^a
	20	96.67±0.05 ^{ab}	88.00±0.03 ^a	22.24±0.65 ^a	3.70±0.38 ^b	0.61±0.03 ^{bc}	1.50±0.20 ^a
	40	100.00±0.00 ^b	91.00±0.00 ^a	22.45±0.90 ^a	3.53±0.36 ^b	0.79±0.03 ^d	1.70±0.50 ^a

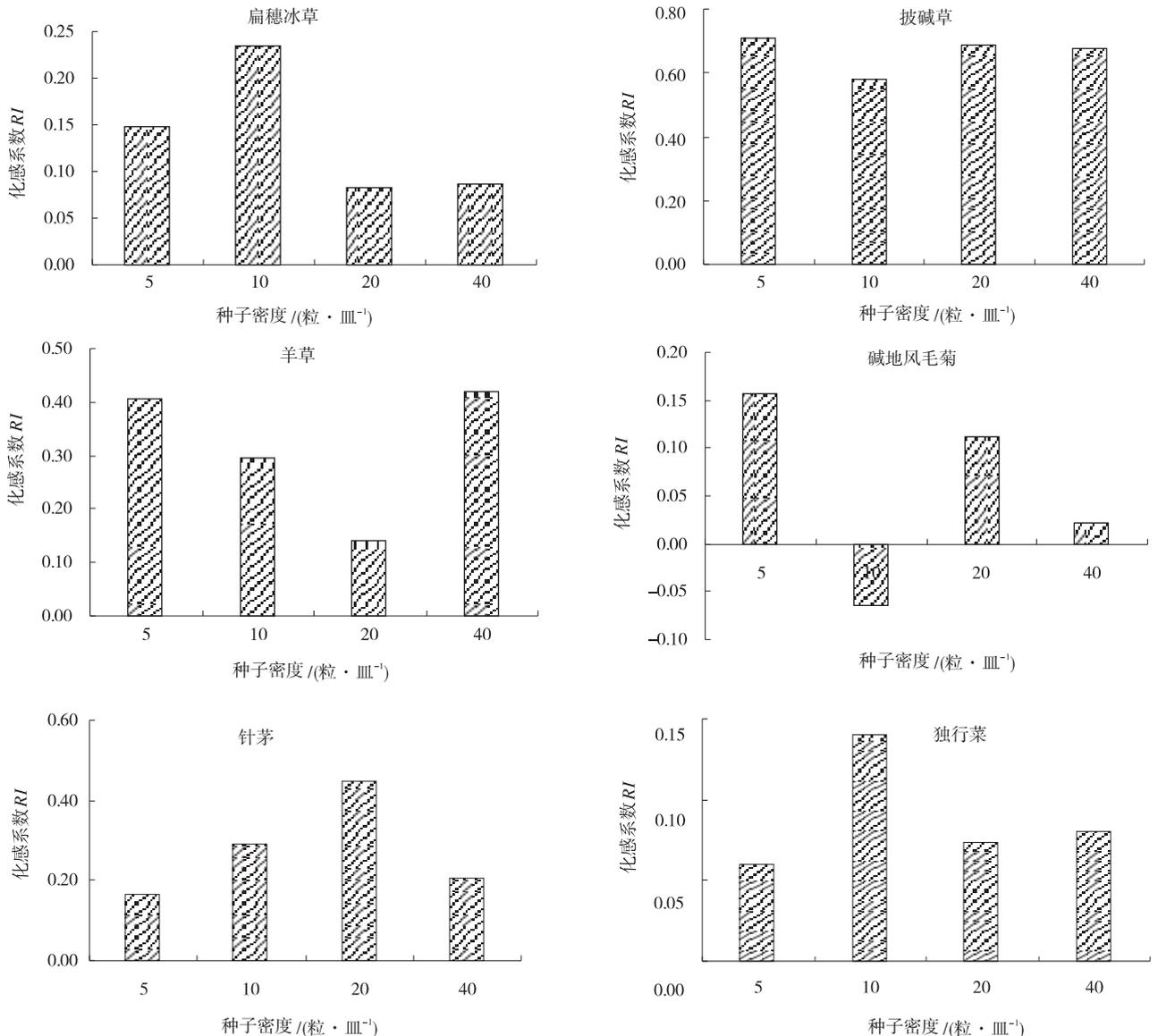


图 1 狼毒种子不同密度处理下对其他种子发芽的综合化感系数

Fig. 1 The integrated allelopathy coefficient of *Stellera chamaejasme* seeds on seed germination of 6 grassland plants

狼毒种子密度为 10、5、20、5、5、10 粒/皿时达到最大, 分别为 0.24、0.42、0.45、0.71、0.16、0.14(图 1)。

3 讨论

3.1 狼毒种子不同密度处理对草地植物种子发芽的影响

狼毒是瑞香科狼毒属植物,是草地重要的有毒植物,遍布于典型草原,干草原,沙质草原的退化草地^[18]。其化感作用的研究已经成为天然草地退化恢复过程中的热门问题。从狼毒种子入手,研究狼毒种子对 6 种草地植物的发芽的影响,随着狼毒种子密度

增大,受试植物种子的发芽率,发芽势,发芽指数先增加后减少,表现为促进作用而没有起到化感抑制,可能是因为狼毒种子密度不大,其中水溶性种子渗透液还没有达到产生化感抑制作用的临界浓度,还有可能是,狼毒种子因其种皮限制,因此,化感物质达不到临界浓度。有研究表明随着狼毒茎叶量的增加,新麦草表现出先促后抑^[18],化感作用存在低促高抑的现象^[19-21]。试验表明,当狼毒种子密度为 20 粒/皿时,对针茅种子发芽各指标促进作用最大,相同狼毒种子密度下(密度小于 10 粒/皿),受试植物种子发芽率,发芽势,发芽指数促进作用最大的为披碱草,其次是羊草,扁穗冰草,针茅,碱地风毛菊,独行菜。说明不同植物达到最大促进作用的狼毒种子密度不同,在同狼毒种子密度下,各种植物表现出的化感影响不同。可能是因为不同植物种子发芽对狼毒种子化感物质的耐性不同,这与周淑清等^[23]狼毒对披碱草,黑麦草,扁穗冰草,草木樨的化感作用不同的结果一致。

3.2 狼毒种子不同密度处理对草地植物种子幼苗生长的影响

根是吸收水分,矿质元素的重要器官,根的生长和发育能够对植物的生长发育以及代谢活动产生重要的影响,苗长、干重能够反应植物的生物量状况,研究中,相同狼毒种子密度下,对有的受试植物根长、苗长有显著的促进作用,但对有的受试植物有显著的抑制作用。如当狼毒种子密度为 10 粒/皿时,碱地风毛菊根长表现显著的抑制作用,却对独行菜根长、苗长有显著的促进作用,可能是因为不同植物对狼毒种子化感物质抗性有差异,有研究报道披碱草在狼毒水浸溶液达到 12%时种子发芽没有受到抑制,但紫花苜蓿,沙打旺则受到抑制^[5]。当狼毒种子密度为 5 粒/皿时,羊草根长表现显著的促进作用,而碱地风毛菊却有抑制效果,也说明了不同植物种子发芽对狼毒种子化感物质的反应不同。结果还表明,不同狼毒种子密度下,碱地风毛菊的根长表现出抑制作用,而苗长却产生促进作用。可能是因为同种植物的不同部位对狼毒种子化感物质的敏感度不同导致不同部位的化感作用有差异。有研究表明^[24],狼毒对扁穗冰草的化感作用在株高和干重上促进作用最大,与此次研究的狼毒种子对扁穗冰草的苗长影响结果一致,但扁穗冰草的干重作用不显著,可

能是因为狼毒种子与狼毒根、茎、叶的化感作用相比较弱,还有可能是因为只研究了对扁穗冰草萌发期的影响,狼毒种子密度对扁穗冰草的干重化感作用未到显著的时期^[24]。

3.3 狼毒种子不同密度处理对草地植物种子的综合化感系数

综合化感系数能评价受试植物对狼毒种子化感作用的表现,研究中,不同狼毒种子密度下,除狼毒种子密度为 10 粒/皿时,碱地风毛菊综合化感系数为负,其余受试植物综合化感系数为正,说明狼毒种子对扁穗冰草,羊草,针茅,披碱草,独行菜种子发芽都为促进作用,促进作用最小的是独行菜,扁穗冰草,其次是羊草,针茅,披碱草。可能是因为狼毒种子对披碱草种子发芽的化感促进作用最大,表明其对狼毒种子的抗性最强,这与周淑清等^[25]披碱草对狼毒化感作用耐受性强($RI > 0$)的研究结果一致。说明披碱草广泛的适应性,抗寒抗旱的重要特性,保证了其在不利条件下保持自身发育不受影响^[23],又因为其能在狼毒周围很好的生长^[13],可考虑作为狼毒退化草地上补播草种。对于针茅和羊草,作为洁源典型草原的主要植物种类,狼毒种子对其种子发芽的促进影响,也使针茅和羊草种子的发芽受狼毒种子抑制作用很小。综合分析,在狼毒肆意蔓延的退化草地上可考虑补播披碱草,针茅,羊草,扁穗冰草种子。

4 结论

(1) 狼毒种子密度对扁穗冰草,羊草,针茅,披碱草,碱地风毛菊,独行菜种子的发芽率,发芽势,发芽指数,根长,苗长化感作用表现为促进作用(只有碱地风毛菊在种子密度为 10 粒/皿时表现抑制作用,相同狼毒种子密度下,不同受试植物促进作用不同,发芽率在低狼毒种子密度时(小于 10 粒/皿),促进作用最大的是披碱草,在狼毒种子为 20 粒/皿时,促进作用最大为针茅,当种子密度为 40 粒/皿时,促进作用最大的仍是披碱草。

(2) 狼毒种子对禾本科种子和杂类草种子综合化感系数大多为正,只有在狼毒密度为 10 粒/皿时,碱地风毛菊的综合化感系数为负,不同狼毒种子密度下,披碱草的综合化感系数最大,因此,在狼毒生长较多的退

化草地上可优先考虑补播披碱草,进行草地恢复。

参考文献:

- [1] 王慧. 草地狼毒化感作用途径与强度的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2011.
- [2] Han C, Pan K, Wu N, *et al.* Allelopathic effect of ginger on seed germination and seedling growth of soybean and chive[J]. *Scientia Horticulturae*, 2008, 116(3): 330—336.
- [3] 张等宏, 陈娥, 杨顺义, 等. 瑞香狼毒根中杀螨活性物质的分离鉴定[J]. *甘肃农业大学学报*, 2018, 53(1): 95—101.
- [4] 王宏生, 曾辉, 汤涛. 狼毒不同器官水浸液对牧草种子发芽率的影响[J]. *青海畜牧兽医杂志*, 2007, 37(3): 11—12.
- [5] 周淑清, 侯天爵, 黄祖杰. 狼毒水浸液对几种主要牧草种子发芽的影响[J]. *中国草地*, 1993(4): 77—79.
- [6] 曹成有, 富瑶, 王文星, 等. 瑞香狼毒根提取液对植物种子萌发的抑制作用[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 2007, 28(5): 729—732.
- [7] 马文生, 李强, 朱坤, 等. 瑞香狼毒全株水提液对7种植物的化感作用研究[J]. *甘肃农业科技*, 2018(5): 23—26.
- [8] Plant Growth Regulation A S H N. Allelopathic influence of *Vigna mungo* (black gram) seeds on germination and radical growth of some crop plants[J]. *Plant Growth Regulation*, 2002(38): 69—74.
- [9] Qaderi M M, Cavers P B, Bernards M A. Isolation and structural characterization of a water-soluble germination inhibitor from Scotch thistle (*Onopordum acanthium*) cypselas[J]. *J Chem Ecol*, 2003, 29(11): 2425—2438.
- [10] 周淑清, 王慧, 黄祖杰, 等. 狼毒在土壤里腐解过程中对苜蓿化感作用的研究[J]. *中国草地学报*, 2008(4): 78—82.
- [11] 拉措吉. 草原狼毒的防除技术[J]. *当代畜牧*, 2017(14): 43—44.
- [12] 毕凌霄, 廖蓉苏. 瑞香狼毒及牛心朴子水浸液化感作用的研究[J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(6): 3294—3297.
- [13] DU Lin-Fang, Wu Yan, Zheng Qun-Ying, *et al.* Unpalatable Weed *Stellera chamaejasme* L. Provides Biotic Refuge for Neighboring Species and Conserves Plant Diversity in Overgrazing Alpine Meadows on the Tibetan Plateau in China[J]. 2014, 11(3): 746—754.
- [14] 杜晶, 赵成章, 宋清华, 等. 基于地统计学的退化草地狼毒种群土壤种子库空间异质性[J]. *生态学杂志*, 2015, 34(1): 94—99.
- [15] 王慧, 周淑清, 黄祖杰. 狼毒对小冠花生化他感作用的初步研究[J]. *草业与畜牧*, 2008(12): 4—7.
- [16] Zhang S, Liu J, Bao X, *et al.* Seed-to-seed potential allelopathic effects between *Ligularia virgaurea* and native grass species of Tibetan alpine grasslands[J]. *Ecological Research*, 2011, 26(1): 47—52.
- [17] Zhang S, Liu J, Bao X, *et al.* Seed-to-seed potential allelopathic effects between *Ligularia virgaurea* and native grass species of Tibetan alpine grasslands[J]. *Ecological Research*, 2011, 26(1): 47—52.
- [18] 黄祖杰, 王慧, 卫智军, 等. 狼毒对新麦草、无芒雀麦化感作用的研究[J]. *草业与畜牧*, 2011(1): 17—20.
- [19] 钟声, 段新慧, 奎嘉祥. 紫茎泽兰对16种牧草发芽及幼苗生长的化感作用[J]. *草业学报*, 2007, 16(6): 81—87.
- [20] 黄鹏, 黄高宝, 柴强. 植物化感作用影响因素的再认识[J]. *草业学报*, 2005, 14(2): 16—22.
- [21] 陈龙池, 汪思龙. 杉木根系分泌物化感作用研究[J]. *生态学报*, 2003, 32(2): 393—398.
- [22] 王慧, 周淑清, 黄祖杰. 狼毒对草木樨、多年生黑麦草的化感作用[J]. *草地学报*, 2009, 17(6): 826—829.
- [23] 周淑清, 王慧, 黄祖杰, 等. 狼毒对披碱草化感作用的研究[J]. *草原与草坪*, 2010, 30(5): 63—65.
- [24] 王慧, 卫智军, 周淑清, 等. 扁穗冰草对狼毒生化他感作用耐抗性的初步研究[J]. *草业与畜牧*, 2011(3): 12—14.

(下转 15 页)