

王 宁,冯梦迪,袁美丽,等. 苦苣菜茎叶水浸提液对 3 种草坪植物种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 江苏农业科学,2016,44(1):163-165,230.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.01.046

苦苣菜茎叶水浸提液对 3 种草坪植物种子萌发和幼苗生长的化感作用

王 宁¹,冯梦迪¹,袁美丽²,朱晓琳¹,王小宁¹

(1. 河南科技大学林学院,河南洛阳 471000; 2. 洛阳市隋唐城遗址植物园,河南洛阳 471002)

摘要:采用培养皿滤纸法,以高羊茅(*Festuca elata* Keng ex E. Alexeev)、白车轴草(*Trifolium repens* L.)和紫苜蓿(*Medicago sativa* L.)3 种草坪植物为受体,依据种子发芽率、发芽指数、幼苗苗高和根长等指标,结合化感效应指数的综合效应值,对外来入侵植物苦苣菜(*Sonchus oleraceus* L.)茎叶水浸提液的化感活性进行测定。结果表明,苦苣菜茎叶水浸提液对供试植物产生不同程度的影响;随浸提液浓度的提高,与对照相比,3 种草坪植物种子发芽率、发芽指数、根长及鲜质量、活力指数等均呈逐渐减小趋势,相应化感效应指数显示各项指标均受到抑制作用;幼苗苗高呈先升后降变化趋势,化感效应指数显示其呈“低促高抑”的规律;化感效应指数综合效应值显示,在浸提液浓度低于 12.50% 时,高羊茅受到化感促进作用,其余情况下 3 种受体植物均受到明显的化感抑制作用,其中以白车轴草受到抑制最为明显。

关键词:苦苣菜;化感作用;化感指数;水浸提液;高羊茅;白车轴草;紫苜蓿;种子萌发;幼苗生长

中图分类号:S451;S688.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2016)01-0163-03

生态系统中共存生长的植物之间,除对光照、养分、水分及生存空间等因子产生竞争外,还会通过向环境分泌释放化学物质以影响自身或其他有机体的生长发育,即化感作用^[1]。入侵植物的化感作用早已为人们所认识,并作为外来植物的一种入侵机制越来越引起人们的重视^[2]。化感作用作为外来植物入侵的机制逐渐得到认同,但其理论和应用等尚有许多问题有待解决^[3]。我国对外来入侵植物种类的调查起始于 20 世纪 90 年代中期。强胜等调查显示,截至 2000 年,我国境内外来杂草达 108 种,隶属 23 科 76 属,对我国农林业造成严重危害^[4];朱长山等调查显示,至 2007 年,河南省外来入侵种类为 53 种,其中菊科植物达 14 种之多^[5],这与菊科是被子植物最大的 1 个科及菊科植物多具“致击性”相关^[6-7]。自然界中,水溶性化感物质主要通过雨水或雾滴等淋溶进入土壤而发生化感作用^[8-10],成株化感作用的研究由于受到竞争和化感作用分离方法的限制,而主要集中在提取液对植物种子萌发和幼苗生长的影响^[11]。

苦苣菜(*Sonchus oleraceus* L.)别称滇苦菜、苦莴菜,为菊科苦苣属 1 年生或 2 年生草本植物,原产欧洲,现世界各国均有分布。截至目前,有关苦苣菜化感作用的相关研究相对较少。因此,本试验利用苦苣菜茎叶水浸提液,研究其对 3 种草坪植物种子萌发和幼苗生长的影响,以探讨苦苣菜的化感作用与入侵关系,为替代控制提供理论依据。

1 材料与与方法

收稿日期:2014-12-26

基金项目:河南科技大学 2014 年大学生 SRTP 项目。

作者简介:王 宁(1979—),男,河南鄢陵人,博士,讲师,主要从事园林植物抗逆性相关研究。E-mail:475662628@qq.com。

1.1 材料

2014 年 4 月,在洛阳市河南科技大学周山校区采集发育良好、没有病虫害为害的苦苣菜植株,刷干净灰土、剔除枯黄叶,带回实验室备用。受体植物为高羊茅(*Festuca elata* Keng ex E. Alexeev)、白车轴草(*Trifolium repens* L.)和紫苜蓿(*Medicago sativa* L.),种子来源于郑州华丰草业科技有限公司。

1.2 方法

1.2.1 苦苣菜水浸提液的制备 采集苦苣菜新鲜茎叶,剪刀剪碎;称取 250 g 加入 1 000 mL 蒸馏水,常温下浸泡 48 h;用双层纱布过滤,即得 25% 的苦苣菜鲜样浸提液;同样方法配制出 6.25%、12.50%、50.00% 和 100.00% 苦苣菜鲜样浸提液,4℃ 冰箱中保存,待用。使用前,取出放置一段时间,以避免骤冷对种子产生影响。

1.2.2 试验设计 采用培养皿滤纸法进行种子萌发试验:供试草种用 0.5% K_2MnO_4 溶液浸泡 1 h,蒸馏水冲洗 3 次;选用籽粒饱满、大小均匀的种子,置于铺有 2 层滤纸的培养皿中,每皿放置 100 粒种子;分别加入 10 mL 6.25%、12.50%、25.00%、50.00%、100.00% 浓度的苦苣菜茎叶提取液,以蒸馏水为对照,21℃ 12 h 光照条件培养,每浓度处理 3 个重复;培养期间及时添加相应的浸提液,以免干燥影响种子发芽;以胚芽冲破种皮为发芽,每天记录发芽种子的数量,直到种子不再萌发时测定种子的根长、株高及鲜质量。

1.2.3 测定指标统计 发芽率、发芽指数、活力指数的计算公式分别为:发芽率 = (发芽种子数/供试种子数) × 100%^[12];发芽指数 = $\sum (G_t/D_t)$,其中, G_t 表示第 t 天种子的发芽数, D_t 代表相应的发芽天数^[13];活力指数 = 发芽指数 × 测得的整株幼苗鲜质量^[13]。参照 Williamson 等提出的化感效应指数(RI)^[14]以衡量化感作用的类型和强度, $RI = 1 - C/T$,式中, C 为对照值, T 为处理值; $RI > 0$ 时为促进作用,

$Rf < 0$ 时为抑制作用,绝对值大小反映化感作用的强弱。综合效应(SE)是浸提液对同一植物发芽率、根长、苗高和活力指数 4 个测试项目化感效应指数的算术平均值^[15]。

1.3 数据分析

用 SPSS 13.0 进行统计分析,Duncan 新复极法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 苦苣菜茎叶水浸提液对 3 种草坪植物种子发芽的影响

由表 1 可见,随浸提液浓度的升高,3 种植物种子发芽率及发芽指数均呈下降趋势;50.00% 浸提液处理,高羊茅、白车

轴草及紫苜蓿种子的发芽率及发芽指数与 CK 相比,分别下降了 5.44% 和 18.30%、23.08% 和 73.84%、23.66% 和 46.56%;浸提液浓度为 100% 时,白车轴草和紫苜蓿种子均未能发芽,这表明其受到的抑制作用达到最大;苦苣菜茎叶提取液对 3 种植物种子萌发的化感作用,仅 6.25% 浸提液对白车轴草种子的萌发有促进作用外,其他浓度浸提液对 3 种植物种子的萌发均呈抑制作用,且随浓度升高抑制作用增强;相同浓度浸提液处理中,白车轴草和紫苜蓿与高羊茅相比,其种子萌发受到的抑制作用相对较强,50.00% 浸提液处理的高羊茅发芽率化感效应指数绝对值为 0.05,而白车轴草及紫苜蓿则分别为 0.23、0.24。

表 1 苦苣菜茎叶水浸提液对 3 种草坪植物种子发芽率、发芽指数的影响

| 水浸提液浓度(%) | 高羊茅 | | | 白车轴草 | | | 紫苜蓿 | | |
|-----------|---------|-----------|--------|--------|-----------|--------|---------|-----------|--------|
| | 发芽率(%) | 发芽指数(%/d) | 化感效应指数 | 发芽率(%) | 发芽指数(%/d) | 化感效应指数 | 发芽率(%) | 发芽指数(%/d) | 化感效应指数 |
| CK | 98.00a | 22.89a | 0 | 86.67a | 32.00a | 0 | 87.33a | 28.09a | 0 |
| 6.25 | 97.33a | 19.43c | -0.01 | 89.33a | 24.59b | 0.03 | 72.67b | 18.44c | -0.17 |
| 12.50 | 96.00ab | 22.82a | -0.02 | 76.00b | 16.77c | -0.12 | 70.67bc | 23.98b | -0.19 |
| 25.00 | 95.33ab | 21.22b | -0.03 | 72.67b | 13.21d | -0.16 | 68.00bc | 23.14b | -0.22 |
| 50.00 | 92.67bc | 18.70c | -0.05 | 66.67c | 8.37e | -0.23 | 66.67c | 15.01d | -0.24 |
| 100.00 | 90.67c | 12.87d | -0.07 | 0d | 0f | -1.00 | 0d | 0e | -1.00 |

注:同列数值后不同小写字母表示处理间差异达显著水平($P < 0.05$)。下同。

2.2 苦苣菜茎叶水浸提液对 3 种草坪植物幼苗生长的影响

2.2.1 幼苗苗高 由表 2 可见,当苦苣菜茎叶水浸提液浓度小于 50.00% 时,随浸提液浓度的升高,高羊茅及白车轴草的幼苗苗高增加,苗高的化感效应指数值表明此浸提液对幼苗生长有明显的促进作用;浸提液浓度为 50.00% 时,白车轴草的幼苗苗高虽依然高于 CK,但较 25.00% 浸提液处理而言,

苗高有所降低,从其化感效应指数值也可看出,其促进作用有所下降;对紫苜蓿而言,浸提液浓度小于 25.00%,对其幼苗生长表现出促进作用,但 25.00% 浓度处理较 12.50% 浓度处理的苗高有所降低,促进作用下降;浸提液浓度超过 50.00%,紫苜蓿幼苗生长受到明显抑制,浸提液浓度达到 100.00%,高羊茅和白车轴草幼苗的生长才表现出抑制作用。

表 2 苦苣菜茎叶水浸提液对 3 种草坪植物幼苗苗高的影响

| 水浸提液浓度(%) | 高羊茅 | | 白车轴草 | | 紫苜蓿 | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 苗高(cm) | 化感效应指数 | 苗高(cm) | 化感效应指数 | 苗高(cm) | 化感效应指数 |
| CK | 7.42e | 0.00 | 0.45e | 0.00 | 1.58d | 0.00 |
| 6.25 | 7.66d | 0.03 | 0.53d | 0.15 | 1.71c | 0.08 |
| 12.50 | 8.15c | 0.09 | 0.72b | 0.37 | 1.85a | 0.15 |
| 25.00 | 8.38b | 0.11 | 0.78a | 0.42 | 1.77b | 0.11 |
| 50.00 | 9.26a | 0.20 | 0.66c | 0.31 | 1.56d | -0.01 |
| 100.00 | 6.41f | -0.14 | 0.00f | -1.00 | 0.00e | -1.00 |

2.2.2 幼苗根长 由表 3 可见,随苦苣菜茎叶水浸提液浓度的增加,3 种草坪草植物幼苗的根长均呈下降趋势;从根长化感效应指数值可以看出,浸提液对 3 种植物幼苗根的生长均

有明显的抑制作用,且随浓度的升高而抑制效应加大;相同浓度浸提液处理,白车轴草幼苗根生长受到的抑制作用明显大于高羊茅和紫苜蓿。

表 3 苦苣菜茎叶水浸提液对 3 种草坪植物幼苗根长生长的影响

| 水浸提液浓度(%) | 高羊茅 | | 白车轴草 | | 紫苜蓿 | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 根长(cm) | 化感效应指数 | 根长(cm) | 化感效应指数 | 根长(cm) | 化感效应指数 |
| CK | 8.81a | 0.00 | 3.23a | 0.00 | 3.69a | 0.00 |
| 6.25 | 8.18b | -0.07 | 2.59b | -0.20 | 3.44b | -0.07 |
| 12.50 | 7.47c | -0.15 | 2.02c | -0.38 | 3.36b | -0.09 |
| 25.00 | 6.88d | -0.22 | 1.27d | -0.61 | 3.11c | -0.16 |
| 50.00 | 4.57e | -0.48 | 0.94e | -0.71 | 2.91d | -0.21 |
| 100.00 | 2.35f | -0.73 | 0.00f | -1.00 | 0.00e | -1.00 |

2.2.3 幼苗鲜质量及活力指数 由表 4 可见,≤12.50% 的低浓度苦苣菜茎叶水浸提液处理的高羊茅幼苗鲜质量及活力指数与 CK 相比均显著增加,这说明低浓度浸提液有促进作用;随浸提液浓度的增加,其幼苗鲜质量及活力指数均呈明显下降趋势,≥25.00% 的高浓度苦苣菜茎叶水浸提液对高羊茅有

抑制作用,其活力指数的化感效应指数值为负值;与高羊茅不同,白车轴草和紫苜蓿幼苗的鲜质量及活力指数从低浓度浸提液开始,就随浓度的增加表现出逐渐下降的趋势,这表明苦苣菜茎叶水浸提液对这 2 种植物的鲜质量及活力指数始终有抑制作用,且随浸提液浓度的增加而加大。

表 4 苦苣菜茎叶水浸提液对 3 种草坪植物幼苗鲜质量、活力指数的影响

| 水浸提液 浓度 (%) | 高羊茅 | | | 白车轴草 | | | 紫苜蓿 | | |
|----------------|-------------|-------|------------|-------------|-------|------------|-------------|-------|------------|
| | 鲜质量 (mg) | 活力指数 | 化感效应 指数 | 鲜质量 (mg) | 活力指数 | 化感效应 指数 | 鲜质量 (mg) | 活力指数 | 化感效应 指数 |
| CK | 28.49c | 0.65c | 0.00 | 7.17a | 0.23a | 0.00 | 24.45c | 0.69a | 0.00 |
| 6.25 | 33.74a | 0.77a | 0.15 | 7.07a | 0.17b | -0.24 | 23.48c | 0.63b | -0.08 |
| 12.50 | 33.54a | 0.71b | 0.08 | 6.15b | 0.10c | -0.55 | 21.80b | 0.55c | -0.20 |
| 25.00 | 30.59b | 0.57d | -0.12 | 5.61c | 0.07d | -0.68 | 20.06b | 0.52c | -0.24 |
| 50.00 | 28.96c | 0.56d | -0.14 | 5.38c | 0.05e | -0.80 | 18.64a | 0.37d | -0.46 |
| 100.00 | 23.06d | 0.29e | -0.54 | 0.00d | 0.00f | -1.00 | 0.00d | 0.00e | -1.00 |

2.3 苦苣菜茎叶水浸提液对 3 种草坪植物的综合效应

由表 5 可见,除浓度为 6.25%、12.50% 的苦苣菜茎叶水浸提液对高羊茅幼苗生长无抑制作用外,其他综合效应(SE)指数均为负值,表明有抑制作用;相同浓度水浸提液处理,以白车轴草的 SE 绝对值最大,紫苜蓿次之,高羊茅最小,这表明 3 种植物中以白车轴草受到的抑制作用最强,高羊茅最弱。

表 5 苦苣菜茎叶水浸提液对 3 种植物的综合效应

| 水浸提液浓度 (%) | SE 值 | | |
|---------------|-------|-------|-------|
| | 高羊茅 | 白车轴草 | 紫苜蓿 |
| CK | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 6.25 | 0.03 | -0.07 | -0.06 |
| 12.50 | 0.00 | -0.17 | -0.08 |
| 25.00 | -0.07 | -0.26 | -0.13 |
| 50.00 | -0.12 | -0.36 | -0.23 |
| 100.00 | -0.37 | -1.00 | -1.00 |

3 结论与讨论

化感作用普遍存在于自然界,它是植物长期自然选择的结果,同时也是植物提高自身生存能力的一种重要手段^[6]。自然界中,通过雨水、雾滴等淋溶使水溶性化感物质进入土壤而发生化感作用,从而对植物种子萌发和生长发育造成一定的影响^[17]。研究表明,植物化感作用主要表现在对受体植物种子萌发率、根长、苗高及生物量等的影响^[18-20]。本研究依据高羊茅等 3 种草坪植物种子发芽率、发芽指数、幼苗苗高及根长等指标变化,对苦苣菜化感作用进行研究,并结合综合化感效应进行评价。从苦苣菜不同浓度茎叶水浸提液对 3 种草坪植物种子发芽和幼苗生长的影响及综合化感效应来看,该入侵植物主要表现为化感抑制作用,且表现为随浸提液浓度的增加,对受体植物种子的萌发及幼苗生长的抑制性愈强。这与罗小勇等以生菜为受体对苦苣菜等 20 种菊科植物化感活性的研究结果^[21]一致。种子萌发对物种的更新至关重要,种子发芽率的下降则将降低受体在群落中的多度和早期竞争力,相应的提高供体植物对地上和地下资源的竞争能力^[11,22]。试验表明,苦苣菜化感作用降低了种子的发芽率及发芽指数,且浓度越高效果越明显;不同浓度浸提液对 3 种受体植物苗高均表现出“低促高抑”的规律,而根长则始终处于被抑制状态,且相同高浓度浸提液对根长的抑制作用明显大于苗高,这可能与植物的幼根通常最先接触化感物质有关,这与前人的研究结论^[11,23]一致。

从综合效应(SE 值)可以看出,3 种草坪植物对苦苣菜化感作用的敏感程度并不相同,这可能与各物种不同的进化历史有关。尽管≤12.50% 低浓度浸提液对高羊茅起到促进作用,但 3 种植物整体均受到不同程度的抑制,这也表明 3 种植

物均不可作为替代控制苦苣菜的物种,其中,又以白车轴草最为敏感,这也大大增加了其在苦苣菜入侵过程中较早被排挤掉的可能性。

参考文献:

[1] Rice E L. Allelopathy [M]. 2nd ed. New York: Academic Press, 1984: 84-89.

[2] 吴锦容, 彭少麟. 化感——外来入侵植物的“Novel Weapons”[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 301-305.

[3] Davis M A, Grime J P, Thompson K. Fluctuating resources in plant communities: a general theory of invisibility [J]. Journal of Ecology, 2000, 88(3): 528-534.

[4] 强胜, 曹学章. 中国异域杂草的考察与分析 [J]. 植物资源与环境学报, 2000, 9(4): 34-38.

[5] 朱长山, 田朝阳, 吕书凡, 等. 河南外来入侵植物调查研究及统计分析 [J]. 河南农业大学学报, 2007, 41(2): 183-187.

[6] 周凯, 郭维明, 徐迎春. 菊科植物化感作用研究进展 [J]. 生态学报, 2004, 24(8): 1776-1784.

[7] 方芳, 郭水良, 黄华, 等. 开花期加拿大一枝黄花水浸提液对 3 种作物种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 植物研究, 2007, 27(5): 569-573.

[8] Tukey H B Jr. Leaching of metabolites from above ground plant parts and its implications [J]. Bulletin of the Torrey Botanical Club, 1966, 93(6): 385-401.

[9] Leather G R, Einhelling F A. The science of allelopathy [M]. New York: John Wiley & Sons, 1986: 133-145.

[10] 王伯孙, 郝艳茹, 王昌伟, 等. 生物入侵与入侵生态学 [J]. 中山大学学报: 自然科学版, 2005, 44(3): 75-77.

[11] 郑丽, 冯玉龙. 紫茎泽兰叶片化感作用对 10 种草本植物种子萌发和幼苗生长的影响 [J]. 生态学报, 2005, 25(10): 2782-2787.

[12] 陈林, 杨新国, 李学斌, 等. 中间锦鸡儿茎叶水浸提液对 4 种农作物种子萌发和幼苗生长的化感作用 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2014, 40(1): 41-48.

[13] 江贵波, 曾任森. 化感物质及其收集方法综述 [J]. 河南农业科学, 2006(6): 24-27.

[14] Bruce Williamson G, Richardson D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with Independent controls [J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(1): 181-187.

[15] 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 [J]. 应用生态学报, 2005, 16(4): 740-743.

[16] 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(5638): 1377-1380.

银川的测定结果表明,铁-铜配施对黄酮的积累有一定的影响,黄酮在铁-铜配合喷施浓度范围内,随着浓度升高,其积累量逐渐增加,当浓度达到0.20%铁+0.03%铜时,园林场黄酮的积累量达到最高(97.63 mg/kg),此后则随着浓度升高其积累量呈下降趋势,在0.10%铁+0.05%铜配施时,中宁和园林场黄酮的含量均达到较高值。0.20%铁+0.03%铜配施时对多糖的积累影响最明显,多糖积累达到最高值,随着浓度升高其积累量呈下降趋势。铁-铜对甜菜碱的积累有一定的影响,在喷施浓度范围内,随着浓度升高,其积累量逐渐增加,当浓度达到0.10%铁+0.05%铜时,甜菜碱的积累量达到最高,此后则随着浓度升高其积累量呈下降趋势;铁-铜对锌、锰2种元素的积累影响不明显,在喷施浓度范围内,2种元素的量有一定的变化,0.10%铁+0.05%铜浓度时积累量达到较高的水平。喷施铁-铜对枸杞的内源微量元素铁、铜的积累非常明显,当喷施浓度达到0.10%时,铁、铜的积累也达到显著的水平,此后则随着浓度升高其积累量成下降趋势,中宁、银川2地积累趋势基本一致。

新复极差方差分析结果表明,枸杞各营养成分间 $P < 0.001$,差异极显著。施用不同浓度铁铜处理与枸杞各营养成分间差异显著($P < 0.05$),有些甚至差异极显著($P < 0.01$)。施用不同浓度铁铜后可明显提高枸杞黄酮、铁含量,其中0.10%铁+0.05%铜处理枸杞黄酮、甜菜碱含量最高,分别为93.825 mg/kg、1.985 g/kg;0.05%铁+0.03%铜处理铁、锰元素含量最高,分别为12.642、2.1765 mg/kg;0.2%铁+0.03%铜处理枸杞多糖含量最高,为10.665 g/kg;0.2%铁+0.01%铜处理枸杞锌含量最高,为3.9215 mg/kg;0.05%铁+0.10%铜处理枸杞铜含量最高,为4.243 mg/kg,不同浓度铁铜配施对枸杞有效成分及内源微量元素的积累有相关作用,且差异显著。

3 结论

高效液相色谱方法测定宁夏枸杞中黄酮、甜菜碱含量,方法简单,分析时间短,准确度高,对枸杞样品及制剂的质量控制十分有效。

施用不同浓度铁铜后可明显提高枸杞有效成分及内源微量元素含量,表明不同浓度铁-铜配施对枸杞有效成分及内源微量元素的积累有相关作用。

结合中宁和银川的结果,枸杞中有效成分与内源微量元素(锌、锰、铜、铁)的积累量,以及微量元素对植物的作用,确定铁-铜适宜的喷施浓度为0.10%铁+0.05%铜。

4 讨论

在冬小麦上进行的铜氮配施试验,结果表明,施用铜氮不仅使籽粒产量提高,而且储藏蛋白质含量和富含必需氨基酸的结构蛋白含量都有所增加^[8]。施铜可以提高玉米叶片的光合作用能力,促进生长发育进程,增强抗逆力,最终对获取玉米高产有良好影响^[9]。西洋参在适宜浓度的硒素下能促进根系发育和干物质积累,但浓度高则表现抑制作用^[10]。微量元素及其含量过多会产生毒害,过少又发挥不了作用,都将影响药材的品级与药效^[11]。宁夏枸杞对微量元素的吸收积累也符合必需元素对生物体效应的生物剂量规律,即在适宜浓度范围内,喷施浓度越高,枸杞有效成分及内源微量元素的积累作用越强,达到一定程度时,积累量呈下降趋势。施用不同浓度铁铜后可明显提高枸杞有效成分及内源微量元素含量,表明不同浓度铁-铜配施对枸杞有效成分及内源微量元素的积累有相关作用。研究结果对于合理使用微肥具有指导意义,以期避免盲目过量使用。

参考文献:

- [1] 路安民,王美林. 关于中药现代化中的物种鉴定问题——基于枸杞分类和生产问题的讨论[J]. 西北植物学报,2003,23(7):21-27.
- [2] 孙志刚. 宁夏枸杞药理研究进展[J]. 西北药学杂志,2001,16(3):133-135.
- [3] 李泓. 枸杞及其有效成分的药理学研究进展[J]. 中草药,1995,26(9):490-494.
- [4] 罗炳铨. 中药微量元素的作用[J]. 中药材,1990,13(2):41-44.
- [5] GB/T 18672—2014 枸杞[S]. 北京:中国标准出版社,2014.
- [6] 王晓菁,吴燕,王黎明. 固相萃取-高效液相色谱法测定枸杞中甜菜碱[J]. 食品科学,2010,31(8):199-201.
- [7] GB/T 5009—2003 食品卫生检验方法理化标准汇编[S]. 北京:中国标准出版社,2003.
- [8] 李红英,王文亮,杨建堂,等. 铜氮配施对冬小麦籽粒产量和蛋白质含量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2008(3):63-65.
- [9] 佟屏亚,凌碧莹,高富兰,等. 铜肥对玉米生长发育和产量构成影响的研究[J]. 北京农业科学,1995,13(2):36-39.
- [10] 胡炳义,任富成,刘铁城,等. 硒素对西洋参生长的影响[J]. 中药材,1994,17(11):7-8,54.
- [11] 万兵,王周庆. 中药微量元素与道地药材[J]. 江西中医药,1993,24(2):51-53.
- [12] 李富荣,黄莹,梁士楚,等. 几种菊科入侵植物和非入侵植物的化感作用比较[J]. 生态环境学报,2011,20(5):813-818.
- [13] 罗小勇,孙启涛,周世军. 20种菊科植物不同器官的化感活性研究[J]. 安徽农业科学,2009,37(30):14672-14677.
- [14] Turk M A, Tawaha A M. Inhibitory effects of aqueous extracts of black mustard on germination and growth of lentil[J]. Pakistan Journal of Agronomy, 2002,1(1):28-30.
- [15] Turk M A, Tawaha A M. Allelopathic effect of black mustard (*Brassica nigra* L.) on germination and growth of wild oat (*Avena fatua* L.)[J]. Crop Protection, 2003,22(4):673-677.

(上接第165页)

- [17] 黄洪武,李俊,董立尧,等. 加拿大一枝黄花对植物化感作用的研究[J]. 南京农业大学学报,2009,32(1):48-54.
- [18] Patterson D T. Effects of allelopathic on growth and physiological responses of soybean (*Glycine max*) [J]. Weed Science, 1981,29(1):53-59.
- [19] Chon S U, Choi S K, Jung S, et al. Effects of alfalfa leaf extracts and phenolic allelochemicals on early seedling growth and root morphology of alfalfa and barnyard grass [J]. Crop Protection, 2002,21(10):1077-1082.