

卢玉鹏, 黄国华, 高柱, 等. 中华猕猴桃叶浸提液对4种生草化感作用及化感物质鉴定[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(22): 237-244.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.22.032

中华猕猴桃叶浸提液对4种生草化感作用 及化感物质鉴定

卢玉鹏¹, 黄国华^{1,2}, 高柱^{1,3}, 毛积鹏¹, 林孟飞¹, 王小玲¹

(1. 江西省科学院生物资源研究所, 江西南昌 330096; 2. 南昌航空大学环境与化学工程学院, 江西南昌 330063;
3. 井冈山生物技术研究院, 江西吉安 343016)

摘要:选择生草构建猕猴桃果园生草模式时,果树对生草的化感作用是必须考虑的问题。以2个中华猕猴桃品种(红阳、金艳)和4种常见生草(白三叶、紫花苜蓿、黑麦草、波斯菊)为研究对象,通过3种浓度(0.01、0.05、0.10 g/mL)的猕猴桃叶片水浸提液喷施处理,观测生草种子萌发和幼苗生长状况,并采用GC-MS技术鉴定化感物质。结果表明,红阳和金艳猕猴桃叶浸提液处理均可以不同程度地促进紫花苜蓿、黑麦草和波斯菊的种子萌发,提高发芽率、发芽势和发芽指数。红阳对白三叶的发芽有抑制作用,发芽率下降了8%~17%。金艳对白三叶发芽影响为“低促高抑”,中低浓度发芽率、发芽势和发芽指数提高0~6%,高浓度降低4%~5%。2种处理对黑麦草和白三叶幼苗生长有促进作用,可以提高根长、苗高和单株鲜质量、干质量;而对波斯菊和紫花苜蓿的幼苗生长有抑制作用,根长、苗高和单株鲜质量降低。红阳猕猴桃叶浸提液中主要的化感物质为含2,3-丁二醇和2,4-二叔丁基苯酚,金艳为邻苯二甲酸二辛酯、2,4-二叔丁基苯酚和2,3-丁二醇。猕猴桃果园林下适宜种植黑麦草。种植波斯菊和紫花苜蓿时,应注意补充水肥促进幼苗生长。种植白三叶时,应增加种植密度以弥补发芽率不足。

关键词:中华猕猴桃;生草;化感作用;种子萌发;幼苗生长;化感物质

中图分类号:S184;S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)22-0237-08

猕猴桃(*Actinidia*)是一种原产于中国的特色水果,目前我国多个省份均有种植^[1]。其中,红肉和黄肉猕猴桃多种植于长江流域,夏季高温和季节性干旱是影响果树生长和果实发育的不利因素。果园生草是一种被国内外广泛应用的果园管理措施,具有降温增湿、保持水土、抑制杂草等功效^[2-4]。因此,在猕猴桃果园套种生草植物可以有效提高果树对高温和干旱的抵抗力。但在构建果园生草模式时,选择适宜的生草种类至关重要^[5]。除了适宜果园的气候和土壤环境,果树的影响也是必须考虑的因素之一。在果园中,果树可以通过雨水淋溶、挥发、根系分泌等方式释放次生代谢物,对其他植

物产生有害或有益的影响,即为化感作用^[6],而猕猴桃的化感作用已在多项研究中证实。寻蓓蓓等以秦美猕猴桃为研究对象,发现其叶片浸提液对油菜(*Brassica napus*)、莴笋(*Lactuca sativa*)、白菜(*Brassica rapa* var. *chinensis*)的幼苗生长有“低浓度促进,高浓度抑制”的双重作用^[7]。Hashimoto等认为,海沃德猕猴桃的修剪枝条对家独行菜(*Lepidium sativum*)、莴苣(*Lactuca sativa*)等植物的生长具有抑制作用,且浓度越高抑制作用越强^[8]。Okada等认为,海沃德猕猴桃叶片提取物对猕猴桃幼苗、家独行菜、莴苣等植物的生长有抑制作用^[9],李文彬还分离出生长抑制物质表儿茶素(epicatechin)和槲皮苷(queritrin)^[10]。秦美和海沃德均属于绿肉的美味猕猴桃(*A. deliciosa*)品系,而关于中华猕猴桃(*A. chinensis*)的化感作用研究较少。中华猕猴桃是我国猕猴桃商业化栽培的主要品系之一,红阳和金艳均属中华猕猴桃品系,且分别是红肉和黄肉猕猴桃代表品种,在江西、湖北、湖南、四川、贵州等长江流域省份广泛种植,往往受高温和干旱等极端天气的影响^[11-12]。因此,本研究以红阳和金艳共2个猕猴桃品种,以及白三叶、紫花苜蓿、黑麦草、波斯菊

收稿日期:2023-01-10

基金项目:江西省科学院科技专项(编号:2020YYB05、2021YSBG21020、2022YJC2003、2020-GDRC-1);江西省重点研发计划重点项目(编号:20212BBF61006)。

作者简介:卢玉鹏(1992—),男,山东泰安人,博士,助理研究员,主要从事果园生态系统复合经营模式构建研究。E-mail: luyup1992@163.com。

通信作者:王小玲,研究员,主要从事猕猴桃果园生态栽培和采后储藏保鲜研究。E-mail: wangxiaoling1979@126.com。

共 4 种常见的生草绿肥作物为研究对象,分析猕猴桃对生草植物种子萌发和幼苗生长的影响,并对化感物质进行鉴定,筛选出适宜的生草植物种类,为构建科学的猕猴桃果园生草模式提供科学依据,进而提高果园应对高温和干旱等不利条件的能力。

1 材料与方法

1.1 供试材料

选择江西省奉新县江西省科学院猕猴桃产业基地(28°40′36″ N, 115°19′02″ E)种植的红阳和金艳共 2 个猕猴桃品种为研究对象。红阳猕猴桃是红肉猕猴桃的代表品种之一,金艳猕猴桃是黄肉猕猴桃的代表品种之一,二者是我国长江流域广泛栽植的猕猴桃品种。选择白三叶(*Trifolium repens*)、黑麦草(*Lolium perenne*)、紫花苜蓿(*Medicago sativa*)和波斯菊(*Cosmos bipinnatus*)共 4 种果园中广泛种植的生草作为受体植物,生草种子购于北京一花园艺有限公司。

1.2 中华猕猴桃叶浸提液制备

于 2022 年 4 月采集猕猴桃新鲜叶片,带回实验室后风干至恒质量,粉碎后过 1 mm 筛。参考寻蓓蓓等的研究方法^[7],分别称取 50 g 红阳和金艳猕猴桃叶片粉末,装入广口瓶中,加入 500 mL 蒸馏水,密封后放入超声波清洗器,25 ℃ 提取 30 min。提取后放入恒温振荡机,25 ℃ 振荡 24 h。采用定量滤纸和滤元单位为 0.45 μm 的滤膜双重过滤后即得浓度为 0.1 g/mL 的浸提液,分别用蒸馏水稀释 2 倍、10 倍后即分别得浓度为 0.05、0.01 g/mL 的浸提液。

1.3 生草种子萌发和幼苗生长试验

参照卢艳敏等的研究方法^[13],采用培养皿滤纸法进行试验。分别选取均一饱满的 4 种生草种子 50 粒,均匀地铺在垫有 2 层滤纸的培养皿上。每种生草种子共设置 6 个处理(即浓度为 0.01、0.05、0.10 g/mL 的红阳猕猴桃和金艳猕猴桃叶浸提液)和 1 个空白对照(蒸馏水),每个处理设置 3 个重复。试验组每个处理加入 5 mL 对应浓度的浸提液,对照组加入等量的蒸馏水,统一放入设置条件为 25 ℃ 恒温,光照 14 h、黑暗 10 h 交替的人工气候培养箱中。每隔 12 h 观察种子的发芽情况,判定发芽标准为胚根或胚轴突破种皮 1~2 mm,并补充浸提液(对照组补充蒸馏水)2 mL 以保持湿润。连续观察 72 h 并每隔 12 h 记录种子的萌发情况,并计算发芽率、发芽势和发芽指数。

参照余婷等的研究方法^[14],培养 7 d 后,每个培养皿中选取 10 株幼苗,吸干水分后测量根长、苗高和鲜质量。采用烘箱 105 ℃ 杀青 0.5 h 后 80 ℃ 恒温干燥至恒质量,测定干质量。

1.4 中华猕猴桃叶浸提液化感物质鉴定

参照邹彩霞等的研究方法^[15-16],将双重过滤后的浸提液用乙酸乙酯萃取 3 次,合并萃取液,用无水 Na₂SO₄ 过夜处理以去除萃取液中的水分。采用气相色谱质谱联用仪(GC-MS,美国安捷伦科技有限公司,5977A)测定萃取液中的化学物质,测试条件参照卢玉鹏等的研究方法^[16]。分析结果采用谱图库检索以确定化合物,采用峰面积归一化法求得各成分相对百分比含量,每种浸提液测定 3 次重复。

1.5 数据分析

发芽率(*GR*)计算公式为 $GR = (\text{发芽种子总数} / \text{供试种子总数}) \times 100\%$ (即培养 72 h);

发芽势(*GE*)计算公式为 $GE = (\text{培养时间的} 1/3 \text{ 期间发芽种子总数} / \text{供试种子总数}) \times 100\%$ (即培养 24 h);

发芽指数(*GI*)计算公式为 $GI = \sum (G_t / D_t)$ 。

式中: G_t 表示 t 时间(h)的种子发芽数; D_t 表示对应的发芽时间。

采用隶属函数值法,综合分析不同浓度的猕猴桃叶浸提液对 4 种生草种子的发芽率、发芽势、发芽指数,幼苗的根长、苗高、单株鲜质量、干质量的影响^[7,17]。计算公式为 $X_{(ij)} = (X_{ij} - X_{j\min}) / (X_{j\max} - X_{j\min})$ 。式中: $X_{(ij)}$ 表示隶属函数值; X_{ij} 表示 i 处理 j 指标的测定值; $X_{j\min}$ 表示 j 指标的最小值; $X_{j\max}$ 表示 j 指标的最大值。 X_{ij} 为正表示存在促进作用,反之则表示存在抑制作用,且数值的绝对值越大作用越强。

采用 SPSS 26 软件对不同处理进行单因素方差分析,以检验不同处理结果间的差异显著性,作图采用 Excel 软件。

2 结果与分析

2.1 中华猕猴桃叶浸提液对 4 种果园生草种子萌发的影响

红阳猕猴桃叶浸提液喷施处理均可以不同程度地促进波斯菊、黑麦草和紫花苜蓿的种子萌发(表 1)。对于波斯菊而言,低浓度(0.01 g/mL)处理对种子萌发促进作用最强,发芽指数、发芽率、发芽势分别提高 55%、65%、75%。而中浓度(0.05 g/mL)和高浓度(0.1 g/mL)处理对种子萌发促进作用相对较

弱,发芽指数、发芽率分别提高 14%、24% 和 15%、24%。对于黑麦草而言,3 种浓度处理对种子萌发促进作用较弱,发芽势提高了 25% ~ 29%,但发芽指数和发芽率提高幅度均在 10% 以下。对于紫花苜蓿而言,中高浓度处理对种子萌发促进作用较强,发芽指数、发芽率和发芽势分别提高 30% ~

39%、10% ~ 13%、36% ~ 44%。低浓度处理对种子萌发促进作用较弱,发芽指数、发芽率、发芽势分别提高 24%、4%、18%。对于白三叶而言,高浓度处理会显著抑制种子萌发,发芽率降低 17%。中低浓度处理种子发芽率降低 8%,但发芽指数和发芽势升高,幅度均在 11% 以下。

表 1 红阳猕猴桃叶浸提液对受体种子萌发的影响

| 受体植物 | 浓度 (g/mL) | 发芽指数 | 发芽率 (%) | 发芽势 (%) |
|------|-----------|---------------|----------|---------|
| 波斯菊 | 0(CK) | 38.50 ± 5.69c | 49 ± 5c | 40 ± 2c |
| | 0.01 | 59.67 ± 5.97a | 81 ± 2a | 70 ± 3a |
| | 0.05 | 44.00 ± 4.39b | 61 ± 3b | 46 ± 2b |
| | 0.10 | 44.17 ± 3.78b | 61 ± 6b | 40 ± 1c |
| 黑麦草 | 0(CK) | 63.17 ± 3.57b | 91 ± 2c | 77 ± b |
| | 0.01 | 64.50 ± 4.69b | 100 ± 0a | 99 ± 1a |
| | 0.05 | 64.33 ± 4.56b | 99 ± 1a | 96 ± 2a |
| | 0.10 | 67.50 ± 5.44a | 97 ± 1b | 97 ± 2a |
| 白三叶 | 0(CK) | 64.50 ± 4.95b | 84 ± 2a | 67 ± 4b |
| | 0.01 | 71.00 ± 7.82a | 77 ± 3b | 72 ± 2a |
| | 0.05 | 70.00 ± 6.97a | 77 ± 2b | 73 ± 3a |
| | 0.10 | 65.33 ± 3.58b | 70 ± 2c | 68 ± 4b |
| 紫花苜蓿 | 0(CK) | 51.33 ± 5.40d | 71 ± 2c | 50 ± 3d |
| | 0.01 | 63.50 ± 4.38c | 74 ± 1b | 59 ± 5c |
| | 0.05 | 71.33 ± 4.98a | 78 ± 2a | 72 ± 2a |
| | 0.10 | 66.83 ± 3.67b | 80 ± 2a | 68 ± 3b |

注:不同小写字母表示同一受体不同浓度处理之间存在显著差异($P < 0.05$),下表同。

与红阳猕猴桃叶浸提液处理结果相似,金艳猕猴桃叶浸提液处理均可以不同程度地促进波斯菊、黑麦草和紫花苜蓿的种子萌发(表 2)。对于波斯菊而言,3 种浓度处理对种子萌发促进作用均较强,发芽指数、发芽率、发芽势分别提高 25% ~ 37%、37% ~ 47%、27% ~ 34%。对于黑麦草而言,3 种浓度处理对种子萌发促进作用较弱,发芽势提高 22% ~ 26%,但发芽指数和发芽率提高幅度均在 4% 以下。对于紫花苜蓿而言,低高浓度处理对种子萌发促进作用较强,发芽指数、发芽率、发芽势分别提高 31% ~ 32%、14% ~ 21%、22% ~ 36%;而中浓度处理对种子萌发的促进作用较弱,发芽指数和发芽率提高幅度均在 10% 以下。对于白三叶而言,高浓度处理会抑制种子萌发,发芽指数、发芽率、发芽势分别降低 4%、5%、4%;中低浓度处理会促进种子萌发,但促进作用较弱,发芽指数、发芽率和发芽势提高幅度均在 6% 以下。

表 2 金艳猕猴桃叶浸提液对受体种子萌发的影响

| 受体植物 | 浓度 (g/mL) | 发芽指数 | 发芽率 (%) | 发芽势 (%) |
|------|-----------|---------------|---------|---------|
| 波斯菊 | 0(CK) | 38.50 ± 3.56d | 49 ± 3c | 41 ± 2c |
| | 0.01 | 50.83 ± 2.78b | 72 ± 2a | 52 ± 2b |
| | 0.05 | 52.67 ± 3.64a | 67 ± 1b | 52 ± 3b |
| | 0.10 | 48.00 ± 3.71c | 68 ± 1b | 55 ± 2a |
| 黑麦草 | 0(CK) | 63.17 ± 1.27b | 96 ± 2b | 77 ± 3c |
| | 0.01 | 64.50 ± 1.36a | 97 ± 1b | 97 ± 2a |
| | 0.05 | 63.33 ± 1.19b | 97 ± 2b | 94 ± 2b |
| | 0.10 | 64.00 ± 1.78a | 99 ± 1a | 95 ± 1b |
| 白三叶 | 0(CK) | 64.50 ± 3.57b | 84 ± 2b | 67 ± 2c |
| | 0.01 | 65.00 ± 3.28b | 88 ± 1a | 71 ± 2a |
| | 0.05 | 68.00 ± 2.34a | 88 ± 2a | 69 ± 1b |
| | 0.10 | 62.00 ± 2.26c | 80 ± 1c | 64 ± 1d |
| 紫花苜蓿 | 0(CK) | 51.33 ± 3.57c | 71 ± 2d | 50 ± 2c |
| | 0.01 | 67.17 ± 4.38a | 81 ± 2b | 68 ± 3a |
| | 0.05 | 56.17 ± 2.49b | 75 ± 3c | 49 ± 2c |
| | 0.10 | 67.50 ± 3.69a | 86 ± 2a | 61 ± 3b |

2.2 中华猕猴桃叶浸提液对 4 种果园生草幼苗生长的影响

红阳猕猴桃叶浸提液处理会抑制波斯菊和紫花苜蓿幼苗生长,促进黑麦草和白三叶的幼苗生长(表 3)。对于波斯菊而言,高浓度处理对根系生长抑制作用最强,根长减少 31%;中浓度处理对地上部分生长抑制作用最强,苗高减少 15%;低浓度处理对幼苗质量抑制作用最强,单株鲜质量和干质量分别降低 15%、14%。对于紫花苜蓿而言,3 种浓度处理均会抑制幼苗根系生长和植株鲜质量积累,且浓度越高,抑制作用越强,浓度由低到高,幼苗根长

分别减少 19%、36%、41%,单株鲜质量分别减少 17%、24%、25%。对于黑麦草而言,低浓度处理对幼苗生长促进作用最强,根长和苗高分别提高 41%、16%,单株鲜质量和干质量分别提高 30%、40%;中浓度处理的促进作用相对较弱,根长和苗高分别提高 26%、11%,单株鲜质量和干质量分别提高 15%、13%;高浓度处理对幼苗生长的影响作用最差。对于白三叶而言,中低浓度处理会促进幼苗根系生长和植株鲜质量积累,根长和单株鲜质量分别提高 23%~32%、11%~24%。

表 3 红阳猕猴桃叶浸提液对受体幼苗生长的影响

| 受体植物 | 浓度 (g/mL) | 根长 (cm) | 苗高 (cm) | 单株鲜质量 (mg) | 单株干质量 (mg) |
|------|-----------|---------------|----------------|----------------|--------------|
| 波斯菊 | 0(CK) | 5.77 ± 1.80a | 7.52 ± 2.15a | 62.81 ± 23.17a | 3.83 ± 1.57b |
| | 0.01 | 4.53 ± 1.83b | 6.89 ± 1.53c | 53.33 ± 17.08b | 3.30 ± 1.05b |
| | 0.05 | 4.77 ± 1.54b | 6.39 ± 0.90c | 66.13 ± 15.29a | 4.33 ± 0.98a |
| | 0.10 | 3.99 ± 0.57c | 7.16 ± 1.08b | 56.03 ± 9.08b | 3.52 ± 0.58b |
| 黑麦草 | 0(CK) | 5.95 ± 1.80b | 9.17 ± 1.78b | 32.69 ± 6.77b | 3.57 ± 1.26c |
| | 0.01 | 8.36 ± 1.93a | 10.61 ± 0.65a | 42.59 ± 7.13a | 4.99 ± 2.04a |
| | 0.05 | 7.51 ± 2.27ab | 10.21 ± 0.84ab | 37.74 ± 5.92ab | 4.03 ± 1.98b |
| | 0.10 | 5.10 ± 2.26c | 10.04 ± 1.06ab | 34.47 ± 8.22b | 3.85 ± 1.49b |
| 白三叶 | 0(CK) | 1.43 ± 0.25b | 2.48 ± 0.34b | 8.70 ± 1.50c | 0.52 ± 0.11a |
| | 0.01 | 1.89 ± 0.25a | 2.45 ± 0.46b | 10.80 ± 1.69a | 0.46 ± 0.15a |
| | 0.05 | 1.76 ± 0.33a | 2.47 ± 0.44b | 9.70 ± 1.51b | 0.40 ± 0.09a |
| | 0.10 | 1.31 ± 0.41b | 2.66 ± 0.37a | 10.09 ± 2.00b | 0.50 ± 0.17a |
| 紫花苜蓿 | 0(CK) | 3.88 ± 0.94a | 3.70 ± 0.62b | 32.38 ± 8.92a | 1.30 ± 0.28b |
| | 0.01 | 3.13 ± 0.80b | 4.33 ± 0.89a | 26.80 ± 5.87b | 1.24 ± 0.22c |
| | 0.05 | 2.47 ± 0.88c | 3.52 ± 0.98b | 24.58 ± 3.05b | 1.47 ± 0.18a |
| | 0.10 | 2.28 ± 0.80c | 4.01 ± 0.69b | 24.37 ± 6.83b | 1.55 ± 0.21a |

与红阳猕猴桃叶浸提液处理结果相似,金艳猕猴桃叶浸提液处理会抑制波斯菊和紫花苜蓿幼苗生长,促进黑麦草和白三叶的幼苗生长(表 4)。对于波斯菊而言,高浓度处理对对幼苗生长的抑制作用最强,根长、苗高、单株鲜质量分别降低 34%、11%、17%;中低浓度处理的抑制作用相对较弱,根长降低 15%~23%,而苗高和单株鲜质量的降低幅度均在 6% 以下。对于紫花苜蓿而言,浓度由低到高对幼苗生长的抑制作用逐渐增强,根长分别减少 41%、49%、51%,单株鲜质量分别减少 4%、16%、19%。对于黑麦草而言,高浓度处理对幼苗生长的促进作用最强,根系和苗高分别提高 36%、27%,单株鲜质量和干质量分别提高 35% 和 18%;低浓度处理次之,根长和苗高分别提高 36%、12%,单株鲜质

量和干质量分别提高 11% 和 28%;而中浓度处理的促进作用相对较弱,根长、苗高、单株鲜质量分别提高 30%、6%、17%。对于白三叶而言,中低浓度处理会促进幼苗生长,低浓度处理促进作用较强,根长、苗高、单株鲜质量分别提高 26%、4%、22%,中浓度处理根长、苗高、单株鲜质量分别提高 3%、14%、13%。

2.3 中华猕猴桃叶浸提液化感作用综合评价

采用隶属函数数值法分析猕猴桃叶浸提液对 4 种生草种子萌发和幼苗生长的综合影响。根据隶属函数值计算结果,将试验组函数值减去对照组函数值,所得的差值为正,表示试验处理有促进作用,反之则表示有抑制作用,数值的绝对值越大作用越强。红阳猕猴桃叶浸提液处理对白三叶的种子萌发和幼苗生长抑制作用较强,且浸提液浓度越高,

表4 金艳猕猴桃叶浸提液对受体幼苗形态指标的影响

| 受体植物 | 浓度 (g/mL) | 根长 (cm) | 苗高 (cm) | 单株鲜质量 (mg) | 单株干质量 (mg) |
|------|-----------|---------------|----------------|-----------------|--------------|
| 波斯菊 | 0 (CK) | 5.77 ± 1.80a | 7.52 ± 2.15a | 62.81 ± 23.17a | 3.83 ± 1.57b |
| | 0.01 | 4.88 ± 1.76a | 7.11 ± 1.12a | 59.86 ± 12.61a | 4.42 ± 1.09a |
| | 0.05 | 4.42 ± 1.68ab | 7.18 ± 0.94a | 60.38 ± 10.19a | 4.60 ± 1.57a |
| | 0.10 | 3.83 ± 1.56b | 6.71 ± 1.17a | 52.12 ± 12.87a | 4.29 ± 1.23a |
| 黑麦草 | 0 (CK) | 5.95 ± 1.80b | 9.17 ± 1.78b | 32.69 ± 6.77b | 3.57 ± 1.26b |
| | 0.01 | 8.09 ± 1.56a | 10.27 ± 2.15ab | 36.19 ± 10.29ab | 4.56 ± 1.58a |
| | 0.05 | 7.71 ± 1.34a | 9.73 ± 0.89b | 38.10 ± 5.45ab | 3.52 ± 1.06b |
| | 0.10 | 8.12 ± 0.74a | 11.66 ± 1.24a | 44.01 ± 10.80a | 4.21 ± 1.25a |
| 白三叶 | 0 (CK) | 1.43 ± 0.25b | 2.48 ± 0.34ab | 8.70 ± 1.50c | 0.52 ± 0.11a |
| | 0.01 | 1.80 ± 0.30a | 2.58 ± 0.64ab | 10.61 ± 1.79a | 0.45 ± 0.12a |
| | 0.05 | 1.47 ± 0.30b | 2.83 ± 0.49a | 9.87 ± 2.19b | 0.35 ± 0.08b |
| | 0.10 | 1.25 ± 0.38b | 2.33 ± 0.27b | 8.40 ± 2.29c | 0.45 ± 0.10a |
| 紫花苜蓿 | 0 (CK) | 3.88 ± 0.94a | 3.70 ± 0.62a | 32.38 ± 8.92a | 1.30 ± 0.28b |
| | 0.01 | 2.27 ± 0.88b | 3.73 ± 0.79a | 31.04 ± 7.83a | 1.45 ± 0.20b |
| | 0.05 | 1.99 ± 0.53c | 3.73 ± 0.94a | 27.05 ± 6.76b | 1.24 ± 0.18b |
| | 0.10 | 1.92 ± 0.56c | 3.67 ± 0.71a | 26.36 ± 8.07b | 1.71 ± 0.24a |

抑制作用越强;对黑麦草的促进作用较强,且浓度越低促进作用越强;对紫花苜蓿有较弱的促进作用,高浓度处理对波斯菊有较弱的抑制作用,其他处理影响较小(图1)。

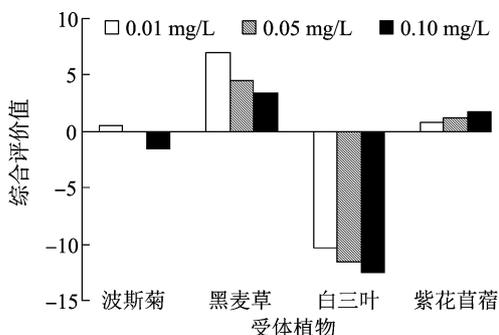


图1 红阳猕猴桃叶浸提液对4种生草的化感作用综合评价

金艳猕猴桃叶浸提液处理对黑麦草的种子萌发和幼苗生长促进作用较强,且浓度越低作用越强。中浓度处理对波斯菊有较弱的促进作用;中低浓度处理对白三叶有较弱的促进作用;低高浓度处理对紫花苜蓿有较弱的促进作用;中浓度处理对紫花苜蓿有较弱的抑制作用;其他处理影响较小(图2)。

2.4 中华猕猴桃叶浸提液化感物质鉴定

根据GC-MS分析结果,红阳和金艳猕猴桃叶浸提液中的化学物质主要为酯类、醇类、酮类、酚类、芳香族杂环有机物和烷烃等(图3)。经查阅文献,确定红阳猕猴桃叶浸提液中主要的化感物质为

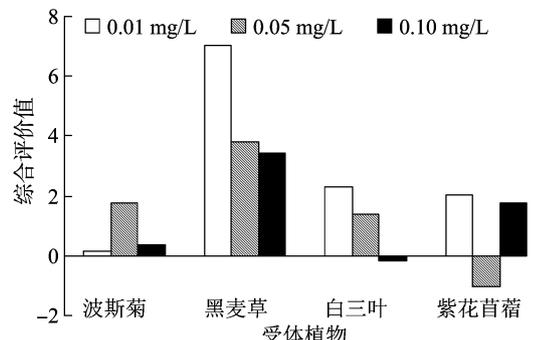


图2 金艳猕猴桃叶浸提液对4种生草的化感作用综合评价

含2,3-丁二醇和2,4-二叔丁基苯酚,相对含量分别为36%、5%。金艳猕猴桃叶浸提液中主要化感物质为邻苯二甲酸二辛酯、2,4-二叔丁基苯酚和2,3-丁二醇,相对含量分别为36%、3%、2%。主要化感物质结构式见图4。

3 讨论

3.1 中华猕猴桃叶浸提液对生草植物的化感作用

由于化感物质浓度和化感受体的不同,对于同一种化感供体,化感作用的结果也会存在差异,甚至是完全相反的结果^[18]。本研究金艳猕猴桃叶浸提液的中低浓度处理均可以提高白三叶的发芽指数、发芽率和发芽势,即促进种子萌发,但高浓度处理会抑制种子萌发,发芽指数、发芽率和发芽势均显著下降。红阳猕猴桃叶浸提液低浓度处理均可

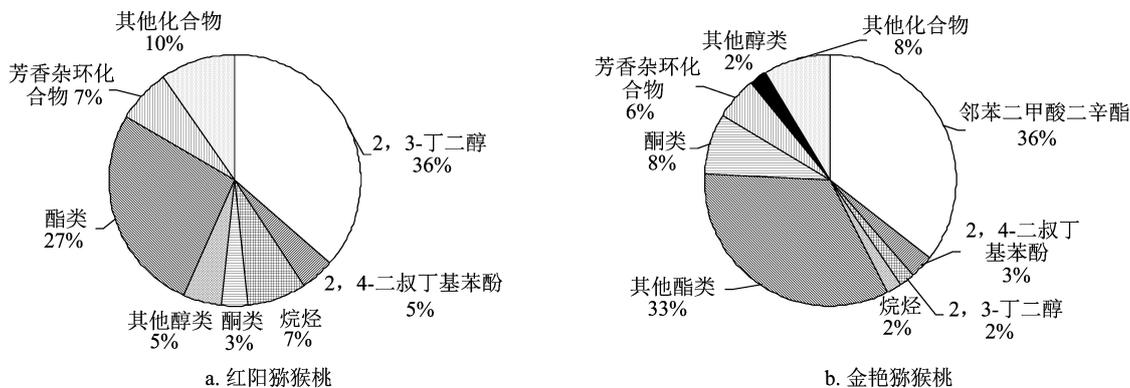


图3 红阳和金艳猕猴桃叶浸提液化学物质组成

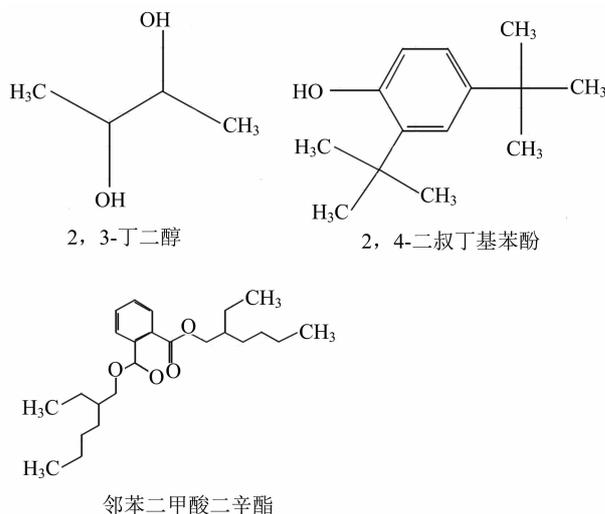


图4 红阳和金艳猕猴桃叶浸提液主要化学物质

以提高黑麦草的根长和苗高,即促进幼苗生长,但中高浓度对苗高影响不显著。此外,红阳浸提液对白三叶,金艳浸提液对波斯菊、白三叶、紫花苜蓿的生长均存在类似浓度差异。“低促高抑”即低浓度处理表现为促进作用,高浓度处理表现为抑制作用,在化感作用研究中普遍存在。寻蓓蓓等认为,0.001 g/mL 秦美猕猴桃叶浸提液处理使油菜、莴笋、小青菜的发芽指数分别增加 10.71%、20.97%、5.20%,而 0.08 g/mL 的处理则使发芽指数分别下降 86.97%、81.81%、96.23%^[7]。10 g/L 的假苍耳 (*Iva xanthifolia*) 叶浸提液处理会提高大籽蒿 (*Artemisia sieversiana*)、稗 (*Echinochloa crusgalli*)、藜 (*Chenopodium album*) 的种子的发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数,而 30、40 g/L 的处理发芽指标显著降低^[19]。在加拿大一枝黄花 (*Solidago canadensis*)、油松 (*Pinus tabuliformis*)、刺槐 (*Robinia pseudoacacia*) 等植物的化感研究中均发现了该现象^[18,20]。

化感作用的结果差异还表现在受体的生长阶段,本研究红阳猕猴桃叶浸提液处理在白三叶和紫花苜蓿的种子萌发阶段表现为促进作用,而在幼苗生长阶段表现为抑制作用,幼苗的根长、苗高和鲜质量下降。金艳猕猴桃叶浸提液处理在紫花苜蓿的种子萌发阶段表现为促进作用,而在幼苗生长阶段表现为抑制作用。此类作用结果差异现象在其他研究中也证实,刘威等认为,白三叶水浸提液处理对黑麦草等种子萌发表现为“低促高抑”,而对根长表现为单一抑制^[21]。石榴 (*Punica granatum*) 叶和黑麦草、狼尾草 (*Pennisetum alopecuroides*) 等浸提液处理对石榴地上部分(枝条)表现为促进作用,而对地下部分(根系)表现为抑制作用^[22]。这种作用结果的差异可能是由化感作用机制差异导致的,如化感作用影响种子的吸胀作用^[23],或导致蛋白质水解,游离氨基酸降低^[24],以及相关酶活性变化^[25],最终体现为种子萌发过程受影响。化感作用会影响胚轴细胞呼吸作用的电子传递,或叶绿素合成、光合作用等过程,最终体现为幼苗生长受影响^[26]。化感作用会影响根尖细胞有丝分裂过程,则根长受影响^[27]。

3.2 中华猕猴桃叶浸提液化感作用机制

植物的化感作用是由供体释放化感物质,影响受体的生理生化活动而实现的,包括光合作用、呼吸作用、水分和营养物质吸收、激素平衡、细胞分裂、抗氧化酶系统等^[25]。因此,揭示化感作用机制的关键就是鉴别化感物质,目前主流学术观点将化感物质分为 14 类,包括简单酚类、黄酮类、生物碱类、萜类等^[26]。本研究中华猕猴桃叶水浸提液中的化学物质主要为酯类、醇类、酮类、酚类、芳香族杂环有机物和烷烃等。其中,2,3-丁二醇、邻苯二甲酸二辛酯和 2,4-二叔丁基苯酚是典型的化感物

质。2,3-丁二醇在假臭草(*Eupatorium catarium*)、三叶鬼针草(*Bidens pilosa*)、兰州百合(*Lilium davidii*)、赖草(*Leymus secalinus*)等多种植物的浸提液中被发现^[28],也可由沙雷氏菌(*Serratia*)、枯草芽孢杆菌(*Bacillus subtilis*)等微生物释放^[29],其可以抑制菊科植物的种子萌发、幼苗生长,抑制太子参(*Pseudostellaria heterophylla*)的根系形成,导致叶片枯黄变软等^[30]。邻苯二甲酸二辛酯属于脂肪酸酯化感物质,在西瓜(*Citrullus lanatus*)、黄顶菊(*Flaveria bidentis*)浸提液中被发现,可以抑制小麦生长,对西瓜幼苗的生长有“低促高抑”的双重作用,对耐旱芽孢杆菌、巨大芽孢杆菌有促进作用,可以提高其丰度、固氮量和解磷量^[31-32]。2,4-二叔丁基苯酚是一种广泛存在于植物、微生物的化合物,如香樟(*Cinnamomum camphora*)、兰州百合、野菊(*Chrysanthemum indicum*)、短花针茅(*Stipa breviflora*)、狗尾草(*Heliotropium indicum*)、胚芽乳杆菌(*Lactobacillus plantarum*)、乳球菌(*Lactococcus*)等^[33-36]。2,4-二叔丁基苯酚对植物、微生物、人体细胞均有广泛的生物活性,且往往表现出“低促高抑”的双重特性^[37]。低浓度的2,4-二叔丁基苯酚可促进啤酒花(*Humulus lupulus*)生长,地上、地下部分、总生物量和日均光合速率均提高,但随着浓度升高,啤酒花的生长被抑制^[38]。

对于其他猕猴桃品种,Okada 等以海沃德猕猴桃叶为研究对象,采用高效液相色谱(HPLC)技术,从叶片水浸提液中分离出表儿茶素和槲皮苷^[9-10]。表儿茶素是一种多酚,对莴苣和猕猴桃幼苗的下胚轴和根生长、萝卜的根系生长有抑制作用。槲皮苷是槲皮素一种糖苷,属于类黄酮物质,而槲皮素对独行菜、莴苣、拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)、黑麦草等植物的生长有抑制作用^[39-40]。红阳和金艳猕猴桃叶浸提液中均未发现此类物质。

3.3 中华猕猴桃化感作用的品种差异

猕猴桃作为一种大规模商业化种植的果树,已培育出多个品种,而不同品种之间,果实、叶片、物候等存在差异^[41-42]。红阳猕猴桃是早熟红心品种,金艳猕猴桃是晚熟黄心品种,且叶片较小^[43]。根据受体的种子萌发和幼苗生长结果,2个品种之间表现趋势接近,如对波斯菊、黑麦草和紫花苜蓿的种子萌发均表现为促进作用,对波斯菊和紫花苜蓿幼苗生长表现为抑制作用,对黑麦草和白三叶的幼苗生长表现为促进作用。但根据化感作用的综合评

价结果,2个品种对白三叶的作用结果不同,红阳猕猴桃叶浸提液处理为单一的抑制作用,而金艳处理为中低浓度促进,高浓度抑制。因此,2个品种的化感作用结果相似但不相同。原因可能是二者浸提液的化感物质存在差异,红阳猕猴桃中2,3-丁二醇含量最高,而金艳猕猴桃中邻苯二甲酸二辛酯含量最高。这种不同果树品种之间的化感作用差异在其他研究中也被发现,乍娜和甘农18号是2个葡萄(*Vitis vinifera*)品种,二者茎叶水浸提液中化感物质存在差异,后者含有特有物质邻苯二甲酸二乙酯。2个品种的茎叶水浸提液对萝卜、莴苣、油菜种子萌发均有化感作用,但作用效果存在差异^[44]。

4 结论

红阳和金艳猕猴桃叶浸提液喷施处理均可以不同程度地促进波斯菊、黑麦草和紫花苜蓿的种子萌发,抑制波斯菊和紫花苜蓿幼苗生长,促进黑麦草和白三叶的幼苗生长。根据综合评价结果可知,红阳和金艳猕猴桃叶浸提液处理对黑麦草的促进作用较强,且金艳强于红阳。红阳对白三叶的抑制作用较强,而金艳对白三叶为“低促高抑”的双重效果。2个品种对4种生草的化感作用结果相似但不相同,在数值上存在差异。中华猕猴桃叶水浸提液中的化学物质主要为酯类、醇类、酮类、酚类、芳香族杂环有机物和烷烃等,主要化感物质为2,3-丁二醇、邻苯二甲酸二辛酯、2,4-二叔丁基苯酚。因此,中华猕猴桃果园林下适宜种植黑麦草。种植波斯菊和紫花苜蓿时,应注意补充水肥促进幼苗生长。种植白三叶时,应增加种植密度以弥补发芽率不足。

参考文献:

- [1] 齐秀娟,郭丹丹,王然,等. 我国猕猴桃产业发展现状及对策建议[J]. 果树学报,2020,37(5):754-763.
- [2] Farmaha B S, Sekaran U, Franzluebbbers A J. Cover cropping and conservation tillage improve soil health in the southeastern United States[J]. Agronomy Journal,2022,114(1):296-316.
- [3] 张华明,王昭艳,杨洁,等. 红壤坡地不同果园套种模式水土保持效果研究[J]. 水土保持研究,2010,17(3):140-143.
- [4] 秦秦,宋科,孙丽娟,等. 猕猴桃园行间生草对土壤养分的影响及有效性评价[J]. 果树学报,2020,37(1):68-76.
- [5] 卢玉鹏,高柱,张小丽,等. 果园生态系统复合经营的开展模式及生态机制综述[J]. 中国果树,2021(12):9-15.
- [6] Muzell Trezzi M, Vidal R A, Balbinot Junior A A, et al. Allelopathy: driving mechanisms governing its activity in agriculture[J]. Journal

- of Plant Interactions, 2016, 11(1): 53–60.
- [7] 寻蓓蓓, 廖超英, 高智辉, 等. 猕猴桃叶超声波水浸提液化感作用的研究[J]. 西北农业学报, 2012, 21(4): 142–148.
- [8] Hashimoto A, Okuda N, Inagaki H, et al. Growth inhibitory activity of pruning branch wastes from kiwifruit cultivation on three weed species [J]. Environment Control in Biology, 2022, 60(1): 79–83.
- [9] Okada S, Iwasaki A, Kataoka I, et al. Phytotoxic activity of kiwifruit leaves and isolation of a phytotoxic substance [J]. Scientia Horticulturae, 2019, 250: 243–248.
- [10] Okada S, Iwasaki A, Kataoka I, et al. Isolation and identification of a phytotoxic substance in kiwifruit leaves [J]. Acta Horticulturae, 2018(1218): 207–212.
- [11] 李文彬. ‘红阳’猕猴桃果实发育转录组及花青素累积机理研究[D]. 武汉: 中国科学院研究生院(武汉植物园), 2015.
- [12] 钟彩虹, 张鹏, 韩飞, 等. 猕猴桃种间杂交新品种‘金艳’的果实发育特征[J]. 果树学报, 2015, 32(6): 1152–1160.
- [13] 卢艳敏, 李会芬. 白三叶草水浸液对黑麦草种子的化感作用[J]. 江苏农业科学, 2012, 40(5): 367–369.
- [14] 余婷, 孟焕文, 温艳斌, 等. 白三叶根系分泌物对 5 种草坪草的化感作用[J]. 草地学报, 2013, 21(4): 729–736.
- [15] 邬彩霞, 刘苏娇, 赵国琦. 黄花草木樨水浸提液中潜在化感物质的分离、鉴定[J]. 草业学报, 2014, 23(5): 184–192.
- [16] 卢玉鹏, 许纪元, 张晓曦, 等. 林下药用植物淋出物对红桦和杜仲枯落物分解及土壤酶活性的影响[J]. 植物生态学报, 2017, 41(6): 639–649.
- [17] 周艳丽, 程智慧, 孟焕文, 等. 大蒜根系水浸液及根系分泌物的化感作用评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2007, 35(10): 87–92.
- [18] 叶小齐, 吴明, 邵学新, 等. 加拿大一枝黄花水提液对玉米幼苗生长的化感作用及其机理[J]. 草业学报, 2014, 23(6): 217–224.
- [19] 李凤兰, 武佳文, 姚树宽, 等. 假苍耳不同部位水浸提液对 5 种土著植物化感作用的研究[J]. 草业学报, 2020, 29(9): 169–178.
- [20] 王仙, 魏天兴, 朱金兆, 等. 黄土丘陵区油松根系化感效应研究[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(4): 82–89.
- [21] 刘威, 陈佳宁, 张帆, 等. 白三叶水浸液对草坪草的化感作用[J]. 东北农业大学学报, 2014, 45(5): 52–58.
- [22] 张曼. 化感效应下适宜于石榴林下的牧草选优研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2022.
- [23] 叶文斌, 樊亮. 党参和黄芪种植地土壤水浸液对蚕豆化感作用的研究[J]. 广东农业科学, 2013, 40(6): 18–21, 28.
- [24] 王亚麒, 陈丹梅, 袁玲. 黄连须根浸提液对莴苣、绿豆和白菜的化感效应[J]. 草业学报, 2015, 24(6): 142–149.
- [25] 王婧怡, 邬彩霞, 赵国琦. 植物化感作用的分子机理及差异蛋白质组学研究进展[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(13): 8–11.
- [26] 杨浩娜, 周成言, 邬腊梅, 等. 植物化感物质的作用机理研究进展[J]. 湖南农业科学, 2022(3): 108–112.
- [27] Yan Z Q, Wang D D, Cui H Y, et al. Phytotoxicity mechanisms of two coumarin allelochemicals from *Stellera chamaejasme* in lettuce seedlings [J]. Acta Physiologiae Plantarum, 2016, 38(10): 248.
- [28] 王旭萍, 刘强, 杨珊. 2 种菊科入侵植物之间的化感作用[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(1): 114–120.
- [29] 袁仁文, 刘琳, 张蕊, 等. 植物根际分泌物与土壤微生物互作关系的机制研究进展[J]. 中国农学通报, 2020, 36(2): 26–35.
- [30] 彭晓倩. 沙雷氏菌 T241 致害太子参的根际化学生物学机制初步研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2016.
- [31] Yang X, Zhang L H, Shi C P, et al. The extraction, isolation and identification of exudates from the roots of *Flaveria bidentis* [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014, 13(1): 105–114.
- [32] 郑阳霞, 唐海东, 李焕秀, 等. 嫁接西瓜根、茎叶的化感效应及化感物质的鉴定[J]. 核农学报, 2011, 25(6): 1280–1285.
- [33] 崔佳佳. 两种典型化感自毒物质对兰州百合生长及微生物作用研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2021.
- [34] Chuah T S, Norhafizah M Z, Ismail B S. Evaluation of the biochemical and physiological activity of the natural compound, 2,4–diter–butylphenol on weeds [J]. Crop and Pasture Science, 2015, 66(2): 214–223.
- [35] 高雪峰, 韩国栋. 根分泌物 2,4–二叔丁基苯酚对短花针茅荒漠草原土壤细菌群落的影响[J]. 生态环境学报, 2019, 28(9): 1731–1738.
- [36] 黄翔杰, 李宇超, 蒋鹏, 等. 野菊根系分泌物的鉴定及其对三种植物的化感效应[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(6): 1061–1065, 1071.
- [37] 陈义娟. 香樟(*Cinnamomum camphora*)叶提取物中杀螨活性物质的分离鉴定及作用机理研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2017.
- [38] 张新慧, 张恩和, 何庆祥, 等. 2,4–二叔丁基苯酚对啤酒花幼苗生长与光合特性的影响[J]. 草业学报, 2008, 17(6): 47–51.
- [39] Kalinova J, Vrchtova N. Level of catechin, myricetin, quercetin and isoquercitrin in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench), changes of their levels during vegetation and their effect on the growth of selected weeds [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(7): 2719–2725.
- [40] Parvez M M, Tomita–Yokotani K, Fujii Y, et al. Effects of quercetin and its seven derivatives on the growth of *Arabidopsis thaliana* and *Neurospora crassa* [J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2004, 32(7): 631–635.
- [41] Xie Q L, Zhang H B, Yan F, et al. Morphology and molecular identification of twelve commercial varieties of kiwifruit [J]. Molecules, 2019, 24(5): 888.
- [42] 刘艳飞, 王中月, 谢利华, 等. 12 个猕猴桃栽培品种在陕西秦巴山区的引种表现[J]. 西北农业学报, 2022, 31(5): 603–611.
- [43] 李秀亚, 宋福兵, 肖钧, 等. 5 个猕猴桃品种在六盘水的生物学特性比较[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(17): 47–51.
- [44] 李文瑾. 葡萄(*Vitis vinifera* L.)化感物质的鉴定及化感作用研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.