

DOI: 10.5846/stxb201809051896

包赛很那, 苗彦军, 邓时梅, 徐雅梅. 苗期紫花苜蓿株体对不同地区垂穗披碱草种子萌发生长的化感作用. 生态学报, 2019, 39(1): - .
BAO Saihenna, Miao Y J, Deng S M, Xu Y M. Allelopathic Effects of Alfalfa (*Medicago sativa*) in the Seedling Stage on Seed Germination and Growth of *Elymus nutans* in Different Areas. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(1): - .

苗期紫花苜蓿株体对不同地区垂穗披碱草种子萌发生长的化感作用

包赛很那, 苗彦军*, 邓时梅, 徐雅梅

西藏农牧学院, 林芝 860000

摘要:以发芽率、苗长、根长、苗干重、根干重变化为种子萌发和幼苗生长参数, 研究苗期紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 植株浸提液对不同地区垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 种子萌发生长的化感作用。结果表明: 地上部浸提液对 LS、DX 垂穗披碱草种子发芽率具有明显的促进作用, 而对 GS、KMX、LKZ、LZ 地区垂穗披碱草种子发芽率均表现为抑制作用, 其中对 GS 垂穗披碱草种子发芽率的抑制作用最强, 在 14.5% 和 5.5% 浓度处理时抑制率分别为 57.89%、55.26%; 苗长方面, 浸提液 5.5% 浓度对垂穗披碱草苗长的抑制率顺序为: LZ > NQ > DX > LS > KMX > QH > GS > LKZ, 14.5% 处理时抑制率顺序为: LZ > KMX > LKZ > NQ > GS > QH > DX > LS, 其中抑制率最高的为 LZ 垂穗披碱草, 在 14.5% 和 5.5% 浓度处理时抑制率分别为 33.03%、28.97%; 根长方面, 5.5% 处理对垂穗披碱草根长的抑制率顺序为: QH > NQ > LZ > KMX、GS > LKZ > DX、LS, 14.5% 处理时抑制率顺序为: GS > QH、NQ > LZ > LS > KMX > DX > LKZ, 其中在高浓度下抑制率最高的为 GS 垂穗披碱草, 抑制率为 57.69%; 地上部浸提液对 LKZ、LZ 垂穗披碱草苗干重均具有促进作用, 高浓度浸提液对 NQ 垂穗披碱草苗干重产生促进作用 (RI > 0), 而对 KMX、DX 垂穗披碱草苗干重均表现为抑制作用; 根干重方面, 浸提液对 LS、QH、GS、NQ、LKZ 垂穗披碱草根干重均有明显的抑制作用, 而对 KMX、DX 垂穗披碱草根干重产生促进作用, 高浓度浸提液对 LZ 垂穗披碱草的根干重产生促进作用。从根浸提液的作用来看, 根浸提液除对 LS、DX 垂穗披碱草种子发芽率和根干重、GS 垂穗披碱草种子发芽率和苗干重及 NQ 垂穗披碱草根干重具有促进作用外 (P > 0.05), 对其余地区垂穗披碱草的各项指标均有明显的抑制作用 (RI < 0)。所有以上结果表明, 紫花苜蓿植株浸提液对垂穗披碱草种子萌发生长的作用具有一定的浓度效应。不同地区垂穗披碱草对紫花苜蓿地上部浸提液的敏感性趋势总体为: GS > QH > LS > KMX > NQ > LKZ > LZ, 最不敏感或有促进作用的是 DX 垂穗披碱草; 对根浸提液的敏感性趋势总体为: QH > NQ > LZ > KMX, 根浸提液对 LS、GS、LKZ、DX 垂穗披碱草种子萌发生长具有促进作用。紫花苜蓿植株不同部位浸提液对垂穗披碱草种子萌发生长的化感效应顺序为: 地上部 > 根。

关键词: 苗期紫花苜蓿; 化感作用; 垂穗披碱草; 萌发生长; 抑制率; 化感指数

Allelopathic Effects of Alfalfa (*Medicago sativa*) in the Seedling Stage on Seed Germination and Growth of *Elymus nutans* in Different Areas

BAO Saihenna¹, MIAO Yanjun*, DENG Shimei, XU Yamei

Tibet College of Agriculture and Animal Husbandry, Linzhi 860000, China

Abstract: The allelopathic effects of water extracts from alfalfa (*Medicago sativa*) in the seedling stage on seed germination and growth of *Elymus nutans* in different areas were examined in the laboratory based on seed germination rate, seedling length, root length, and dry weight of seedlings and roots. The results showed that the seed germination rate of *Elymus nutans* in LS (Lhasa) and DX (Damxung County) was significantly promoted by water extracts from the aboveground alfalfa,

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2018YFD0502401-1); 西藏俊富环境恢复有限公司资助 (JOFO-RD-2016001, JOFO-RD-2016002); 国家自然科学基金 (31560142)

收稿日期: 2018-09-05; **网络出版日期:** 2018-11-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: myj666@126.com

but that of those in GS (Gansu), KMX (Kangma County), LKZ (Nagarzê County), and LZ (Nyingchi County) was inhibited, and *Elymus nutans* in GS was the most inhibited, with suppression rates of 57.89% and 55.26% at concentrations of 14.5% and 5.5%, respectively. At the concentration of 5.5%, the seedling length of *Elymus nutans* in LZ was the most inhibited with the suppression rate of 33.03%, followed successively by those in NQ (Nagqu region), DX, LS, KMX, QH (Qinghai), GS, and LKZ. At the concentration of 14.5%, the seedling length of *Elymus nutans* in LZ was nearly the most inhibited with the suppression rate of 28.97%, followed successively by those in KMX, LKZ, NQ, GS, QH, DX, and LS. At the concentration of 5.5%, the root length of *Elymus nutans* in QH had the strongest inhibition, followed by those in the order of NQ > LZ > KMX, GS > LKZ > DX, LS. At the concentration of 14.5%, the root length of *Elymus nutans* in GS had the strongest inhibition with the suppression rate of 57.69%, followed successively by those in the order of QH, NQ > LZ > LS > KMX > DX > LKZ. The dry weight of seedlings of *Elymus nutans* in LKX and LZ increased by the aboveground water extracts, whereas that of those in KMX and DX decreased and the dry weight of seedlings of *Elymus nutans* in NQ was only increased at high concentrations (RI > 0). The dry weight of roots of *Elymus nutans* in LS, QH, GS, NQ, and LKZ was decreased by the aboveground water extracts, whereas that of those in KMX and DX was increased and the dry weight of roots of *Elymus nutans* in LZ was only increased at high concentrations. Seed germination rate, seedling length, root length, and dry weight of seedlings and roots of *Elymus nutans* in most areas were significantly inhibited (RI < 0) by water extracts from the root of alfalfa, except for seed germination and dry weight of roots of *Elymus nutans* in LS and DX. Seed germination and dry weight of seedlings of that in GS and the dry weight of roots of that in NQ were significantly promoted ($P > 0.05$). All the above results showed that the sensitivity of *Elymus nutans* in different areas to the allelopathic effects of the aboveground alfalfa in the seedling stage is in the order of GS > QH > LS > KMX > NQ > LKZ > LZ > DX from the highest to the lowest allelopathic sensitivity. The allelopathic sensitivity to the root of the alfalfa is in the order of QH > NQ > LZ > KMX > LS, from the highest to the lowest. The allelopathic sensitivity of *Elymus nutans* in different areas to water extracts from the aboveground alfalfa is higher than that from the root of alfalfa.

Key Words: seedling stage of *Medicago sativa*; allelopathy; *Elymus nutans*; seed germination and growth; suppression rate; allelopathic index

垂穗披碱草 (*Elymus nutans*) 是高寒草甸植被群落中具有代表性的禾本科牧草之一^[1]。在西藏海拔 2500—4000 m 的一些草地类型中为建群种。垂穗披碱草具有品质好、产草量高、耐盐碱、寿命长等特性^[2], 是高寒地区建立人工草地和治理生态环境的主要草种之一^[3]。垂穗披碱草在海拔 3000—4000 m 的地区若能顺利通过成苗期则可安全越冬, 适合在西藏高原推广。但目前, 垂穗披碱草幼苗抗旱能力差, 苗期生长持续时间较长, 在一定程度上影响了其大面积的推广。诸多学者对垂穗披碱草成苗、苗期耐盐、抗旱能力进行研究。方法主要集中在温度、水分、施肥等常规方法^[4-8]。由于垂穗披碱草为野生牧草, 其种子萌发条件与典型的栽培草种存在较大差异, 采用常规种子质量检验方法很难得出准确可靠的结果, 总体上仍无法动摇垂穗披碱草种子的适宜发芽温度明显低于一般栽培草种的基本结论。因此, 进一步探讨垂穗披碱草种子萌发生长的影响因素, 不仅是科学测定和评价种子真实品质的需要, 也是合理建立健康又可持续的人工草地的基本依据。

紫花苜蓿具有很强的抗逆性, 在我国北方地区人工草地的建群中起着重要的作用。大量研究表明, 苜蓿体内含有水溶性抑制物, 这对周边植物的生长产生促进或抑制作用(即化感作用)^[9-10]。

我国对豆科牧草化感作用的研究较深入。邬彩霞等^[11]研究豆科牧草对多花黑麦草 (*Lolium multiflorum*) 化感作用的种间差异发现, 当浸提液浓度升高至一定程度, 紫花苜蓿和黄花草木樨 (*Melilotus officinalis*) 对多花黑麦草的化感抑制作用逐渐增强。刘迎等^[12]研究白三叶草对苘麻和稗草的化感作用。结果表明, 白三叶 (*Trifolium repens*) 植株水浸液及挥发物对苘麻 (*butilon theophrasti*) 和稗草 (*Echinochloa crusgalli*) 等杂草种子生理生化机理具有明显的影响。

王玉芬等^[13]对苜蓿与不同禾本科牧草进行间混作增产效应的试验发现,苜蓿和无芒雀麦混作产量比苜蓿单作和无芒雀麦单作分别增产 7.85%、57.32%;而间作产量与苜蓿单作和无芒雀麦单作相比分别增产 5.77%、54.27%。李治强等^[14]通过紫花苜蓿与垂穗披碱草混播防治褐斑病试验发现,混播与紫花苜蓿单播相比,使苜蓿褐斑病的发病率明显降低 7.07 个百分点,使严重度显著降低 16.76 个百分点。这种混播组合是有效防治苜蓿褐斑病的重要途径。可见,豆科与禾本科牧草混播可以有效控制杂草及虫害的同时能达到增产效果^[15]。

鉴于此,本研究通过苗期紫花苜蓿植株浸提液对拉萨、青海、甘肃、那曲、康马县、浪卡子、当雄、林芝等 8 个不同地区垂穗披碱草种子萌发生长的影响。从化感现象着手了解牧草种和品种间的促进和抑制作用,以期对影响垂穗披碱草种子萌发生长的因素进一步补充和完善;另一方面从苜蓿的化感作用着手探索合理的种植模式,来弥补高寒地区苜蓿种植产业方面的不足,为西藏人工草地建设和西藏畜牧业的发展作出应有的贡献。

1 试验材料与与方法

1.1 供体材料的采集与处理

采样区概况:西藏农牧学院牧草试验基地位于西藏尼洋河畔的河谷地带,94°21'E,29°33'N,海拔 2950 m,年均温 8.6℃,最冷月 0.2℃,最热月 15.6℃,极端最低温-15.3℃,极端最高温 30.2℃,年降水量 634.2 mm,平均相对湿度 71%。全年日照时数 1988.6 h,日照百分率 46%,总的气候特征为季风气候^[16]。

2017 年 3 月 31 日从牧草试验基地采集新鲜的苗期紫花苜蓿植株,将地上部和根分开,称取地上部和根部分别 20 g,剪成 2 cm 的小段,用 100 mL 蒸馏水浸泡 48 h。浸提液双重过滤(第一重用定性滤纸过滤,第二重用定量滤纸过滤),获得浓度为 20%(w/v)的不含微生物的母液,溶液保存于 4℃的冰箱中,备用。

1.2 受体处理

供试不同地区垂穗披碱草种子来源如表 1 所示。种子具体处理方法:将受体 LS、QH、GS、NQ、KMX、LKZ、DX、LZ 等 8 个地区的垂穗披碱草种子预先用 70%的酒精溶液消毒 15 min,用自来水冲洗 3 次,再用蒸馏水冲洗 5 次,晾干,备用。

表 1 供试不同地区垂穗披碱草种子来源

Table 1 Source of *Elymus nutans*

采集地点 Collecting locations	代码 Code	采集时间/年 Collection time/Years	海拔/m Altitude/m
拉萨 Lhasa	LS	2011	3700
那曲地区 Nagqu Region	NQ	2008	4510
青海 Qinghai	QH	2011	3000
甘肃(同德无芒披碱草) Gansu- <i>Elymus submuticus</i> (Keng) Keng f..	GS	2011	2100
康马县 Kangma County	KMX	2011	3900
浪卡子县 Nagarzê County	LKZ	2011	4300
当雄县 Damxung County	DX	2011	4400
林芝县 Nyingchi County	LZ	2011	3100

LS:拉萨, Lhasa; NQ:那曲地区, Nagqu Region; QH:青海, Qinghai; GS:甘肃, Gansu; KMX:康马县, Kangma County; LKZ:浪卡子县, Nagarzê County; DX:当雄县, Damxung County; LZ:林芝县, Nyingchi County

1.3 化感作用的生物检测

采用种子培养皿滤纸发芽法(曾任森)^[17]进行培养。在直径为 6 cm 的培养皿中垫两层滤纸,每个苗期紫花苜蓿地上部及根浸提液分别设低(5.5%)、中(10%)、高(14.5%)和对照(0%)4 个浓度(v/w)处理,其中浓度设置参考国内外研究化感常用质量分数^[18-19]为主要依据,每个培养皿中分别加入处理液 5 mL,对照加等量的蒸馏水。然后在每个培养皿中播入大小均匀的供试种子,每皿 50 粒。试验采取完全随机区组设计,3 次重复。培养皿置于人工气候箱中恒温培养,温度(25±0.5)℃,每天光照 12 h。每天补充适量水浸提液 1 次,每次

使用前将浸提液用玻璃棒顺时针充分搅匀使浓度保持均匀一致,每隔 2 d 将培养皿用万分之一天平称重一次,并及时用蒸馏水补充因挥发而失去的水分,期间保持培养皿湿润。

每天定时观察并记录发芽种子数(以胚根突破种皮并达种子长度的 1/2 为发芽标准),培养 7 d 后统计各处理的发芽率、苗长、根长、苗干重和根干重,求平均值。

1.4 观测项目

发芽率:在发芽最适条件下,发芽终期全部正常种苗数占供试种子的百分率。计算受体植物发芽率 3 次重复的平均值。

苗长、根长:播种 7 d 后从每个培养皿中随机抽取受体植物 10 株,测量其根长和苗长,取平均值。

苗干重、根干重:播种 7 d 后从每个培养皿中随机选取受体植物幼苗 10 株,分别将幼苗和根分开,在 105℃ 杀青 0.5 h,然后调至 65℃ 烘干至恒重,称重并计算苗干重(g/株)和根干重(g/株)。

1.5 数据分析

1.5.1 发芽率(Germination Rate,缩写 GR)

$$GR = \text{发芽终期(规定日期内)全部萌发种子数} / \text{供试种子数} \times 100\% \quad (1)$$

1.5.2 化感效应指数(Response Index,缩写 RI)

参照(G.Brue Williamson)^[20]等提出的方法,计算化感效应指数 RI。

$$RI = (T - T_0) / T_0 \quad (2)$$

式中, T :测试项目的处理值, T_0 :对照值;当 $RI > 0$ 时,表示存在促进作用;当 $RI < 0$ 时,表示存在抑制作用, RI 的绝对值代表作用强度的大小。

1.5.3 化感综合效应指数(M_R)

M_R 为紫花苜蓿浸提液的不同处理对同一受体植物 5 个测试项目的对照抑制百分率的算术平均值^[21-23]。

$$M_R = \frac{\sum_{j=1}^m a_j}{n} \quad (3)$$

式中, M_R 表示平均敏感指数; a 为数据项 RI ; n 为该级别数据(RI)的总个数。当 $M_R > 0$ 时为促进作用,反之则为抑制作用。

试验数据运用 SPSS 13.0 软件,并采用单因素方差分析(One-way ANOVA)检验,Duncan's 新复极差法进行多重比较,分析不同处理间的差异。

2 结果与分析

2.1 苗期紫花苜蓿地上部浸提液对不同地区垂穗披碱草种子萌发生长的影响

表 2 中的结果表明,地上部浸提液对不同地区垂穗披碱草种子萌发生长具有明显的影响。在发芽率方面,浸提液对 LS、DX 垂穗披碱草种子的发芽率具有促进作用,尤其浸提液浓度 5.5% 和 10% 时,对 LS 垂穗披碱草种子发芽率的促进率分别为 9.008%、4.5054%。相反,不论浸提液浓度高还是低,均对 GS、KMX、LKZ、LZ 地区垂穗披碱草种子的发芽率具有明显的抑制作用。总的来说,5.5% 浸提液浓度对不同地区垂穗披碱草种子发芽率的抑制率顺序为:GS > KMX > LZ > NQ > LKZ; 而 14.5% 浓度对其抑制率顺序为:GS > QH > KMX > LKZ > LZ。其中抑制率最高的为 GS 垂穗披碱草,在 14.5% 和 5.5% 浓度时抑制率分别为 57.8947%、55.2632%。14.5% 浸提液浓度对 NQ 垂穗披碱草种子的发芽率产生促进作用,但 5.5%、10% 浓度时均为抑制效应(高促低抑)。5.5% 浓度对 QH 垂穗披碱草种子的发芽率具有促进作用($P > 0.05$),而 10%、14.5% 浓度时均表现为抑制作用(低促高抑)。

在苗长方面,紫花苜蓿地上部浸提液对各地区垂穗披碱草苗长均具有抑制作用,与对照相比,均显著($P < 0.05$)。5.5% 浓度对不同地区垂穗披碱草苗长的抑制率顺序为:LZ > NQ > DX > LS > KMX > QH > GS >

LKZ, 而 14.5% 浓度时抑制率顺序为: LZ > KMX > LKZ > NQ > GS > QH > DX > LS, 其中抑制率最高的为 LZ 垂穗披碱草, 在 14.5% 和 5.5% 浸提液浓度处理时抑制率分别为 33.03%、28.97%。此外, 浸提液对 LS、NQ、GS、LZ 垂穗披碱草苗长的作用具有一定的浓度效应, LS、NQ 和 LZ 垂穗披碱草苗长的化感效应指数随浸提液浓度的升高而降低, 而对 GS 垂穗披碱草苗长的化感作用随浓度的升高呈增强趋势。

表 2 苗期紫花苜蓿地上部浸提液对不同地区垂穗披碱草种子萌发生长的影响(平均值±标准差)

Table 2 Effects of water extract of aboveground *M.sativais* in the seedling stage on seed germination and growth of *Elymus nutans* in different areas (mean±SD)

地区 Areas		不同地区垂穗披碱草的测定指标 Determining quota of <i>Elymus nutans</i> in different areas							
浓度 Concentration/%	发芽率/% Germination rate	化感效应指数 Response index	苗长/cm Seedling length	化感效应指数 Response index	根长/cm Root length	化感效应指数 Response index	苗干重的化感效应指数 Response index	根干重的化感效应指数 Response index	
LS	5.5	80.67±7.57a	0.10±0.14a	6.85± 1.02b	-0.22±0.09a	5.21±0.63b	-0.30±0.10a	0.19±0.26a	-0.44±0.12a
	10	77.33±4.62a	0.05±0.12a	7.17±0.37b	-0.18±0.09a	5.04±0.15b	-0.33±0.02a	0.09±0.17a	-0.44±0.12a
	14.5	78.00±4.00a	0.06±0.05a	7.91±0.21ab	-0.10±0.05a	4.61±0.62b	-0.38±0.11a	-0.09±0.63b	-0.78±0.12a
	ck	74.00±5.29a		8.77±0.65a		7.49±0.26a			
QH	5.5	76.00±5.30a	0.004±0.08a	7.30±0.27b	-0.19±0.02a	4.49±0.19b	-0.50±0.05a	0.15±0.03ab	-0.39±0.07a
	10	74.00±9.16a	-0.03±0.12a	7.72±0.41b	-0.14±0.06a	4.49±0.10b	-0.50±0.05a	0.22±0.12a	-0.37±0.05a
	14.5	68.66±9.02a	-0.10±0.11a	7.37±0.40b	-0.18±0.03a	4.71±0.08b	-0.47±0.03a	-0.64 ±0.20b	-0.54±0.05a
	ck	76.00±2.00a		8.98±0.15a		8.93±0.69a			
GS	5.5	34.00±2.00b	-0.55±0.03a	7.41±0.06b	-0.15±0.06a	5.43±0.50b	-0.35±0.06a	0.25±0.52a	0.00±0.00a
	10	26.00±2.00c	-0.66±0.04a	7.28±0.64b	-0.17±0.02a	4.94±0.92b	-0.40±0.15ab	0.25±0.52a	-0.64±0.04b
	14.5	32.00±5.29bc	-0.58±0.08a	7.08±0.26b	-0.19±0.04a	3.55±0.41c	-0.58±0.06b	-0.25±0.27b	-0.45±0.02ab
	ck	76.00±4.00a		8.79±0.59a		8.43±0.92a			
NQ	5.5	70.66±7.02a	-0.05±0.23a	7.34±0.19c	-0.28±0.01b	5.03±0.12b	-0.49±0.03a	-0.13 ±0.02a	-0.19±0.01a
	10	66.66±3.06a	-0.11±0.08a	7.55±0.38c	-0.26±0.05ab	5.20±0.75b	-0.47±0.05a	0.08± 0.09a	-0.11± 0.01a
	14.5	77.34±7.58a	0.03±0.07a	8.10±0.12b	-0.21±0.03a	5.23±0.12b	-0.47±0.03a	0.13± 0.03a	-0.04±0.02a
	ck	75.32±5.04a		10.20±0.21a		9.87±0.43a			
KMX	5.5	70.67±6.51a	-0.15±0.18a	8.23±0.76b	-0.20±0.07a	6.22±0.42b	-0.35±0.09a	-0.20±0.09a	0.00±0.00a
	10	82.00±5.29a	-0.02±0.02a	7.38±0.33c	-0.28±0.04a	5.65±0.57b	-0.41±0.10a	-0.27±0.07a	0.00±0.00a
	14.5	76.00±2.00a	-0.09±0.08a	7.41±0.13c	-0.28±0.02a	6.18±0.52b	-0.36±0.05a	-0.33 ±0.05a	0.25±0.04a
	ck	84.00±6.00a		10.31±0.10a		9.62±0.70a			
LKZ	5.5	74.00±8.00a	-0.04±0.08a	7.78±0.59a	-0.09±0.08a	5.76±0.71a	-0.34±0.05a	2.00±0.65a	-0.14±0.01a
	10	75.33±6.43a	-0.02±0.06a	8.28±0.61a	-0.02±0.19a	6.24±0.31a	-0.29±0.06a	2.25±0.37a	-0.09±0.02a
	14.5	72.67±5.03a	-0.05±0.05a	6.28±0.41b	-0.27±0.06a	7.95±4.05a	-0.10±0.44a	1.50± 0.08a	-0.02±0.01a
	ck	76.67±3.06a		8.59±0.91a		8.76±0.42a			
DX	5.5	78.00±2.00a	0.06±0.13a	7.00±0.68b	-0.24±0.06a	5.05±0.09d	-0.33±0.01b	-0.23±0.10a	3.33±0.03a
	10	75.33±1.16a	0.03±0.13a	6.95±0.32b	-0.24±0.02a	5.54±0.14c	-0.27±0.04b	-0.08±0.09a	0.33±0.01a
	14.5	77.33±1.16a	0.06±0.13a	7.66±0.14b	-0.16±0.00a	6.49±0.06b	-0.14±0.04a	-0.69±0.23a	2.33±0.01a
	ck	74.00±8.72a		9.17±0.22a		7.60±0.27a			
LZ	5.5	75.33±4.16a	-0.08±0.20a	6.87±0.84b	-0.33±0.10a	5.28±0.46b	-0.42±0.04a	0.09±0.05a	-0.67±0.24b
	10	82.67±6.11a	-0.01±0.09a	7.22±0.14b	-0.30±0.03a	4.92±0.23b	-0.46±0.01a	0.00±0.00a	-0.58±0.07ab
	14.5	78.67±8.02a	-0.04±0.26a	7.29±1.15b	-0.29±0.11a	5.53±1.23b	-0.39±0.15a	1.64±0.65a	0.92±0.03a
	ck	84.00±8.02a		10.26±0.27a		9.14±0.22a			

同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$); 表中, LS: 拉萨, Lhasa; QH: 青海, Qinghai; GS: 甘肃, Gansu; NQ: 那曲地区, Nagqu Region; KMX: 康马县, Kangma County; LKZ: 浪卡子县, Nagarzê County; DX: 当雄县, Damxung County; LZ: 林芝县, Nyingchi County; ck: 对照, Contrast

在根长方面, 紫花苜蓿地上部浸提液对各地区垂穗披碱草根长均具有抑制作用。5.5% 浓度处理对垂穗披碱草根长的抑制率顺序为: QH > NQ > LZ > KMX、GS > LKZ > DX、LS; 14.5% 浓度时抑制率顺序为: GS >

QH、NQ > LZ > LS > KMX > DX > LKZ。其中,在高浓度下抑制率最高的为 GS 垂穗披碱草,14.5%和 5.5%浓度处理时抑制率分别为 57.69%、35.37%。浸提液对 LS、GS、QH、NQ、DX、LKZ 垂穗披碱草根长的作用具有浓度效应,随着浸提液浓度的升高,LS、GS 垂穗披碱草根长的化感作用逐渐增强,而 QH、NQ、DX、LKZ 地区反之。浸提液对 KMX、LZ 垂穗披碱草根长的抑制作用无明显的浓度效应。

在苗干重方面,浸提液对 LKZ、LZ 垂穗披碱草苗干重具有促进作用,高浓度浸提液对 NQ 垂穗披碱草苗干重产生促进作用($RI > 0$),而对 KMX、DX 地区垂穗披碱草的苗干重均具有明显的抑制作用。5.5%、10%浸提液浓度对 LS、QH、GS 地区垂穗披碱草苗干重具有促进作用,而 14.5%浓度对其产生明显的抑制(低促高抑)。

在根干重方面,浸提液对 LS、QH、GS、NQ、LKZ 垂穗披碱草的根干重具有明显的抑制作用。随着浸提液浓度的升高对 LS 垂穗披碱草根干重的抑制作用增强,反之,对 QH、GS、NQ、LKZ 垂穗披碱草根干重的抑制作用随浓度的升高呈降低趋势。5.5%浸提液浓度对 GS 垂穗披碱草根干重无明显影响,但较高浓度处理时均产生抑制作用。浸提液对 KMX、DX 垂穗披碱草根干重具有促进作用。14.5%浓度处理对 LZ 垂穗披碱草的根干重产生促进作用,而低浓度下均表现为抑制作用。

2.2 苗期紫花苜蓿根浸提液对不同地区垂穗披碱草种子萌发生长的影响

从化感效应指数来看(表 3),紫花苜蓿根浸提液对不同地区垂穗披碱草种子萌发生长多有抑制作用($RI < 0$)。除对 LS、DX 垂穗披碱草种子发芽率和根干重、GS 垂穗披碱草种子发芽率和苗干重及 NQ 垂穗披碱草根干重具有促进作用外($P > 0.05$),根浸提液对其余地区垂穗披碱草的各项指标均有明显的抑制作用($RI < 0$),尤其对苗长、根长的抑制作用更明显,多个处理与对照相比差异显著($P < 0.05$)。浸提液对 QH 垂穗披碱草苗干重、KMX 垂穗披碱草种子发芽率和根干重及 LKZ 垂穗披碱草根干重均表现为低促高抑现象,而对 NQ 垂穗披碱草种子发芽率及 LS、KMX、LKZ 垂穗披碱草苗干重、LZ 垂穗披碱草苗干重和根干重呈低抑高促现象。紫花苜蓿根浸提液对 LS 垂穗披碱草的根长、QH 垂穗披碱草苗干重和根干重的化感作用具有明显的浓度效应。随着浸提液浓度的升高,对 LS 垂穗披碱草根长的抑制作用明显增强。反之,对 QH 垂穗披碱草苗干重和根干重的抑制作用逐渐降低。

表 3 苗期紫花苜蓿根浸提液对不同地区垂穗披碱草种子萌发生长的影响(平均值±标准差)

Table 3 Effects of water extract of *M. sativais* root in the seedling stage on seed germination and growth of *Elymus nutans* in different areas (mean±SD)

地区 Areas		不同地区垂穗披碱草的测定指标 Determining quota of <i>Elymus nutans</i> in different areas							
浓度 Concentration/%	发芽率/% Germination rate	化感效应指数 Response index	苗长/cm Seedling length	化感效应指数 Response index	根长/cm Root length	化感效应指数 Response index	苗干重的化感效应指数 Response index	根干重的化感效应指数 Response index	
LS	5.5	76.67±4.16a	0.04±0.13a	7.13±0.33b	-0.19±0.06a	5.12±0.13b	-0.32±0.02a	-0.71±0.23a	0.23±0.23a
	10	80.67±13.32a	0.10±0.25a	7.15±0.89b	-0.18±0.13a	4.83±0.38b	-0.35±0.07a	0.06±0.15a	2.06±0.06a
	14.5	81.33±9.45a	0.10±0.11a	7.62±0.15b	-0.13±0.08a	4.78±0.18b	-0.36±0.04a	0.71±0.18a	0.22±0.05a
	ck	74.00±5.29a		8.77±0.65a		7.49±0.26a			
QH	5.5	75.33±9.87ab	-0.01±0.11ab	7.76±0.32bc	-0.14±0.05a	5.60±0.12b	-0.37±0.06a	0.27±0.45a	-0.57±0.03a
	10	82.67±7.57a	0.09±0.08a	8.12±0.12b	-0.10±0.03a	4.99±0.30b	-0.44±0.01a	0.27±0.45a	-0.43±0.10a
	14.5	62.67±9.45b	-0.17±0.14b	7.44±0.49c	-0.17±0.04a	5.86±0.55b	-0.34±0.07a	-0.18±0.08b	-0.43±0.10a
	ck	76.00±2.00ab		8.98±0.15a		8.93±0.15a			
GS	5.5	86.00±5.30a	0.13±0.08a	9.40±0.69a	0.07±0.02a	6.55±0.16a	-0.22±0.07a	0.55±0.13a	-0.40±0.01ab
	10	77.34±9.02a	0.02±0.07a	8.40±0.94a	-0.04±0.13a	6.14±1.44a	-0.25±0.24a	3.46±0.14a	3.34±0.11a
	14.5	82.66±2.30a	0.09±0.08a	9.08±0.67a	0.04±0.12a	6.31±1.69a	-0.24±0.23a	0.48±0.12a	-0.43±0.05b
	ck	76.00±4.00a		8.79±0.59a		8.43±0.92a			
NQ	5.5	71.33±7.02a	-0.06±0.16a	7.28±1.10b	-0.29±0.09a	5.01±0.29b	-0.49±0.01a	-0.08±0.34ab	0.00±0.00a
	10	68.00±5.20a	-0.09±0.19a	7.11±1.07b	-0.30±0.12a	4.68±0.85b	-0.53±0.07a	0.00±0.00a	1.50±0.09a
	14.5	80.67±8.33a	0.08±0.19a	7.27±1.18b	-0.29±0.12a	5.28±1.15b	-0.47±0.10a	-0.23±0.71b	0.00±0.00a

续表

		不同地区垂穗披碱草的测定指标 Determining quota of <i>Elymus nutans</i> in different areas							
地区 Areas 浓度 Concentration/%		发芽率/% Germination rate	化感效应指数 Response index	苗长/cm Seedling length	化感效应指数 Response index	根长/cm Root length	化感效应指数 Response index	苗干重的化 感效应指数 Response index	根干重的化 感效应指数 Response index
KMX	ck	75.33±5.03a		10.20±0.21a		9.87±0.43a			
	5.5	86.00±5.30a	0.03±0.10a	9.29±0.72ab	-0.10±0.06a	6.63±0.56bc	-0.31±0.11a	-0.60±0.06a	2.17±0.18a
	10	77.34±9.02a	-0.07±0.17a	8.84±0.73b	-0.14±0.07a	5.99±0.82c	-0.38±0.06a	-0.11±0.08a	-0.10±0.03a
	14.5	82.66±2.30a	-0.01±0.05a	9.58±0.64ab	-0.07±0.07a	7.37±0.58b	-0.23±0.10a	0.04±0.01a	-0.25±0.04a
LKZ	ck	84.00±6.00a		10.31±0.10a		9.62±0.70a			
	5.5	66.00±8.27a	-0.14±0.29a	7.31±0.47b	-0.14±0.15a	5.23±0.95b	-0.40±0.09a	-0.61±0.13a	1.66±0.10a
	10	77.34±7.02a	0.01±0.05a	6.90±0.63b	-0.19±0.16a	5.68±0.83b	-0.35±0.12a	-0.65±0.06a	1.50±0.08a
	14.5	71.34±5.51a	-0.07±0.18a	7.30±0.02b	-0.14±0.09a	4.93±0.68b	-0.44±0.08a	0.16±0.21a	-0.14±0.02a
DX	ck	77.32±3.06a		8.59±0.91a		8.76±0.42a			
	5.5	76.66±3.06a	0.04±0.08a	6.57±0.92b	-0.29±0.08a	5.98±0.53b	-0.21±0.09a	-0.64±0.11a	0.09±0.01a
	10	85.34±9.86a	0.17±0.25a	7.43±0.55b	-0.19±0.08a	4.72±0.55c	-0.38±0.07b	-0.27±0.03a	8.41±0.22a
	14.5	81.34±8.13a	0.11±0.19a	7.41±0.13b	-0.19±0.03a	5.28±0.21bc	-0.30±0.03ab	-0.04±0.02a	0.13±0.13a
LZ	ck	74.00±8.72a		9.17±0.22a		7.60±0.27a			
	5.5	84.66±5.04a	0.02±0.12a	8.64±0.47b	-0.16±0.06a	6.58±0.19b	-0.28±0.03a	-0.10±0.04a	-0.54±0.08a
	10	77.34±9.02a	-0.06±0.25a	8.93±0.21b	-0.13±0.04a	6.86±0.21b	-0.25±0.02a	-0.13±0.04a	1.43±0.03a
	14.5	88.66±7.58a	0.06±0.07a	8.83±0.85b	-0.14±0.07a	6.64±0.65b	-0.27±0.07a	0.06±0.12a	0.04±0.01a
	ck	84.00±9.08a		10.26±0.27a		9.14±0.22a			

同列不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

2.3 苗期紫花苜蓿植株浸提液对不同地区垂穗披碱草种子萌发生长的综合效应 (M_R) 分析

由表 4 可见,从地上部浸提液的作用来看,LS、QH、GS、NQ、KMX 等地区的所有化感效应综合指数受到浸提液的明显抑制而均为负值,随着浸提液浓度的升高对 LS、GS 垂穗披碱草萌发生长的化感作用强度明显提高,对 NQ 垂穗披碱草的化感作用反而降低,对 QH、KMX 垂穗披碱草的化感作用无明显的浓度效应。地上部浸提液对 LKZ 垂穗披碱草种子萌发生长的化感效应综合指数均为正值,表现为促进作用,而对 DX、LZ 垂穗披碱草,其化感综合效应指数趋势不规律。5.5%、10% 浸提液浓度对 LZ 垂穗披碱草种子萌发生长具有抑制作用,而 14.5% 浓度处理时表现为促进作用。从根浸提液的化感作用而言,QH 垂穗披碱草的化感综合效应指数在根浸提液的作用下均为负值,表现为明显的抑制作用;对 GS、KMX、LKZ 垂穗披碱草种子萌发生长呈低促高抑趋势。随着浸提液浓度的升高对 LS 垂穗披碱草种子萌发生长产生促进作用,而对 NQ、DX、LZ 垂穗披碱草的作用无明显规律。总的来说,不同地区垂穗披碱草对紫花苜蓿地上部浸提液的敏感性趋势总体为:GS > QH > LS > KMX > NQ > LKZ > LZ,最不敏感或有促进作用的是 DX 垂穗披碱草。不同地区垂穗披碱草对根浸提液的敏感性趋势总体为:QH > NQ > LZ > KMX,根浸提液对 LS、GS、LKZ、DX 垂穗披碱草种子的萌发生长具有促进作用。

表 4 苗期紫花苜蓿植株浸提液对不同地区垂穗披碱草种子萌发生长的综合效应 (M_R)Table 4 Synthetical allelopathic index (M_R) of extract of *M. sativais* in the seedling stage on seed germination and growth of *Elymus nutans* in different areas (mean±SD)

	浓度 Concentration /%	LS	QH	GS	NQ	KMX	LKZ	DX	LZ
地上部浸提液	5.5	-0.1382	-0.1852	-0.1620	-0.2280	-0.1800	0.1860	0.5187	
Above-ground extract	10.0	-0.1617	-0.1640	-0.3238	-0.1740	-0.1960	0.2643	-0.0456	
	14.5	-0.2580	-0.3860	-0.4104	-0.1120	-0.1620	0.0969	0.2774	
根浸提液	5.5	-0.1900	-0.1628	0.0260	-0.1824	0.2380	0.1640	-0.2020	
Root extract	10.0	0.3380	-0.1211	1.3060	0.1163	-0.1600	0.0640	1.5480	
	14.5	0.1080	-0.2594	-0.0120	-0.1810	-0.1040	-0.1260	-0.0580	

进一步用植物平均敏感指数(M_R)分析紫花苜蓿不同部位浸提液对不同地区垂穗披碱草种子萌发生长的化感作用发现(图1),植株浸提液除对DX垂穗披碱草种子萌发生长具有明显的促进作用外,对其余地区垂穗披碱草种子的萌发生长均表现出一定的抑制作用,且地上部浸提液的化感抑制作用强度明显大于根浸提液。

3 讨论与结论

李志华,沈益新等研究表明:同一植物器官不同浓度处理对其他植物作用程度不同;同一器官同一浓度处理对不同植物的化感作用也不同^[24]。本试验中,地上部浸提液同一浓度处理对不同地区垂穗披碱草种子萌发生长的抑制效应顺序有很大差异(表2)。根浸提液对不同地区垂穗披碱草种子萌发生长多有抑制作用($RI < 0$,表3)。可见,不同地区垂穗披碱草同一品种在同一浓度处理下,测定值具有明显的差异,同一受体不同浓度下RI值也均不同。研究表明,植物的化感物质大部分是通过对植物细胞膜的影响、能量的产生及能量使用等过程来产生作用。由此判断,不同地区垂穗披碱草,不同生境、不同水分、光照和物候条件可能造就了同一品种的不同品质特性,如薄膜结构、生活力、植物光合调节和呼吸代谢、生长调节、养分吸收等都产生不同程度的变化,以致对紫花苜蓿浸提液敏感程度也不同^[17]。

从表4可以看出,随着紫花苜蓿地上部浸提液浓度的升高对LS、GS地区垂穗披碱草种子萌发生长的抑制作用逐渐增强。5.5%、10%浸提液浓度处理对LZ垂穗披碱草种子萌发生长具有抑制作用,而14.5%浓度对其产生促进作用。根浸提液5.5%、14.5%浓度对NQ、DX垂穗披碱草种子萌发生长表现为化感抑制作用,但10%浓度时产生促进作用,RI值分别为5.5%浓度时-0.1820%、10%浓度时0.1160%、14.5%浓度时-0.1810%;根浸提液对GS、KMX、LKZ垂穗披碱草种子萌发生长呈低促高抑趋势。说明,紫花苜蓿植株浸提液浓度在未达到某一浓度前,对垂穗披碱草种子的萌发会产生促进作用。这与李志华^[10]、朱旺生和沈益新^[25]及Xuan和Tsunami^[26]的研究结果,植物的化感作用强度与其浸提液的浓度密切相关。一般,高浓度浸提液的抑制作用更显著;而未达到该作用浓度前,反而对受体植物起促进作用结果相一致。

袁莉等^[27]研究不同年限的苜蓿植株对小麦、玉米、棉花及苜蓿种子的他感影响时发现,同等条件下苜蓿茎叶浸提液的化感作用大于根浸提液,且茎叶和根浸提液均对玉米的生长有促进作用,因此玉米适合与苜蓿轮作。本研究中,紫花苜蓿地上部浸提液的化感作用大于根。植株浸提液不同浓度均对LS、DX垂穗披碱草种子的发芽率具有促进作用,14.5%浓度处理对NQ垂穗披碱草种子的发芽率也产生促进作用。因此建议,在生产上,可选用紫花苜蓿与LS、DX、NQ垂穗披碱草轮作或混播种植。

综上所述,从化感效应综合指数来看,苗期紫花苜蓿株体对LS、NQ、GS、QH、KMX、LKZ、LZ垂穗披碱草种子萌发生长均有一定的化感抑制作用,而对DX垂穗披碱草种子萌发生长具有促进作用(图1)。紫花苜蓿植株浸提液对垂穗披碱草种子萌发生长的作用具有一定的浓度效应。由此判断,种间的相互作用(促进、抑制)可能成为垂穗披碱草成苗及繁殖生长的一个因素,还需进一步的试验证明此现象。

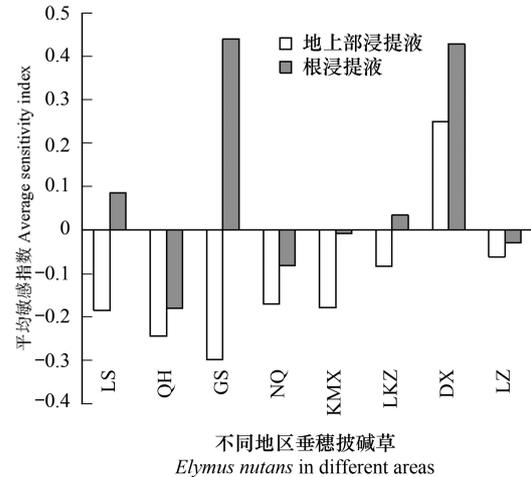


图1 不同地区垂穗披碱草对紫花苜蓿不同部位浸提液的平均敏感指数

Fig.1 The average sensitivity index of *Elymus nutans* in different areas to the water extract of different parts from *M. sativa*

LS:拉萨, Lhasa; QH:青海, Qinghai; GS:甘肃, Gansu; NQ:那曲地区, Nagqu Region; KMX:康马县, Kangma County; LKZ:浪卡子县, Nagarze County; DX:当雄县, Damxung County; LZ:林芝县, Nyingchi County

参考文献 (References):

- [1] 张卫国, 江小蕾, 王树茂, 杨振宇. 鼯鼠的造丘活动及不同休牧方式对草地植被生产力的影响. 西北植物学报, 2004, 24(10): 1882-1887.
- [2] 卢宝荣. 披碱草属与大麦属系统关系的研究. 植物分类学报, 1997, 35(3): 193-207.
- [3] 陆光平, 聂斌. 垂穗披碱草利用价值评价. 草业科学, 2002, 19(9): 13-15.
- [4] 鱼小军, 师尚礼, 龙瑞军, 王芳, 陈本建. 生态条件对种子萌发影响研究进展. 草业科学, 2006, 23(10): 44-49.
- [5] 乔安海, 韩建国. 垂穗披碱草种子成熟过程中活力变化及适宜收获期研究. 安徽农业科学, 2010, 38(22): 11847-11850.
- [6] 葛庆征, 张卫国, 张灵菲, 卫万荣. 温度对垂穗披碱草种子萌发的影响. 草业科学, 2012, 29(5): 759-767.
- [7] 马银山, 杜国祯, 张世挺. 光照强度和肥力变化对垂穗披碱草生长的影响. 生态学报, 2014, 34(14): 3908-3916.
- [8] Melton R R, Default R J. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertility regimes affect tomato transplant growth. HortScience, 1991, 26(2): 141-142.
- [9] 王希, 沈禹颖, 高崇岳, 韩方虎, 周少平. 异龄苜蓿水浸液对其种子萌发的自毒效应. 草地学报, 2008, 16(6): 609-612.
- [10] 李志华, 沈益新, 倪建华, 赵玲玲. 豆科牧草化感作用初探. 草业科学, 2002, 19(8): 28-31.
- [11] 邹彩霞, 沈益新, 李志华. 豆科牧草对多花黑麦草化感作用的种间差异. 中国草地, 2005, 27(6): 39-43.
- [12] 刘迎, 王金信, 胡燕, 董晓雯, 张猛. 白三叶草对苘麻和稗草的化感作用. 植物保护学报, 2006, 33(4): 433-436.
- [13] 王玉芬. 苜蓿与不同禾本科牧草间混作增产效应[D]. 北京: 中国农业大学, 2005.
- [14] 李治强. 紫花苜蓿与垂穗披碱草混播防治褐斑病试验. 草业科学, 2009, 26(10): 177-180.
- [15] 张永亮, 范富, 高凯, 冯静, 苏娜. 苜蓿、无芒雀麦单播与混播对土壤有机质和速效养分的影响. 草地学报, 2009, 17(1): 22-26.
- [16] 魏学红, 苗彦军, 李鹏伟, 田广华. 甘肃红豆草在西藏林芝地区的适应性研究. 草业科学, 2001, 18(4): 27-29.
- [17] 聂呈荣, 曾任森, 黎华, 李梅. 三裂叶蟛蜞菊对菜心化感作用的生理机理. 华南农业大学学报: 自然科学版, 2003, 24(4): 106-107.
- [18] 董晓宁, 高承芳, 李文杨, 张晓佩. 不同品种紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 的化感效应研究. 中国农业通报, 2009, 25(19): 95-99.
- [19] 袁航, 侯扶江. 黄土高原 3 种建群种植物枯落物对苜蓿幼苗生长的化感作用. 草业科学, 2010, 27(6): 20-24.
- [20] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(1): 181-187.
- [21] 沈慧敏, 郭鸿儒, 黄高宝. 不同植物对小麦、黄瓜和萝卜幼苗化感作用潜力的初步评价. 应用生态学报, 2005, 16(4): 740-743.
- [22] 张茂新, 凌冰, 孔垂华, 赵辉, 庞雄飞. 薇甘菊挥发油的化感潜力. 应用生态学报, 2002, 13(10): 1300-1302.
- [23] 姬志强, 王金梅, 孙磊. 河南产珍珠梅花蕾和花的挥发性成分研究. 河南大学学报: 医学版, 2008, 27(5): 17-20.
- [24] 李志华, 沈益新. 红三叶茎叶对几种牧草种子及幼苗的化感作用. 中国草地, 2005, 27(3): 41-43, 48-48.
- [25] 朱旺生, 沈益新. 白三叶和高羊茅不同品种对萝卜幼苗的化感作用. 南京农业大学学报, 2004, 27(1): 28-31.
- [26] Xuan T D, Tsuzuki E. Varietal differences in allelopathic potential of alfalfa. Journal of Agronomy and Crop Science, 2002, 188(1): 2-7.
- [27] 袁莉. 苜蓿自毒性特征及其对农作物的他感影响[D]. 石河子: 石河子大学, 2008.