

不同株系柳枝稷地上部的化感作用研究

钟雯瑾¹, 马永清^{1,2}, 安雨¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以 10 个株系(一前 1、一前 2、一前 3、一前 4、一前 5、一前 6、一前 8、一前 11、一前 12 和一前 13)和 2 个美国引进品种(Cave-in-Rock 和 Nebraska 28)为试验材料,采用室内皿培养法,分析不同柳枝稷株系地上部蒸馏水浸提液对生菜种子萌发和幼苗生长的影响,以评价不同株系柳枝稷化感潜势。结果表明:不同材料的柳枝稷化感潜势表现出显著的差异性,Cave-in-Rock 的化感潜势高于 Nebraska 28,且 10 个株系之间化感潜势也不尽相同;化感作用存在浓度效应,0.02 g/mL 浸提液的化感抑制作用高于 0.005 g/mL;柳枝稷地上部浸提液对生菜胚根生长抑制作用明显,抑制率(RI)最高为 60%;而对胚芽生长表现促进作用,促进率(RI)最高达到 48.1%。一前 5、一前 13 和 Cave-in-Rock 的抑制作用较强,与对照相比差异达到显著水平;聚类分析结果表明,可将供试柳枝稷分为三大类:抑制作用较强的是一前 13 和一前 5 为一类,一前 12、一前 11、一前 8、一前 6 和一前 4 为第二类,抑制作用较弱的一前 3、一前 2 和一前 1 为第三类。

关键词:柳枝稷;生菜;浸提液;化感作用

中图分类号:Q 143⁺.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)18-0078-07

柳枝稷(*Panicum virgatum* L.)属禾本科黍属多年草本 C4 植物,具有较强的养分和水分利用效率^[1]。柳枝稷具有较强的生态适应性,在低洼易涝以及干旱半干旱地区均可种植。柳枝稷株高达 50~300 cm,一次种植可成活 10 a 以上。柳枝稷按照生态型区分,可将其划分为高地、中地和低地品种^[1],其中低地品种产量较高,但抗寒能力却不如高地品种^[2],高地品种以六倍体和八倍体为主,低地品种以四倍体为主^[3-4]。

柳枝稷可作为生物能源原材料^[5],植株中含有大量纤维素,热值较高,通过发酵可生产乙醇^[6]。早在 1991 年美国能源部就已经将柳枝稷作为最具潜能的生物能源植物进行开发和生产^[7]。柳枝稷具有良好的水土保持效应^[8],主要是由于发达的根系对垂直土体的固持作用以及密集的地上部对地表径流的直接拦截^[9-11]。同时,柳枝稷也是一种优良的牧草^[12],且可充分利用边际土壤,起到改良土壤的作用。因此,培育和种植柳枝稷对农牧生产、生态修复具有重要意义^[13-14]。研究表明,

柳枝稷对植被恢复也起到重要作用,研究者在中国的黄土高原地区试种上千种牧草,只有柳枝稷能适应黄土高原的环境而存活^[15]。

化感作用(Allelopathy)是指植物向环境分泌一种或多种化合物对另一种植物(或微生物)产生直接或间接有益或有害的作用^[16],而这些所分泌的化合物被称作化感物质(Allelochemicals),是植物间实现化感作用的重要媒介^[17]。植物产生的化感物质主要通过茎叶挥发、茎叶淋溶、根系分泌和残茬降解进入环境中,进而对邻近植物产生化感作用^[16],Putnam^[18]和 Dilday 等^[19]认为植物的化感作用与环境条件有关,当植物受到环境胁迫时,会分泌一些化感物质来影响伴生植物的生长,或用以减缓和抵抗恶劣环境对自身造成的伤害,进而提高该植物在有限的资源环境条件下的竞争力和适应性^[20]。化感抑制作用较强的物种可能会造成整个植物群落的结构以及多样性、优势种、顶级植物、群落演替和农业生态系统初级生产力的改变^[21-25]。因此,在植物引种和生态适应过程中,研究引种植物对当地植物的化感作用十分必要,这也是判定一种外来植物能否引种成功的关键。

研究表明禾本科植物黑麦残留物覆盖能抑制杂草的生长,主要是因为其能分解释放出化感物质苯并恶嗪酮^[26]。此外,一些植物的枯落物掺入土壤后可有效地抑制杂草的生长^[27-28]。Lin 等^[29]报道指出禾本科植物水稻叶片的水浸提液可以影响稗草过氧化物歧化酶、过氧化氢酶的活性,从而影响稗草的生长。目前,国外对柳枝

第一作者简介:钟雯瑾(1990-),女,河南开封人,硕士研究生,研究方向为植物营养与生态学。E-mail:zhongwenjin728@163.com.

责任作者:马永清(1963-),男,教授,博士生导师,现主要从事化学生态学及植物化感作用和寄生植物生理生态等研究工作。E-mail:mayongqing@ms.iswc.ac.cn.

基金项目:国家“十二五”农村领域国家科技计划资助项目(2011BAD31B05)。

收稿日期:2014-05-27

稷的研究主要集中于以提高产量和能量产出为目的的育种改良^[30]、水肥管理^[31]、建植^[32]、杂草管理^[33]以及生态价值评价^[9]等方面。而国内对柳枝稷的研究主要集中于柳枝稷的水土保持作用^[34]、生态适应性^[35]以及生物学产量^[36]的研究,对于生物能源这一方面,我国还处于刚起步状态。

柳枝稷的化感作用近年来也有研究,An等^[37]的研究结果显示了柳枝稷地上部残留物可以影响伴生杂草生长,并存在品种差异,推断这可能是由于枯落物分解释放化感或有毒有害物质造成。另外,柳枝稷的地上部生物量与伴生杂草生物量呈负相关,说明在栽培过程中柳枝稷地上部的生长对伴生植物具有显著影响。Shui等^[15]认为地上部浸提液的抑制作用比地下部强,并且这种化感潜势与柳枝稷生态型有关,高地品种具有比低地品种更强的化感潜势,同时可将柳枝稷化感物质分为酚类、有机酸、中性物质和生物碱4部分,其中以生物碱的化感抑制作用最强。基于以上研究,柳枝稷地上部是表征化感潜势的重要部位。

该研究采用经过7a筛选的10个柳枝稷株系和2个引种的美国品种Cave-in-Rock和Nebraska 28为试验,选择化感研究中常用受体生菜种子为受体^[38-40],评价建植1a的各柳枝稷地上部的化感潜势,以期为柳枝稷的成功引种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于宁夏回族自治区固原市西北农林科技大学固原生态试验站。地处东经106°28',北纬36°01',属于黄土高原梁状丘陵类型,平均海拔1 534.3~1 822 m,属南半干旱中温带向暖温带过度季风气候,年平均气温7℃,年均降雨量420 mm,该地区土壤类型为黄绵土从普通黑垆土向淡黑垆土过渡区^[41]。栽培柳枝稷的每个小区面积为30 m²,定期人工除草,在降雨量稀少时,需要人工灌溉。

1.2 试验材料

柳枝稷种子源于美国,由日本宇都宫大学一前宣正教授提供。课题组于2005年春将150粒种子采用穴盘育苗方法种植(一穴一粒),试验地点为陕西杨凌西北农林科技大学水土保持所试验田内。待种子出苗后将其移置火箭盆(直径20 cm×高25 cm,杨凌中科环境工程有限公司生产)。2006年春季,将其移栽至宁夏回族自治区固原市河川乡西北农林科技大学生态试验站试验田内,通过观察和测量,筛选出14株不同生长特征的柳枝稷植株。2012年在宁夏回族自治区固原市西北农林科技大学生态试验站繁殖成14个柳枝稷株系,并将其命名为一前1、一前2、一前3……一前14,同时种植美国品种Cave-in-Rock和Nebraska 28。受体种子为生菜

(*Lactuca sativa* L.)(香港玻璃脆生菜),选购于陕西省杨凌镇博示种业。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备 于2012年9月采集柳枝稷地上部,共10个自选株系和2个美国品种(Cave-in-Rock和Nebraska 28),此时柳枝稷的生长状况详见表1。样品采集后常温下阴干,粉碎,备用。

表1 样品采集时不同株系的生长状况

Table 1 The growth conditions of different lines switchgrass when samples collected

株系和品种	缩写	株高	叶长	叶宽
Lines and varieties	Abbreviation	Height/cm	Leaf length/cm	Leaf width/mm
一前1	YQ 1	38.0 a	25.9 a	7.6 bcd
一前2	YQ 2	36.5 ab	24.6 abc	10.0 a
一前3	YQ 3	31.4 bcd	22.1 bcd	7.4 cd
一前4	YQ 4	30.6 bcde	21.4 cde	8.2 bc
一前5	YQ 5	26.4 de	18.6 def	7.0 cd
一前6	YQ 6	30.0 cde	20.8 def	9.2 ab
一前8	YQ 8	26.1 de	18.3 ef	6.6 cd
一前11	YQ 11	27.6 de	17.6 f	6.8 cd
一前12	YQ 12	29.7 cde	19.6 def	6.8 cd
一前13	YQ 13	35.7 abc	25.7 ab	7.4 cd
Cave-in-Rock	Cav	27.1 de	19.3 def	7.0 cd
Nebraska	Neb	24.5 e	18.3 ef	6.0 d

注:同一列数据上的不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different lowercase letters in the same column show significant difference at 0.05 level, the same as below.

1.3.2 种子预处理 取成熟饱满的生菜种子,于有效质量分数为1%的NaClO溶液中消毒3 min,然后于75%的酒精中超声震荡3 min,再用无菌水冲洗至无色为止,放在超净工作台中晾干,备用。

1.3.3 水浸提液制备 取每个株系柳枝稷地上部粉碎样3 g于三角瓶中,每个株系设3次重复,分别加蒸馏水30 mL,然后放于超声波清洗器处理30 min,取出后静置,分层,取上清液即为原液(0.1 g/mL),将部分原液分别稀释至5倍(0.02 g/mL)和20倍(0.005 g/mL),共3个浓度梯度,待用。

1.3.4 试验测定方法 取浸提液3 mL于放有2张直径为9 cm的滤纸的塑料培养皿中,每个培养皿中放置20粒受体种子,同时取3 mL蒸馏水置于同样的培养皿中作为对照。每个处理设置3个重复,然后放于25℃的恒温培养箱中培养,72 h后统计发芽率、胚根长、胚芽长、干重和鲜重,在测定统计过程中参考Leather等^[42]培养皿滤纸法进行。评价方法参照Williamson等^[43]的化感作用评价方法, T 为处理值, C 为对照值,当 $T \geq C$ 时,化感指数 $RI=1-C/T$;当 $T < C$ 时, $RI=T/C-1$ 。当化感指数 $RI>0$ 时,为促进作用;当 $RI<0$ 时,为抑制作用; RI 的绝对值的大小表示化感作用的强弱。

1.4 数据分析

采用Excel 2003进行数据处理并作图,DPS 6.5数

据分析软件对数据进行方差分析和 Q 型聚类分析,利用最小显著差异法(LSD, $P=0.05$)比较不同株系和品种之间的差异,采用卡方距离相似尺度和以离差平方和聚类方法进行聚类分析。

2 结果与分析

2.1 不同株系柳枝稷地上部水浸提液对生菜种子萌发的影响

由表 2 可知,柳枝稷地上部浸提液可以影响生菜种子的发芽率,并且不同株系间存在差异。浸提液为 0.1 g/mL 时,浓度过高生菜种子未能发芽。浸提液稀释至 0.02 g/mL,对生菜萌发的抑制作用明显降低,发芽率达 65%以上,一前 5 和 Cave-in-Rock 对生菜的抑制作用较强,发芽率分别为 65.0%和 66.7%;一前 2、一前 8 和美国品种 Nebraska 28 对生菜的化感抑制作用最弱,发芽率在 90%以上,相比对照差异并不显著。当浸提液浓度为 0.005 g/mL 时,对生菜的抑制作用降低,生菜的发芽率普遍高于 0.02 g/mL,一前 1、一前 11、一前 13 和 Cave-in-Rock 相比于对照差异显著,其中抑制作用最强的为一前 13,发芽率达到 76.7%,抑制作用最弱的为一前 6 和 Nebraska 28,生菜发芽率达到 96.7%。

表 2 不同浓度的柳枝稷地上部水浸提液对生菜种子萌发的影响

Table 2 Effect of different concentrations of distilled water extracts from switchgrass shoots on the germination of lettuce

株系和品种 Lines and varieties	发芽率 Germination rate/%	
	0.020 g/mL	0.005 g/mL
YQ 1	90.0 bcd	88.3 bcde
YQ 2	95.0 abc	95.0 abc
YQ 3	88.3 bcd	90.0 abcd
YQ 4	86.7 bcdef	95.0 abc
YQ 5	65.0 f	91.7 abcd
YQ 6	85.0 cdef	96.7 abc
YQ 8	90.0 abcd	93.3 abc
YQ 11	85.0 bcdef	90.0 bcd
YQ 12	75.0 def	93.3 abcd
YQ 13	75.0 def	76.7 def
Cav	66.7 ef	86.7 bcd
Neb	93.3 abc	96.7 ab
对照(CK)	100.0 a	100.0 a

注:数据上的不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Note: Different lowercase letters show significant difference at 0.05 level.

2.2 不同株系柳枝稷地上部水浸提液对生菜幼苗生长的影响

生菜胚根长和胚芽长是评定柳枝稷化感作用的 2 个重要指标。由表 3 可知,与对照相比,柳枝稷表现出对胚根的抑制作用和对胚芽的促进作用。浸提液为 0.020 g/mL 时,柳枝稷对胚根的影响与对照相比差异都达到显著水平,其中对胚根抑制作用最强的为一前 4,胚根长为 0.61 cm;对胚芽促进作用最强的为一前 1、一前 2 和 Cave-in-Rock,胚芽长达到 0.79 cm,而一前

4 对胚芽的影响最不明显,胚芽长为 0.54 cm。当浓度为 0.005 g/mL 时,一前 4 的化感抑制作用最强,胚根长达 0.73 cm,而一前 6、一前 11 和 Nebraska 28 对胚根影响最不明显。对胚芽促进作用中只有一前 4、一前 12 和 Nebraska 28 未达到显著水平,其中一前 5 的化感抑制作用最强,胚芽长达到 1.05 cm。

表 3 不同浓度的柳枝稷地上部蒸馏水浸提液对生菜胚根和胚芽的影响

Table 3 Effect of different concentrations of distilled water extract from switchgrass shoots on the radicle and coleoptile of lettuce

株系和品种 Lines and varieties	胚根长 Radicle length/cm		胚芽长 Coleoptile length/cm	
	0.020 g/mL	0.005 g/mL	0.020 g/mL	0.005 g/mL
YQ 1	0.90 hijkl	0.75 klm	0.79 cde	0.94 ab
YQ 2	0.88 ijkl	0.92 ghijk	0.79 cde	0.86 bcd
YQ 3	1.14 cdef	1.15 cde	0.77 defg	0.92 abc
YQ 4	0.61 m	0.73 klm	0.54 i	0.64 fghi
YQ 5	0.87 jkl	1.12 defg	0.77 def	1.05 a
YQ 6	1.03 defghij	1.33 abc	0.57 i	0.88 bcd
YQ 8	0.87 jkl	0.95 fghij	0.57 i	0.93 ab
YQ 11	0.72 lm	1.35 ab	0.64 fghi	0.75 defgh
YQ 12	1.02 defghij	1.21 bcd	0.61 hi	0.63 ghi
YQ 13	1.10 defgh	1.04 defghij	0.66 efghi	0.92 abc
Cav	0.99 efghij	1.22 bcd	0.79 cde	0.84 bcd
Neb	1.07 defghi	1.49 a	0.65 efghi	0.64 fghi
对照(CK)	1.38 ab	1.38 ab	0.55 i	0.55 i

注:数据上的不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

Notes: Different lowercase letters show significant difference at 0.05 level.

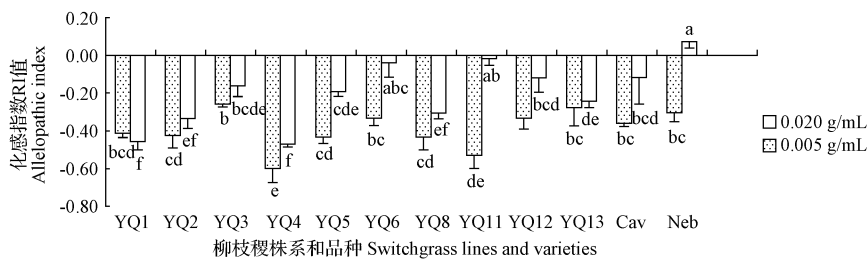
2.3 基于化感指数(RI)评价不同株系柳枝稷化感作用

在该试验中柳枝稷对生菜胚根和胚芽分别产生了抑制和促进作用,并且不同株系之间表现差异明显。由图 1 可知,随浸提液的浓度降低,其对生菜胚根的抑制作用有降低的趋势,其中一前 1 的抑制作用变化不明显,甚至随着浸提液浓度降低化感抑制作用有增强的趋势。当浓度为 0.020 g/mL 时,一前 4 对生菜胚根的抑制作用最强,抑制率达 60%,其次是一前 11,抑制率为 53%。而 Nebraska 28 的 0.005 g/mL 浓度的浸提液却对胚根影响不明显,促进率为 7.3%。

由图 2 可知,柳枝稷对生菜胚芽表现出促进作用,并且在浓度为 0.005 g/mL 时浸提液的促进作用普遍高于浓度为 0.020 g/mL 处理。促进作用最强的是浓度为 0.005 g/mL 的一前 5,促进率达到 48.1%。当一前 4 浸提液浓度为 0.020 g/mL 时,其对生菜胚芽长几乎没有影响,一前 4 的促进作用相对较弱。

2.4 柳枝稷地上部的水浸提液对生菜幼苗生物量的影响

由表 4 可知,与对照相比,柳枝稷浸提液处理下生菜幼苗的干重有所降低,且随着浸提液浓度的降低有增高的趋势,说明浸提液对生菜幼苗的抑制作用随着浓度降低而减弱。当浓度为 0.020 g/mL 时,一前 5、一前 12



注:不同小写字母表示不同株系或品种之间对受体的影响差异显著($P<0.05$),下同。
Note: Different lowercase letters show significant difference at 0.05 level between the lines and varieties, the same as below.

图 1 柳枝稷地上部蒸馏水浸提液对生菜的胚根的影响

Fig. 1 Effect of distilled water extract from switchgrass shoots on the radicle of lettuce

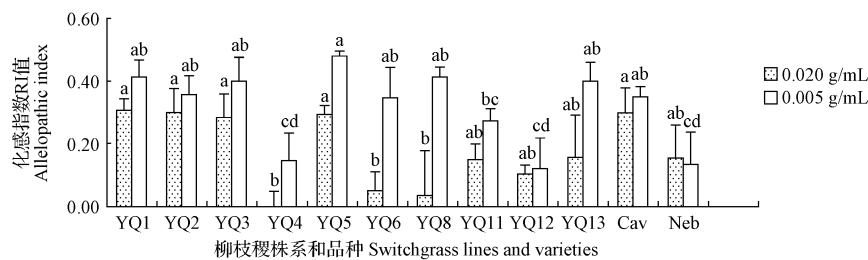


图 2 柳枝稷地上部蒸馏水浸提液对生菜胚芽的化感作用

Fig. 2 Effect of distilled water extract from the switchgrass shoots on the coleoptile of lettuce

和 Cave-in-Rock 对生菜的影响显著,生菜干重分别达到 11.8、12.5、11.2 mg。浓度降低至 0.005 g/mL,浸提液浓度过低,对生菜干重的影响都未达到显著水平,其中以一前 3 和一前 8 的化感抑制作用最弱,干重分别达到 20.0 mg 和 17.6 mg 并高于对照。

表 4 柳枝稷地上部蒸馏水浸提液对生菜幼苗生物量的影响

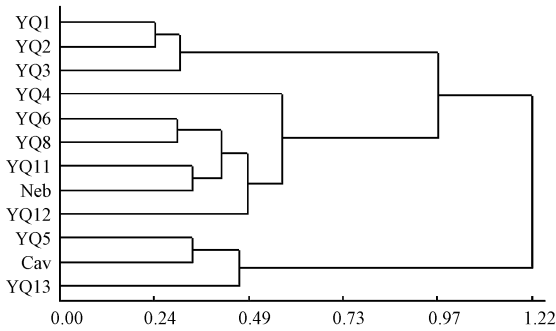
Table 4 Effect of distilled water extract from the switchgrass shoots on lettuce biomass

株系和品种 Lines and varieties	总干重 Total dry weight/mg	
	0.020 g/mL	0.005 g/mL
YQ 1	15.7 bc	16.3 abc
YQ 2	15.2 bcd	16.6 ab
YQ 3	16.1 bc	20.0 a
YQ 4	15.4 bcd	17.2 ab
YQ 5	11.8 de	15.6 bc
YQ 6	14.5 bcde	16.0 bc
YQ 8	15.6 bc	17.6 ab
YQ 11	14.8 bcde	16.6 ab
YQ 12	12.5 cde	15.6 bc
YQ 13	14.2 bcde	13.9 bcde
Cav	11.2 e	14.4 bcde
Neb	15.6 bc	16.4 ab
对照(CK)	17.3 ab	17.3 ab

2.5 综合生菜各指标对柳枝稷的化感作用进行聚类分析

受体植物发芽率、胚根长、胚芽长和干重是反应供体植物化感潜能的重要指标,因此对在浓度为 0.020 g/mL

和 0.005 g/mL 的柳枝稷浸提液处理下的生菜各生长指标进行聚类分析,由图 3 可知,10 个株系和 2 个美国品种被清晰地分为 3 类,化感潜能较强株系和品种 Cave-in-Rock、一前 13 和一前 5 被分为第 1 类,一前 12、Nebraska 28、一前 11、一前 8、一前 6 和一前 4 化感潜能较弱被分为第 2 类;化感潜能最弱的一前 1、一前 2 和一前 3 被分为第 3 类。



注: X 轴表示卡方距离。

Note: X-axis represents the Chi-square distance.

图 3 综合生菜各指标对柳枝稷化感作用的聚类分析

Fig. 3 Cluster analyses for allelopathic potential for switchgrass on comprehensive the indexes of lettuce

3 讨论与结论

柳枝稷地上部浸提液可以对生菜的发芽起到抑制作用,鉴于此,有报道指出化感物质可以干扰与受体种

子生长相关的化学生理过程^[44]。Chung 等^[45]在研究苜蓿枯落物对杂草种子萌发的结果中指出,苜蓿地上部水浸提液能够抑制杂草种子的萌发和生长,并且相比于对胚芽的促进作用对胚根的抑制作用更明显。该研究中,柳枝稷的这种化感抑制作用随着浸提液浓度的降低而降低,这与 Chung 等^[45]的研究结果相符,化感作用的强弱与植物分泌的化感物质的浓度或残留物的分解率有关,因此推断柳枝稷的化感作用和化感物质的浓度之间可能存在一定相关性。An 等^[46]研究表明高浓度柳枝稷根系分泌物能显著抑制生菜生长,并且随着浓度的降低化感抑制作用减弱。Putnam 等^[47]相关报道指出将作物残茬覆盖在土壤表面,能明显抑制杂草的生长,而如果把残茬拌入土壤中这种抑制作用会消失,对这一现象的解释是表面覆盖的残茬释放的化感物质在杂草种子发芽的区域浓度较高从而抑制了杂草种子的萌发和生长。

柳枝稷地上部对生菜幼苗的不同部位表现出不同的化感作用,其中胚芽表现出促进作用,促进率最高能达到 48.1%;胚根则表现出了抑制作用,抑制率最强达 60%。Fujii 等^[48]指出水稻的化感物质对生菜胚根的抑制率可达 75%甚至更高。随着浸提液浓度的降低,对胚芽的促进作用增强,对胚根的抑制作用减弱。出现这种现象的原因可能是生菜的胚根直接接触水浸提液中的化感物质,造成胚根的生长受到抑制,种子储存的营养供胚芽生长利用,从而对胚芽产生了促进作用。生菜胚根与胚芽对化感物质响应不同,Leather 等^[49]建议用总生物量来评估化感对受体植物造成的影响。该研究对生菜生物量的测定结果显示,不同株系和品种柳枝稷影响下生菜生物量差异很大,据此可评定出化感潜势较强的株系有一前 5、一前 12 和一前 13,较弱的株系有一前 3 和一前 8。

综合生菜各指标对柳枝稷进行聚类分析,可将这 10 个株系和 2 个品种的柳枝稷分为 3 类,化感潜势较强株系和品种 Cave-in-Rock、一前 13 和一前 5 被分为第 1 类,化感潜势较弱的一前 12、Nebraska 28、一前 11、一前 6 和一前 4 被分为第 2 类;化感潜势最弱的一前 1、一前 2、一前 3 和一前 8 被分为第 3 类。Shui 等^[15]指出柳枝稷的化感潜势与其生态型有关,初步的鉴定结果表明,供试柳枝稷中大部分株系为 8 倍体,因此关于此类柳枝稷的生态型还有待进一步研究。不同株系的柳枝稷对生菜的化感作用强度不同,原因可能是其自身的遗传基因与长期适应环境变化之间协同进化的结果^[50],An 等^[1,37]的研究结果中表明 Cave-in-Rock 相对于 Nebraska 28 等其它美国品种对伴生杂草的抑制作用较强,并且这种抑制作用存在于 Cave-in-Rock 的整个生长周期。在该研究中美国品种 Cave-in-Rock 和 Nebraska 28 相对筛选的株系,同样分别表现出了较强和较弱的化感抑制作

用。An 等^[46]在研究 11 个美国品种柳枝稷的根系分泌物对生菜种子萌发和生长的影响中也发现,Nebraska 28 的根系分泌物在高浓度时对生菜种子的萌发和生长无明显影响,在低浓度时产生促进作用。基于以上结论,现建议在栽培柳枝稷过程中如果有必要抑制伴生杂草的生长,可选培抑制作用较强的株系一前 13 和一前 5;如果需要与其它本土植物“和平共处”,可选培化感抑制作用较弱的株系,如一前 1、一前 2、一前 3 和一前 8。

参考文献

- [1] 安雨,马永清,税军锋,等.栽培柳枝稷不同生长期对伴生杂草生物量及密度的影响[J].草地学报,2013,21(4):689-696.
- [2] Adler P R, Sanderson M A, Boateng A A, et al. Biomass yield and bio-fuel quality of switchgrass harvested in fall or spring[J]. Agronomy Journal, 2006, 98(6):1518-1525.
- [3] Nielsen E L. Analysis of variation in *Panicum virgatum* [J]. Journal of Agriculture Research, 1944, 69(4):327-353.
- [4] Hulguist S J, Vogel K P, Lee D J, et al. Chloroplast DNA content and nuclear DNA content variations among cultivars of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) [J]. Crop Science, 1996, 36(4):1049-1052.
- [5] McLaughlin S B, Kszos L A. Development of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) as a bioenergy feedstock in the United States [J]. Biomass and Bioenergy, 2005, 28(6):515-535.
- [6] 刘吉利,朱万斌,谢光辉,等.能源作物柳枝稷研究进展[J].草业学报,2009,18(3):232-240.
- [7] Lewandowski I, Scurlock J M O, Lindvall E, et al. The development and current status of perennial rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe [J]. Biomass and Bioenergy, 2003, 25(4):335-361.
- [8] 林长松,程序,杨新国.半干旱黄土丘陵沟壑区引种能源植物柳枝稷生态适宜性分析[J].西南大学学报,2008,30(7):125-132.
- [9] Moser L E. Warm-season (C4) grasses [M]. Madison: American Society of Agronomy, 2004:561-588.
- [10] Mersie W, Seybold C A, McNamee C, et al. Effectiveness of switchgrass filter strips in removing dissolved atrazine and metolachlor from runoff [J]. Journal of Environmental Quality, 1999, 28(3):816-821.
- [11] Ichizen N, Takahashi H, Nishio T, et al. Impacts of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) planting on soil erosion in the hills of the Loess Plateau in China [J]. Weed Biology and Management, 2005, 5(1):31-34.
- [12] Joe B. The economic benefits of forage improvement in the United States [J]. Euphytica, 2007, 154:263-270.
- [13] Muir J P, Sanderson M A, Ocumpaugh W R, et al. Biomass production of "Alamo" switchgrass in response to nitrogen phosphorous and row spacing [J]. Agronomy Journal, 2001, 93:5-10.
- [14] Li P, Zhao Z, Li Z B. Vertical root distribution characters of *Robinia pseudoacacia* on the Loess Plateau in China [J]. Journal of Forestry Research, 2004, 15(4):87-92.
- [15] Shui J F, An Y, Ma Y Q. Allelopathic potential of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) and alfalfa (*Medicago sativa* L.) [J]. Environmental Management, 2010, 46:590-598.
- [16] Rice E L. Allelopathy [M]. London: Academic Press, 1984.
- [17] 孔垂华,徐涛,胡飞,等.环境胁迫下植物的化感作用及其诱导机制 [J].生态学报,2000,20(5):849-854.
- [18] Putnam A R. The Science of Allelopathy [J]. New York: John Wiley and Sons, 1986:43-56.

- [19] Dilday R H, Yan W G, Moldenhauer K A K, et al. Allelopathic activity in rice for controlling major aquatic weeds[C]//M Olofsdotter ed. In: Allelopathy in Rice, International Rice Research Institute, Philippines, 1998: 7-26.
- [20] George R W. Allelochemicals [M]. Washington: American Chemical Society, 1987, DC.
- [21] Chou C H. Roles of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture[J]. Critical Reviews in Plant Sciences, 1999, 18(5): 609-636.
- [22] Callaway R A, Aschehoug E T. Invasive plants versus their new and old neighbors: a mechanism for exotic invasion[J]. Science, 2000, 290: 521-523.
- [23] Kilronomos J N. Feedback with soil biota contributes to plant rarity and invasiveness in communities[J]. Nature, 2002, 417: 67-70.
- [24] Bais H P, Vepachedu R, Gilroy S, et al. Allelopathy and exotic plant invasion: from molecules and genes to species interactions[J]. Science, 2003, 301: 1377-1380.
- [25] Callaway R A, Ridenour W M. Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2004(2): 436-443.
- [26] Schulz M, Marocco A, Tabaglio V, et al. Benzoxazinoids in rye allelopathy-from discovery to application in sustainable weed control and organic farming[J]. Journal of Chemical Ecology, 2013: 1-21.
- [27] Narwal S S. Allelopathy Update[M]. New Hampshire: Science Publishers, 1999: 203-281.
- [28] Caamal-Maldonado J A, Jiménez-Osornio J J, Torres-Barragán A, et al. The use of allelopathic legume cover and mulch species for weed control in cropping systems[J]. Agronomy Journal, 2001, 93(1): 27-36.
- [29] Lin W X, He H Q, Guo Y C, et al. Rice allelopathy and its physiobiochemical characteristics[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2001, 6: 871-879.
- [30] Vogel K P, Mitchell R B. Heterosis in switchgrass: Biomass yield in swards[J]. Crop Science, 2008, 48(6): 2159-2164.
- [31] Roque L, Brummer E C, Burras C L, et al. Effects of nitrogen fertilization on biomass yield and quality in large fields of established switchgrass in southern Iowa, USA[J]. Biomass and Bioenergy, 2008, 32: 1187-1194.
- [32] Vogel K P, Brejda J J, Walters D T, et al. Switchgrass biomass production in the midwest USA[J]. Agronomy Journal, 2002, 94(3): 413-420.
- [33] Schmer M R, Vogel K P, Mitchell R B, et al. Establishment stand thresholds for switchgrass grown as a bioenergy crop[J]. Crop Science, 2006, 46(1): 157-161.
- [34] 徐炳成, 山仑, 李凤民. 黄土丘陵半干旱区引种禾草柳枝稷的生物量与水分利用效率[J]. 生态学报, 2005, 25(9): 2206-2213.
- [35] 范希峰, 侯新村, 左海涛, 等. 边际土地类型及移栽方式对柳枝稷苗期生长的影响[J]. 草业科学, 2010(1): 97-102.
- [36] 沈文彤, 王静, 张蕴薇, 等. 种植行距与施肥量对柳枝稷产量及粗蛋白质含量的影响[J]. 草地学报, 2010, 18(4): 594-597.
- [37] An Y, Ma Y Q, Shui J F. Switchgrass (*Panicum virgatum* L.) plants and switchgrass residue reduce the biomass and density of associated weeds[J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science, 2013, 63(2): 107-113.
- [38] Junttila O. Allelopathy in *Heracleum laciniatum*: inhibition of lettuce seed germination and root growth[J]. Physiol Plantarum, 1975, 33(1): 22-27.
- [39] Barnes J P, Putnam A R. Evidence for allelopathy by residues and aqueous extracts of rye (*Secale cereale*) [J]. Weed Science, 1986, 34(3): 384-390.
- [40] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls[J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(1): 181-187.
- [41] 安韶山, 黄懿梅, 李壁成, 等. 用典范相关分析研究宁南宽谷丘陵区不同土地利用方式土壤酶活性与肥力因子的关系[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 704-709.
- [42] Leather G R, Einhelling F A. Bioassays in the study of allelopathy[C]//Putman A R and Tang C S. The Science of Allelopathy. New York: John Wiley and Sons, 1986: 133-145.
- [43] Williamson G B, Richardson D. Bioassays for allelopathy: Measuring treatment responses with independent controls[J]. Journal of Chemistry Ecology, 1988, 14(1): 181-187.
- [44] Blanco J A. The representation of allelopathy in ecosystem-level forest models[J]. Ecological Modelling, 2007, 209(2): 65-77.
- [45] Chung I M, Miller D A. Natural herbicide potential and alfalfa residue on selected weed species[J]. Agronomy Journal, 1995, 87: 920-925.
- [46] An Y, Ma Y Q, Shui J F. Switchgrass root exudates have allelopathic potential on lettuce germination and seedling growth[J]. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil and Plant Science, 2013, 63(6): 497-505.
- [47] Putnam A R, de Frank J, Barnes J P. Exploitation of allelopathy for weed control in annual and perennial cropping systems[J]. Journal of Chemical Ecology, 1983, 9(8): 1001-1010.
- [48] Fujii Y. The potential biological control of paddy weeds with allelopathy: Allelopathic effect of some rice varieties[C]//Proceedings of the International Symposium for Biological Control and Integrated Management of Paddy and Aquatic Weeds in Asia, National Agricultural Research Centre, Tsukuba, Japan. Food and Fertilizer Technology Centre for the Asian and Pacific Region, China, 1992: 305-320.
- [49] Leather G R, Einhellig F A. Mechanisms of allelopathic action in bioassay[J]. ACS Symposium Series, 1985, 268: 197-205.
- [50] 安雨, 税军峰, 马永清. 引种牧草柳枝稷对生菜化感作用初探[J]. 西北农业学报, 2011, 20(2): 143-149.

Study on Effect of Allelopathic Different Lines Switchgrass Shoots

ZHONG Wen-jin¹, MA Yong-qing^{1,2}, AN Yu¹

(1. College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: Taking 10 lines switchgrass (YQ1, YQ2, YQ3, YQ4, YQ5, YQ6, YQ8, YQ11, YQ12, YQ13) and 2 USA varieties (Cave-in-Rock and Nebraska 28) as materials, using the dish culture method, Allelopathic potential was evaluated according to the effect of the aqueous extracts through the analysis of the shoots of 10 lines switchgrass on lettuce (*Lactuca sativa* L.) seed germination and seedling growth. The results showed that the allelopathic potential in different

广西猫儿山典型森林景观美学评价

赵明秀¹, 张晓敏¹, 史梅容², 魏彦会¹, 李海防¹

(1. 桂林理工大学 旅游学院, 广西 桂林 541004; 2. 南宁职业技术学院, 广西 南宁 530008)

摘要:选取广西猫儿山国家级自然保护区的高山矮林、高山杜鹃林、水青冈林、木荷林、杉木林和毛竹林 6 种典型森林景观, 运用层次分析法(AHP 法)进行美学评价。结果表明:在猫儿山典型森林景观美学评价指标体系中, 生态价值占主要地位, 其次是美学价值; 现代森林景观美学更注重森林景观自身的生态价值, 传统审美观已经改变; 6 种森林景观中, 高山矮林由于其强大的生态价值, 综合评价分值最高, 处于美学极佳等级, 而其它 5 种典型森林景观都处于优美等级; 植物物种多样性和原始森林风貌是影响猫儿山森林景观美学评价的重要景观要素, 毛竹林和高山杜鹃林是猫儿山后期旅游开发的重点。该研究旨在深入认识猫儿山自然保护区森林景观美学价值, 探讨不同类型森林景观美学价值的主要影响因子, 以期为猫儿山生态旅游的深层次开发提供理论依据。

关键词:猫儿山; 森林景观; 美学评价

中图分类号:S 759.92 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)18-0084-04

森林景观是猫儿山国家级自然保护区生态旅游开发的重要资源, 其美学价值的高低直接影响景区对游客的吸引力及生态旅游的可持续发展^[1]。目前, 森林景观美学评价方法多采用描述因子法, 如张伟^[2]采用国内较为流行的描述因子法, 就灵石山国家森林公园的森林

景观进行美学评价; 陈鑫峰等^[3]以京西山区主要林内景观类型为评价对象, 采用大众评判法获得公众对每个林内景观的喜好度值^[3]。这些美学评价从不同角度建立较为科学的、系统的景观评价体系。

猫儿山国家级自然保护区是广西重点森林生态保护区, 主要保护对象为原生性亚热带常绿阔叶林森林生态系统, 森林景观资源丰富多样, 每年吸引大量游客。但猫儿山森林景观资源的开发尚处于初级阶段, 森林旅游景观的下一步开发方向有待研究。因而, 该研究以广西猫儿山国家级自然保护区典型森林景观为研究对象, 应用层次分析法(AHP 法)对森林景观美学进行了量化等级评价, 对进一步认识保护区森林景观资源的美学价值, 探讨不同类型森林景观美学价值的主要影响因子, 为森林生态旅游深层次开发提供理论依据, 更好地促进地区生态旅游的可持续开发。

第一作者简介:赵明秀(1990-), 女, 山东淄博人, 硕士研究生, 研究方向为风景名胜与游憩景观规划设计理论与方法。E-mail: 342451643@qq.com.

责任作者:李海防(1974-), 男, 山东莱阳人, 博士, 教授, 硕士生导师, 现主要从事生态学及景观生态学教学与科研工作。E-mail: lihaifang@glte.edu.cn.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41261006); 国家科技支撑计划课题资助项目(2012BAC16B04); 广西科技攻关计划课题资助项目(桂科攻 1298006-3)。

收稿日期:2014-05-19

lines or cultivars was different. Cave-in-Rock displayed stronger allelopathic potential than Nebraska 28. The allelopathic effect of lines switchgrass declined with extracts diluted. The aqueous extracts from the switchgrass shoots had a strong allelopathic inhibition on radicle growth with the maximum inhibiting rate (RI) of 60%. In contrast, aqueous extracts from the switchgrass shoots generally promoted coleoptile growth, and the maximum promoting rate (RI) was 48.1%. YQ5, YQ13, Cave-in-Rock displayed strong allelopathic potential, and compared with control the differences were significant. Cluster analysis showed that lines or cultivars of switchgrass on-test can be divided into 3 classes; YQ13 and YQ5 had the highest allelopathic potential among the switchgrass cultivars; YQ12, YQ11, YQ8, YQ6 and YQ4 with the medium allelopathic potential; YQ3, YQ2 and YQ1 with the weakest allelopathy.

Keywords: switchgrass; lettuce; distilled water extracts; allelopathy