

杯腺柳叶片枯落物浸提液对高寒灌丛草地6种草种子萌发的化感作用

赵一珊,杨航,徐长林,景媛媛,李颖,鱼小军*

(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】研究高寒灌丛草地优势植被杯腺柳(*Salix cerebralis*)叶片枯落物对优势草种子萌发的化感作用,为高寒灌丛草地的科学管理提供理论指导。【方法】使用不同浓度的杯腺柳叶片枯落物浸提液处理高寒灌丛草地中6种常见优势草种子,并进行发芽试验。【结果】杯腺柳叶片枯落物浸提液浓度在50~75 g/L间存在临界浓度,使浸提液对扁蓿豆、圆柱披碱草、垂穗披碱草种子萌发及幼苗生长从促进作用转变为抑制作用,呈现“低促高抑”的现象。各供试浓度(12.5~100 g/L)的浸提液均抑制了甘肃马先蒿根的生长。浸提液对幼苗根的化感作用强于对芽的作用。化感综合效应表明,杯腺柳叶片枯落物浸提液对6种草地植物种子萌发的影响程度为:高山韭>甘肃马先蒿>草地早熟禾=垂穗披碱草>扁蓿豆>圆柱披碱草。【结论】退化高寒草甸的恢复措施应考虑通过合理放牧来调控草地枯落物的量和养分的循环,提高牧草质量以及维持草地健康。

关键词:东祁连山;杯腺柳;枯落物;种子萌发;化感潜力

中图分类号:S812.6⁺8 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2023)02-0067-08

DOI:10.13817/j.cnki.cyyp.2023.02.008



化感作用又称异株克生作用,是由植物或微生物分泌、挥发,植物残体经雨水淋洗、腐烂分解后所释放的一些次生代谢产物,这些物质会直接或者间接地对其他植物(或自身)、土壤环境和微生物等产生抑制或促进的效应^[1-2]。研究草地植物枯落物化感作用可以更好地审视草原植物间的关系,在草原植被恢复等方面具有重要参考价值^[3]。

在草地生态系统中,草地枯落物是草地的重要组成部分,主要来源是生长季结束后植物老化或死亡的地上部分^[4-5]。高寒灌丛植被的叶片枯落物会持续不断积累,覆盖草本层植被,对草本植物种子与土壤的接触形成阻碍,使种子萌发受到影响^[6-7],并且枯落物

分解所产生的化学物质也会对周围植物的生长产生不利的影响,一些植物种类不能得以更新,这会降低植物物种丰富度,从而改变草地生态系统的演替进程^[8]。

杯腺柳(*Salix cerebralis*)灌丛是东祁连山高寒区域的优势植被,对该区域生态系统的稳定和水源涵养具有重要作用^[9],而扁蓿豆(*Medicago ruthenica*)、高山韭(*Allium Sikkimense*)、甘肃马先蒿(*Pedicularis kansuensis*)、圆柱披碱草(*Elymus cylindricus*)、垂穗披碱草(*E. nutans*)和草地早熟禾(*Poa pratensis*)是高寒草甸中常见的优势种和优良牧草^[10-11],研究杯腺柳叶片枯落物对上述6个物种的化感作用,可以更好地了解杯腺柳灌丛在高寒灌丛草地系统中的利用价值。目前,关于高寒灌丛杯腺柳枯落物对高寒灌丛优势草本植物化感作用的研究未有报道。本研究通过测定不同浓度高寒灌丛杯腺柳枯落物水浸提液处理下6种草地常见植物的种子萌发指标和幼苗生长相关指标,旨

收稿日期:2021-04-12;修回日期:2021-10-19

基金项目:国家自然科学基金项目(31760695)资助

作者简介:赵一珊(1995-),女,河南漯河人,硕士研究生。

E-mail:308638253@qq.com

*通信作者。E-mail:yuxj@gsau.edu.cn

在揭示高寒灌丛杯腺柳枯落物对草地种子萌发的影响,为研究高寒灌丛草地管理措施提供一定科学依据。

1 材料和方法

1.1 研究区概况

采样试验地位于甘肃省天祝县金强河地区。地理坐标为N 37°11′~37°13′、E 102°23′~102°29′,海拔3 000~3 500 m。气候寒冷潮湿,空气稀薄,太阳辐射强。年均温-0.1℃,1月-18.3℃,7月12.7℃,>0℃年积温1 380℃;水热同期,年日照时间2 600 h;无绝对无霜期,无四季之分,仅分冷热两季,冷季长达7个月,植物生长季为120~140 d,年降水量416 mm,该区植被属青藏高原植物亚区。灌木以杜鹃花科的杜鹃花属(*Rhododendron*),蔷薇科的金露梅属(*Dasiphora*),杨柳科的柳属(*Salix*)为主。草本以莎草科

的嵩草属(*Kobresia*)和苔草属(*Carex*),蓼科的蓼属(*Polygonum*),禾本科的早熟禾属(*Poa*),菊科的风毛菊属(*Saussurea*)等为主^[12]。

1.2 材料收集与制备

浸提液制备:2018年3月上旬,在采样区采集高寒灌丛杯腺柳叶片枯落物,带回实验室内通风处晾干,混合均匀,剪至1~2 cm备用,取枯落物样品100 g置于烧杯中,加入1 000 mL蒸馏水,室内常温静置48 h后过滤,滤液即为100 g/L的杯腺柳叶片枯落物浸提液(母液)^[13]。

种子收集:2018年9月从甘肃天祝高寒草甸采集高山韭、圆柱披碱草、草地早熟禾、垂穗披碱草、甘肃马先蒿种子(表1);扁蓿豆种子2018年9月底采集于甘肃省武威市黄羊镇。种子在室内通风处干燥贮藏,挑选形态饱满,色泽一致的种子装袋保存备用。

表 1 受试草种
Table 1 Tested varieties

编号	受试草种	科	属
1	扁蓿豆 <i>Medicago ruthenica</i>	豆科 Fabaceae	苜蓿属 <i>Medicago</i>
2	高山韭 <i>Allium Sikkimense</i>	百合科 Liliaceae	葱属 <i>Allium</i>
3	甘肃马先蒿 <i>Pedicularis kansuensis</i>	玄参科 Scrophulariaceae	马先蒿属 <i>Pedicularis</i>
4	圆柱披碱草 <i>Elymus cylindricus</i>	禾本科 Gramineae	披碱草属 <i>Elymus</i>
5	垂穗披碱草 <i>Elymus nutans</i>	禾本科 Gramineae	披碱草属 <i>Elymus</i>
6	草地早熟禾 <i>Poa pratensis</i>	禾本科 Gramineae	早熟禾属 <i>Poa</i>

1.2 试验设计

发芽试验采用纸上法(TP)在甘肃农业大学草业生态系统教育部重点实验室进行。选取颗粒饱满、形状一致的种子均匀置于直径为9 cm双层滤纸的培养皿中,确保培养皿内滤纸充分湿润,滤纸之间无气泡。试验设置6个浓度处理,分别为0(CK)、12.5、25、50、75、100 g/L,其中0 g/L为蒸馏水,其余浓度浸提液由母液稀释获得。各处理3次重复,每重复50粒种子,共计108皿(6物种×6浓度×3重复),培养皿置于型号为SPX-250-GB的培养箱,光照设置白天与黑夜时间之比为16 h:8 h,光照强度2 000 lx,温度设置25℃,湿度70%。试验首日分别加入不同浓度的枯落物浸提液5 mL,加入浸提液后用电子天平(精确度0.000 1 g)称量各培养皿重量。试验开始后,每日统

计各发芽盒种子萌发状况,统计后补充蒸馏水至起始重量,以保持各处理浓度一致。萌发试验终止标准为连续3天无种子萌发。

1.3 测定指标

发芽率(GR)=试验期限内正常发芽种子数/供试种子总数×100%

发芽势(GP)=发芽高峰期一天的发芽种子数/供试种子总数×100%

发芽指数GI= $\sum(Gt/Dt)$

活力指数VI=S×GI

式中Gt为每天的种子发芽数,Dt为相应的发芽天数;S为种苗生长量(长度);GI为发芽指数。

待各受试种子达到萌发试验终止标准后进行幼苗生长指标测定,从每个重复内随机选取10株幼苗,

用游标卡尺测量幼苗长(mm)和根长(mm)。

化感效应衡量指标:用 Williamson 等提出的化感作用效应指数(Response Index,RI)作为衡量指标^[14]。

$$RI=1-C/T$$

T 为处理的平均值;C 为对照的平均值;RI 表示化感效应。RI>0 表示存在促进作用;RI<0 表示存在抑制作用,RI 的绝对值表示化感强度的大小。

化感综合效应((Synthesis effects,SE):是用同一受体植物各项测定指标化感效应指数的算术平均值来表示。本试验中:

$$RI_{(SE)} = (RI_{(GR)} + RI_{(GP)} + RI_{(GI)} + RI_{(VI)} + RI_{(芽长)} + RI_{(根长)})/6$$

1.4 数据分析

利用 SPSS 19.0 中 Duncan 进行单因素方差分析,差异显著性水平为 0.05,采用 Excel 2010 进行图表制作,试验数据以平均值±标准差表示。

2 结果与分析

2.1 杯腺柳叶片枯落物水浸提液对扁蓿豆种子萌发的影响

扁蓿豆种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、根长、芽长都随着枯落物浸提液浓度的增大出现

先升高后降低的趋势。在 12.5 g/L 时,种子的发芽势、发芽指数、活力指数、根长和芽长均最高,其中杯腺柳叶片水浸提液显著提高了发芽指数和活力指数($P<0.05$)。在 25 g/L 浓度以上,水浸提液对以上发芽指标均存在抑制效果,发芽率和发芽指数在 100 g/L 处理下较对照开始呈现差异显著;活力指数和根长在 75 g/L 下与 CK 相比显著降低($P<0.05$);而发芽势和芽长在 100 g/L 下较 CK 仍未出现显著差异($P<0.05$)(表 2)。

2.2 杯腺柳叶片枯落物浸提液对高山韭种子萌发的影响

高山韭种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、根长、芽长随着杯腺柳叶片枯落物浓度的增大先升高后降低。除芽长外,水浸提液对其余指标值的增大均在 12.5 g/L 下有最大促进效应,其中发芽势和发芽指数较 CK 差异显著($P<0.05$)。在其余浓度下,杯腺柳的水浸提液对以上所有萌发指标值的增大均呈现抑制作用,发芽率、发芽指数、活力指数、根长和芽长在 75 g/L 处理下较 CK 差异显著($P<0.05$),分别降低了 22.62%、20.30%、62.69%、52.70%、和 60.64%(表 3)。

表 2 杯腺柳叶片枯落物水浸提液对扁蓿豆种子萌发的影响

Table 2 Effect of aqueous extract from leaf litter of *Salix cupularis* on seed germination of *Medicago ruthenica*

浓度/ (g·L ⁻¹)	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	活力指数	根长/cm	芽长/cm
100	61.00±4.06 ^c	59.00±4.81 ^b	15.38±0.49 ^c	34.69±0.99 ^c	2.26±0.03 ^b	0.84±0.02 ^c
75	76.00±2.31 ^b	68.00±4.16 ^{ab}	17.95±1.33 ^{bc}	42.54±5.15 ^c	2.35±0.12 ^b	0.86±0.04 ^{bc}
50	86.00±4.16 ^{ab}	72.00±3.46 ^{ab}	22.95±1.08 ^a	61.96±4.39 ^{ab}	2.69±0.07 ^a	0.94±0.02 ^{ab}
25	89.00±3.53 ^a	77.00±1.76 ^a	23.39±0.29 ^a	66.37±2.30 ^{ab}	2.84±0.08 ^a	0.96±0.01 ^a
12.5	84.00±3.46 ^{ab}	79.00±1.33 ^a	24.81±0.10 ^a	71.46±1.29 ^a	2.89±0.03 ^a	0.96±0.03 ^a
0(CK)	79.00±1.76 ^{ab}	65.00±6.57 ^{ab}	19.06±1.52 ^b	54.67±5.68 ^b	2.86±0.16 ^a	0.91±0.02 ^{abc}

注:同列不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下表同

2.3 杯腺柳叶片枯落物浸提液对甘肃马先蒿种子萌发的影响

杯腺柳水浸提液对甘肃马先蒿种子的萌发在 25 g/L 浓度下促进效果最好,其中,发芽势、发芽指数和芽长在此浓度下较 CK 差异显著($P<0.05$)。发芽势、活力指数和根长在 12.5 g/L 时有最大值,且此浓度可显著提高甘肃马先蒿种子的发芽势。发芽率和发芽指数在 100 g/L 处理下较 CK 分别降低了 25.45%

和 23.67%($P<0.05$),在 75 g/L 时,活力指数和根长与 CK 相比分别显著降低 25.6% 和 25.74%($P<0.05$),芽长和发芽势在最高浓度(100 g/L)下值最小,但较 CK 差异不显著(表 4)。

2.4 杯腺柳叶片枯落物浸提液对圆柱披碱草种子萌发的影响

低浓度杯腺柳叶片枯落物浸提液对圆柱披碱草发芽率、发芽指数、活力指数、根长的增大有促进作

表 3 杯腺柳叶片枯落物水浸提液对高山韭种子萌发的影响

Table 3 Effect of aqueous extract from leaf litter of *Salix cupularis* on seed germination of *Allium sikkimense*

浓度/(g·L ⁻¹)	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	活力指数	根长/cm	芽长/cm
100	56.00±3.46 ^d	41.00±2.40 ^e	4.96±0.27 ^e	2.49±0.15 ^e	0.50±0.03 ^b	0.33±0.08 ^c
75	65.00±3.53 ^c	50.00±2.31 ^b	5.93±0.28 ^d	4.10±0.38 ^e	0.70±0.08 ^b	0.37±0.03 ^c
50	75.00±1.76 ^b	56.00±3.46 ^b	6.92±0.12 ^c	8.85±0.60 ^b	1.28±0.08 ^a	0.69±0.07 ^b
25	83.00±1.33 ^{ab}	67.00±1.76 ^a	8.19±0.44 ^{ab}	11.58±0.57 ^{ab}	1.42±0.07 ^a	1.76±0.08 ^a
12.5	88.00±3.06 ^a	71.00±2.91 ^a	8.75±0.09 ^a	13.97±1.77 ^a	1.60±0.20 ^a	1.01±0.12 ^b
0(CK)	84.00±2.31 ^{ab}	58.00±2.00 ^b	7.44±0.11 ^{bc}	10.99±1.39 ^{ab}	1.48±0.19 ^a	0.94±0.17 ^b

用,而随着浓度升高表现出抑制作用,各指标均在12.5 g/L 浓度下有最大促进效果,其中发芽指数和芽长较CK 差异显著($P<0.05$),发芽势随着水浸提液浓度的增加呈现逐渐降低的趋势。发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数在100 g/L 处理下,与CK 相比分别显著降低13.92%、29.41%、15.08% 和24.71% ($P<0.05$),根长、芽长与CK 相比有所降低,但无显著差异(表5)。

表 4 杯腺柳叶片枯落物水浸提液对甘肃马先蒿种子萌发的影响

Table 4 Effect of aqueous extract from leaf litter of *Salix cupularis* on seed germination of *Pedicularis kansuensis*

浓度/(g·L ⁻¹)	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	活力指数	根长/cm	芽长/cm
100	41.00±2.40 ^c	27.00±3.71 ^c	3.45±0.24 ^c	4.44±0.50 ^c	1.29±0.14 ^c	0.27±0.02 ^c
75	55.00±2.91 ^b	31.00±2.40 ^c	4.54±0.27 ^b	6.83±0.38 ^b	1.50±0.02 ^{bc}	0.31±0.02 ^{bc}
50	63.00±4.06 ^{ab}	34.00±2.31 ^{bc}	5.18±0.27 ^{ab}	7.87±0.82 ^{ab}	1.51±0.09 ^{bc}	0.32±0.03 ^{bc}
25	67.00±3.53 ^{ab}	41.00±1.76 ^{ab}	5.51±0.39 ^a	9.15±0.84 ^a	1.67±0.15 ^{ab}	0.42±0.03 ^a
12.5	60.00±2.00 ^{ab}	43.00±2.91 ^a	5.27±0.13 ^{ab}	9.85±0.37 ^a	1.87±0.11 ^{ab}	0.37±0.02 ^{ab}
0(CK)	55.00±2.40 ^b	30.00±3.06 ^c	4.52±0.20 ^b	9.18±0.91 ^a	2.02±0.12 ^a	0.33±0.04 ^{bc}

表 5 杯腺柳叶片枯落物水浸提液对圆柱披碱草种子萌发的影响

Table 5 Effect of aqueous extract from leaf litter of *Salix cupularis* on seed germination of *Elymus cylindricus*

浓度/(g·L ⁻¹)	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	活力指数	根长/cm	芽长/cm
100	68.00±3.06 ^c	36.00±3.06 ^b	10.42±0.53 ^d	24.68±1.29 ^c	2.37±0.05 ^b	4.07±0.02 ^c
75	76.00±2.31 ^{bc}	41.00±2.91 ^{ab}	11.56±0.16 ^{cd}	28.99±0.97 ^{bc}	2.51±0.09 ^{ab}	4.17±0.05 ^{bc}
50	83.00±3.53 ^{ab}	42.00±3.46 ^{ab}	12.68±0.42 ^{bc}	32.3±2.11 ^{ab}	2.55±0.08 ^{ab}	4.48±0.18 ^{ab}
25	85.00±2.91 ^{ab}	45.00±4.37 ^{ab}	13.26±0.36 ^{ab}	36.42±2.08 ^{ab}	2.74±0.12 ^a	4.54±0.19 ^{ab}
12.5	87.00±4.67 ^a	49.00±3.71 ^a	14.24±0.65 ^a	39.43±4.27 ^a	2.75±0.14 ^a	4.63±0.08 ^a
0(CK)	79.00±2.40 ^{ab}	51.00±4.67 ^a	12.27±0.27 ^{bc}	32.78±1.26 ^{ab}	2.67±0.07 ^{ab}	4.23±0.07 ^{bc}

2.5 杯腺柳叶片枯落物水浸提液对垂穗披碱草种子萌发的影响

随着杯腺柳叶片浸提液浓度的增大,垂穗披碱草的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、根长、芽长均先升高后降低,其中,12.5 g/L 是提高发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、芽长的最佳浓度,且发芽指数和活力指数较CK 差异显著($P<0.05$),根长在25

g/L 下最高,但与CK 相比无显著差异。发芽势、发芽率、发芽指数、活力指数和根长在75 g/L 时低于CK,且除发芽势外,其余指标较CK 差异不显著,芽长在100 g/L 时低于CK,但与CK 差异不显著(表6)。

2.6 杯腺柳叶片枯落物水浸提液对草地早熟禾种子萌发的影响

杯腺柳叶片枯落物浸提液对草地早熟禾种子萌

表 6 杯腺柳叶片枯落物水浸提液对垂穗披碱草种子萌发的影响

Table 6 Effect of aqueous extract from leaf litter of *Salix cupularis* on seed germination of *Elymus nutans*

浓度/(g·L ⁻¹)	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	活力指数	根长/cm	芽长/cm
100	63.00±3.71 ^c	56.00±2.31 ^b	8.44±0.41 ^d	24.94±1.47 ^d	2.95±0.10 ^b	3.65±0.20 ^b
75	77.00±4.06 ^b	62.00±3.06 ^b	10.33±0.43 ^c	35.58±0.67 ^c	3.45±0.14 ^{ab}	4.08±0.21 ^{ab}
50	89.00±4.37 ^a	79.00±2.91 ^a	12.08±0.55 ^{ab}	45.38±3.08 ^{ab}	3.76±0.20 ^a	4.13±0.21 ^{ab}
25	91.00±2.40 ^a	80.00±4.16 ^a	12.74±0.11 ^a	48.83±3.09 ^a	3.83±0.25 ^a	4.24±0.10 ^{ab}
12.5	93.00±2.67 ^a	82.00±3.06 ^a	12.97±0.26 ^a	49.50±2.08 ^a	3.82±0.10 ^a	4.34±0.11 ^a
0(CK)	85.00±1.33 ^{ab}	76.00±3.46 ^a	11.21±0.40 ^c	39.19±0.56 ^{bc}	3.50±0.12 ^a	3.80±0.21 ^{ab}

发的影响与圆柱披碱草表现相似,均呈现先升后降的趋势,但各个指标的最佳促进浓度各有差异。25 g/L 的杯腺柳叶片枯落物浸提液是提高此种子的发芽率、发芽指数和活力指数的最佳浓度,且较 CK 差异均显著($P<0.05$),发芽势在 25 g/L 和 12.5 g/L 下较 CK

均有所提高,根长和芽长在 12.5 g/L 处理下较 CK 均有增加效应,但差异不显著($P<0.05$)。而发芽率、发芽势和发芽指数在 100 g/L 处理下开始降低,较 CK 差异不显著,活力指数、根长和芽长在此浓度下较 CK 显著降低($P<0.05$) (表 7)。

表 7 杯腺柳叶片枯落物水浸提液对草地早熟禾种子萌发的影响

Table 7 Effect of aqueous extract from leaf litter of *Salix cupularis* on seed germination of *Poa pratensis*

浓度/(g·L ⁻¹)	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	活力指数	根长/cm	芽长/cm
100	46.00±1.16 ^c	32.67±2.91 ^c	4.26±0.14 ^b	8.58±0.49 ^d	2.01±0.07 ^c	1.48±0.03 ^b
75	51.33±1.76 ^c	43.33±2.40 ^b	5.10±0.33 ^b	11.34±0.87 ^{cd}	2.22±0.05 ^c	1.64±0.13 ^{ab}
50	63.33±4.06 ^b	54.00±3.06 ^a	6.45±0.44 ^a	16.49±1.35 ^b	2.56±0.15 ^b	1.75±0.05 ^{ab}
25	78.00±3.06 ^a	53.33±3.71 ^a	7.35±0.49 ^a	19.97±1.40 ^a	2.72±0.02 ^{ab}	1.80±0.13 ^a
12.5	76.67±2.40 ^a	44.00±1.16 ^b	6.89±0.21 ^a	19.92±0.51 ^a	2.89±0.04 ^a	1.83±0.02 ^a
0(CK)	49.33±2.91 ^c	35.33±2.40 ^{bc}	4.62±0.22 ^b	12.72±0.78 ^c	2.75±0.12 ^{ab}	1.77±0.07 ^a

2.7 杯腺柳叶片枯落物水浸提液对 6 种草种子萌发的综合化感效应

用线性回归方程来拟合不同浓度高寒灌丛杯腺柳叶片枯落物水浸提液与 6 种草地植物的化感综合效应指数,由各个草地植物的回归方程斜率大小判断出不同草种对浸提液浓度的敏感程度,斜率越大,则此草种萌发和幼苗生长对浸提液浓度越敏感。扁蓿豆、高山韭、甘肃马先蒿、圆柱披碱草、垂穗披碱草、草地早熟禾等 6 种草地植物的化感综合效应均与高寒灌丛杯腺柳叶片枯落物水浸提液浓度之间存在显著相关性,在高寒灌丛杯腺柳叶片枯落物水浸提液处理下,6 种草地植物萌发和幼苗生长的敏感度顺序为:高山韭>甘肃马先蒿>草地早熟禾=垂穗披碱草>扁蓿豆

>圆柱披碱草(图 1)。

3 讨论

高寒柳灌丛是高寒灌丛草甸的主要组成部分,而杯腺柳作为高寒柳灌丛的主要优势种和建群种,了解杯腺柳叶片枯落物的化感作用则能更好地了解高寒柳灌丛在高寒灌丛草地中的作用^[15]。本文首次开展了杯腺柳叶片枯落物对草本植物种子的化感作用研究,结果表明,从杯腺柳枯落物浸提液对 6 种种子萌发的化感综合效应的影响来看,高浓度(>75 g/L)杯腺柳叶片枯落物浸提液对百合科牧草高山韭种子萌发的化感抑制作用最为强烈,其次为甘肃马先蒿、豆科牧草扁蓿豆以及禾本科牧草垂穗披碱草,对草地早熟

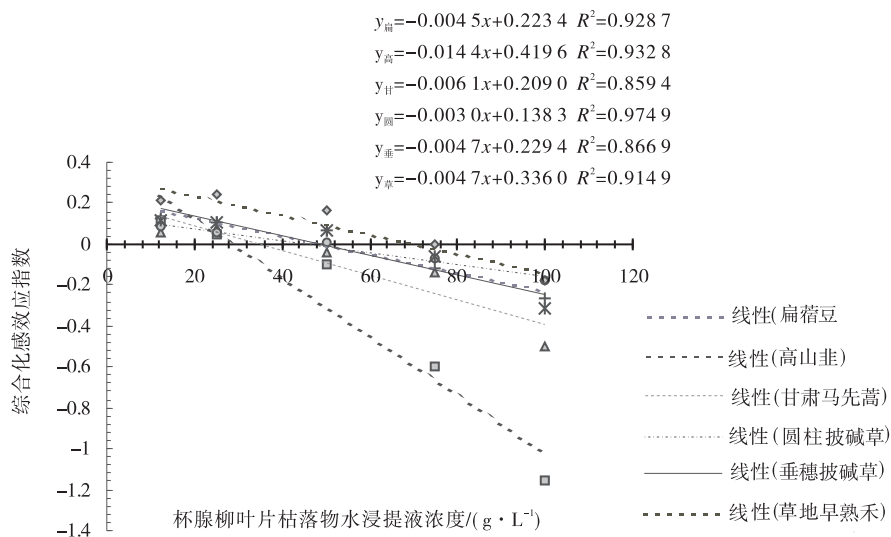


图1 高寒灌丛杯腺柳叶片枯落物水浸提液对受试植物化感综合效应

Fig. 1 Allelopathic effects of aqueous extracts from the litter of *Salix cerebrealis* in alpine meadow

禾最弱。较低浓度(12.5~50 g/L)的杯腺柳浸提液则对草地早熟禾种子的萌发促进作用最强,对甘肃马先蒿的促进作用强于扁蓿豆、圆柱披碱草、垂穗披碱草。杯腺柳叶片枯落物浸提液可以通过降低草种子的萌发率和发芽指数来降低草地植物在群落中的萌发,或推迟萌发时间,以此减少物种多度,影响种群的扩散和物种的更新。较低浓度浸提液对草地早熟禾种子萌发率和发芽指数的提高作用显著,这意味着少量杯腺柳叶片枯落物的化感物质可以提高草地早熟禾在高寒灌丛上种群的扩散,并且能在高寒地区短暂的生长季中完成生活史,加速完成草地的物种更新,这与程晓月等^[16]的研究结果相似。

有研究表明,甘肃马先蒿具有强大繁殖能力,在甘肃马先蒿爆发的退化草地,伴生群落通常有禾本科牧草垂穗披碱草、草地早熟禾群落,甘肃马先蒿会将营养输送至根系和繁殖器官来加强自身的扩张能力和对草地群落优势种群的竞争^[17]。本研究结果得出,杯腺柳叶片枯落物浸提液可通过化感作用抑制甘肃马先蒿胚根伸长,使根系变小,吸水能力降低,从而丧失竞争力^[18]。但对禾本科牧草根长无太大影响,且通过抑制种子胚根生长的植物化感作用较强,这与后源等^[19]的研究结果相似。在天然杯腺柳灌丛草地,化感物质通过抑制种子萌发和幼苗定居来阻碍其立地周围的竞争性植物的生长,从而影响植物群落甚至生态系统的演变。甘肃马先蒿和草地早熟禾作为杯腺柳

灌丛下优势草本群落,是否能利用杯腺柳叶片枯落物的化感作用来抑制甘肃马先蒿扩张,并以此促进优良禾本科牧草生长,恢复天然草地生产力,使禾本科牧草重新成为退化草甸关键植物种,修复受损或退化的生态系统,还需要考虑多种因素,如在自然环境下高寒灌丛杯腺柳叶片枯落物的覆盖这一物理因素对草地植物种子萌发和生长的影响,以及枯落物对草地微生物的影响和枯落物化感有效成分的鉴定,都应该是后期研究工作的重点。

枯落物对毒杂草以及优势牧草植物种子的萌发,及其物理屏障的构建具有调控作用^[20]。围封草地是我国退化草原的主要恢复措施,但长期围封草地会导致枯落物量增多,草地群落地上生物量和物种多样性降低,最终造成草原结构和功能退化^[22]。合理的放牧能调控地上枯落物的积累量以及养分的循环,并且提高牧草质量以及维持草地健康^[23-24]。所以在退化高寒草甸的恢复措施上,应考虑通过合理放牧来控制草地枯落物的量,避免长期围封休牧,以此来修复受损退化的高寒草甸生态系统。

4 结论

高寒灌丛杯腺柳叶片枯落物浸提液浓度对扁蓿豆、高山韭、甘肃马先蒿、圆柱披碱草、垂穗披碱草及草地早熟禾的化感作用呈现出“低促高抑”现象。浸提液浓度在50~75 g/L间存在临界浓度,使浸提液对

扁蓿豆、圆柱披碱草、垂穗披碱草种子萌发及幼苗生长从促进作用转变为抑制作用。6 种草地植物种子对浸提液的敏感程度为:高山韭>甘肃马先蒿>草地早熟禾=垂穗披碱草>扁蓿豆>圆柱披碱草。退化高寒草甸的恢复措施应考虑通过合理放牧来控制草地枯落物的量,调控地上枯落物的积累量以及养分的循环,并且提高牧草质量以及维持草地健康。

参考文献:

- [1] Rice Elroy Leon. Allelopathy[M]. 2nd Edition. Orlando: Academic Press Inc., 1984:292—293.
- [2] Chon S, Nelson C. Alleloathy in comositae plants[J]. Sustainable Agriculture, 2010, 30(2):349—358.
- [3] 曾影, 夏莹, 陈子雯, 等. 牧草化感作用应用的研究进展[J]. 中国农学通报, 2013, 29(35):1—6.
- [4] 马周文, 王迎新, 王宏, 等. 放牧生态系统枯落物及其作用[J]. 草业学报, 2017, 26(7):201—212.
- [5] Yuan J L, Liang D F, Zhang S. Litter and its interaction with standing vegetation affect seedling recruitment in Tibetan alpine grasslands [J]. Plant Ecology & Diversity, 2016, 9(1):89—95.
- [6] 温明章, 郭继勋, 李建东, 等. 东北羊草草原凋落物对植物群落的作用[J]. 草地学报, 1996, 4(4):294—301.
- [7] 刘秀艳, 郭丽珠, 刘丽, 等. 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[J]. 草原与草坪, 2019, 39(1):1—6, 15.
- [8] Stevenson Mark J, Ward Lena K, Pywell Richard F, *et al.* Re-creating Semi-natural Communities: Effect of Sowing Rate on Establishment of Calcareous Grassland[J]. Restoration Ecology, 1995, 3(4):279—289.
- [9] 王志泰. 东祁连山高寒草原柳灌丛—草地群落结构研究[J]. 草业科学, 2004, 21(11):1—6.
- [10] 肖红, 王芳, 徐长林, 等. 醉马草根际土壤对 6 种高寒草甸植物种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 草原与草坪, 2017, 37(1):38—43.
- [11] 马源, 张德罡, 周恒, 等. 高寒草甸退化对优势物种根际土壤微生物量及酶活性的影响[J]. 草原与草坪, 2019, 39(4):44—52.
- [12] 于应文, 胡自治, 徐长林. 东祁连山高寒灌丛植被类型与分布特征[J]. 甘肃农业大学学报, 1999, 34(1):12—16.
- [13] 丁杰萍, 闫志强, 陈银萍, 等. 差巴嘎蒿叶浸提液对 4 种沙地草本植物种子萌发的化感作用[J]. 干旱区研究, 2018, 35(6):1436—1443.
- [14] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls [J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14 (1): 181—187.
- [15] 王志泰, 包玉, 李毅. 东祁连山高寒草地柳灌丛群落种间关联性[J]. 生态学杂志, 2006, 25(10):23—26.
- [16] 程晓月, 后源, 任国华, 等. “黑土滩”退化高寒草地 6 种常见毒杂草水浸液对垂穗披碱草的化感作用[J]. 西北植物学报, 2011, 31(10):2057—2064.
- [17] 陈哲, 周华坤, 赵新全, 等. 高寒草甸退化对甘肃马先蒿生长状况与花期资源分配的影响[J]. 生态环境学报, 2010, 19(12):2800—2807.
- [18] Chon S U, Coutts J H, Nelson C J. Effects of light, growth media and seedling orientation on bioassays of alfalfa autotoxicity [J]. Agronomy Journal, 2000, 92 (4): 715—720.
- [19] 后源, 程晓月, 任国华, 等. 青藏高原“黑土滩”常见毒草对甘肃马先蒿的化感作用[J]. 西北植物学报, 2011(8): 153—158.
- [20] 彭少麟, 南蓬, 钟扬. 高等植物中的萜类化合物及其在生态系统中的作用[J]. 生态学杂志, 2002, 21(3):33—38.
- [21] 王谦谦. 羊草草地凋落物对野生草本植物种苗建植的影响[D]. 河北大学, 2011.
- [22] 左万庆, 王玉辉, 王凤玉, 等. 围栏封育措施对退化羊草草原植物群落特征影响研究[J]. 草业学报, 2009, 18 (3):12—19.
- [23] Koller R, Robin C, Bonkowski M, *et al.* Litter quality as driving factor for plant nutrition via grazing of protozoa on soil microorganisms [J]. Fems microbiology ecology, 2013, 85(2):241—250.
- [24] Risch A C, Schutz M, Vandegehuchte M L, *et al.* Aboveground vertebrate and invertebrate herbivore impact on net N mineralization in subalpine grasslands[J]. Ecology, 2015, 96(12):3312—3322.

Allelopathic effects of water extracts from *Salix cerebralis* on seed germination of six grassland plant species in alpine shrub grassland

ZHAO Yi-shan, YANG Hang, XU Chang-lin, JING Yuan-yuan,
LI Ying, YU Xiao-jun*

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University, Key Laboratory for Grassland Ecosystem, Ministry of Education, Grassland Engineering Laboratory of Gansu Province, Sino-U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract:【Objective】 This paper reports the study of the allelopathy of *Salix cerebralis* leaf litter on seed germination of dominant grasses in alpine shrub grassland, and provide theoretical guidance for scientific management of alpine shrub grassland. 【Method】 Seeds of six common dominant grasses in alpine shrub grassland were treated with different concentrations of leaf litter extract of *Salix cerebralis*, and the germination rates were also measured. 【Result】 It was found that there was a critical concentration in the range of 50 to 75 g/L, which demonstrated the change from promoting to inhibiting the seed germination and seedling growth of *Medicago ruthenica*, *Elymus cylindricus* and *Elymus nutans*. The results suggested a phenomenon of "low promoting and high suppressing". At each concentration (12.5~100 g/L), the leaf litter extracts inhibited the root growth of *Pedicularis kansuensis*. The allelopathic effect of the leaf litter extract on the root of seedlings was stronger than that on the bud. The comprehensive allelic effect showed that the influence of the litter extract of *Salix cerebralis* leaves on the seed germination of six grassland plants was as follows: *Allium Sikkimense* > *Pedicularis kansuensis* > *Poa pratensis* = *Elymus nutans* > *Medicago ruthenica* > *Elymus cylindricus*. 【Conclusion】 The restoration measures of degraded alpine meadow should be taken into consideration of the control of the litter amount. This could be achieved by the regulation of the accumulation of litter and nutrient cycle through rational grazing, and improvement of the quality of herbage and maintaining the health of grassland.

Key words: East Qilian Mountains; *Salix cerebralis*; litter; seed germination; allelopathic potential