网络出版时间:2025-12-05 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.06.004

国槐凋落叶浸提液对4种药用植物的化感作用

冯超群[1,2],袁云娜[1,2],王晨[1,2],李嘉文[1,2],王玉宝[3],
亢保庆[3],赵国康[3],刘忠华[1,2]

(1 北京林业大学 生物科学与技术学院,北京 100083;2 林木育种与生态修复国家工程研究中心,北京 100083;
3 榆林市榆阳区林业和种苗工作站,陕西 榆林 719000)

[摘 要] 【目的】探究国槐凋落叶浸提液对4种药用植物的化感效应,为国槐林下药用植物的种植提供理论支持。【方法】以知母、蒲公英、藿香和苦参4种药用植物种子和幼苗为材料,采用培养皿滤纸种子萌发与室内幼苗盆栽相结合的方法,设置0(蒸馏水对照),7.5,15,30,60 g/L质量浓度的浸提液处理,测定种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数以及萌发14 d后的根长和苗高,以及培养60 d后盆栽幼苗叶片的SOD、POD活性和可溶性糖、可溶性蛋白、脯氨酸含量,分析国槐凋落叶浸提液对4种药用植物种子萌发及幼苗生长的影响。【结果】①不同质量浓度国槐凋落叶浸提液对4种药用植物种子萌发及幼苗生长均影响显著。相较于对照组,60 g/L浸提液处理蒲公英种子发芽率、发芽指数、活力指数和根长的降幅最大,分别为61.36%,82.69%,97.62%和86.63%;知母种子苗高受到的抑制作用最强,显著降低了50.88%。苦参种子在7.5和30 g/L浸提液处理下根长和苗高分别显著增加18.48%和57.85%,藿香种子在30 g/L处理下苗高增幅最大(82.38%)。同时,在60 g/L浸提液处理下,与对照组相比,知母、蒲公英、藿香和苦参的化感综合效应指数的相对变化值分别为-0.65,-0.66,-0.54和-0.36。②与对照相比,随着浸提液质量浓度增加,藿香和苦参叶片的SOD活性呈先降后升趋势,且均以60 g/L时增幅最大,分别为18.55%和7.89%;而知母和蒲公英叶片的SOD活性基本呈先升后降趋势,在15 g/L时增幅最大,分别为5.21%和21.78%;叶片POD活性在知母中持续上升,以60 g/L时增幅最大(112.22%),在蒲公英中先升后降,而在藿香和苦参中则先降后升。③藿香、知母和苦参幼苗叶片可溶性蛋白含量随着浸提液质量浓度增加而先增后减,苦参叶片的可溶性蛋白含量在7.5 g/L时显著提高了64.54%;各药用植物幼苗叶片可溶性糖含量均在30 g/L处理时表现出最高值或次高值(知母),此时藿香、知母、蒲公英和苦参的可溶性糖含量分别较对照提高了80.76%%,120.93%,39.35%%和101.01%;蒲公英幼苗叶片的脯氨酸含量在所有处理组中均显著低于对照组,其中在60 g/L处理下有最低值,较对照组显著降低了47.50%。④国槐凋落叶浸提液对4种药用植物的化感效应强度表现为:蒲公英>知母>藿香>苦参。【结论】苦参、藿香种子和幼苗对国槐凋落叶浸提液的耐受性较强,蒲公英和知母耐受性较差。

[关键词] 国槐;凋落叶浸提液;药用植物;化感作用;林下经济

[中图分类号] S792.26;S567.2 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)06-0031-11

Allelopathic effects of aqueous extracts of fallen leaves of *Styphnolobium japonicum* on four medicinal plants

FENG Chaoqun[1,2], YUAN Yunna[1,2], WANG Chen[1,2], LI Jiawen[1,2], WANG Yubao[3],
KANG Baoqing[3], ZHAO Guokang[3], LIU Zhonghua[1,2]

(1 *School of Biological Sciences and Technology, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*; 2 *National Engineering*

[收稿日期] 2025-04-03 [修回日期] 2025-05-16
[基金项目] 国家林业和草原局2021林木良种DNA分子身份证构建项目(DNA-2021);北京市园林绿化局山区生态林经营管护成效年度评价计划项目(2021-STBHXFC-04-11);榆林市榆阳区林业局榆林沙蒿过敏治理课题研究及毛乌素沙地主要树种耗水量研究(2024XHFW049,2024XHFW059)
[作者简介] 冯超群(2002-),女,山东菏泽人,在读硕士,主要从事木本植物生长发育及其调控机理研究。E-mail:Fengchaoqun@bjfu.edu.cn
[通信作者] 刘忠华(1969-),男,北京人,副教授,博士,硕士生导师,主要从事木本植物生长发育及其调控机理研究。E-mail:liuzh6@bjfu.edu.cn

Research Center of Forest Breeding and Ecological Restoration, Beijing 100083, *China*; 3 *Yulin Yuyang District Forestry and Seedling Workstation, Yulin, Shaanxi* 719000, *China*)

Abstract: 【Objective】 The study aims to investigate the allelopathic effects of aqueous extracts from fallen leaves of *Styphnolobium japonicum* on four medicinal plants, to provide theoretical support for the cultivation of medicinal plants in *S. japonicum* forests. 【Method】 The seeds and seedlings of four medicinal plants, namely *Anemarrhena asphodeloides*, *Taraxacum mongolicum*, *Agastache rugosa* and *Sophora flavescens*, were used as experimental materials. The filter paper seed germination method in culture dishes was combined with the indoor seedling pot cultivation method, and five treatment concentrations were set: 0 (distilled water as the control), 7.5, 15, 30, and 60 g/L. The germination rate, germination potential, germination index, vigor index, root length, and seedling length were measured 14 days after the germination. The SOD and POD activities, soluble sugar content, soluble protein content, and proline content of potted seedling leaves were also measured after 60 days of cultivation. The effects of aqueous extract of *S. japonicum* leaves on seed germination and seedling growth of the four medicinal plants were analyzed. 【Result】 ① Different concentrations of aqueous extracts of fallen leaves of *S. japonicum* had significant effects on seed germination and seedling growth of the four medicinal plants. Compared with the control group, treatment of 60 g/L extract resulted in the greatest reduction in the germination rate, germination index, vigor index and root length of *T. mongolicum* seeds, which were 61.36%, 82.69%, 97.62% and 86.63%, respectively. The strongest inhibitory effect was observed on the height of *A. asphodeloides*, which was significantly reduced by 50.88%. The root length and seedling height of *S. flavescens*. significantly increased by 18.48% and 57.85%, respectively, under the treatments of 7.5 and 30 g/L extract. The highest increase in the seedling height of *A. rugosa* (82.38%) was observed under the 30 g/L treatment. Meanwhile, under the treatment of 60 g/L extract, the relative changes in the synthetica lallelopathic effect index of *A. asphodeloides*, *T. mongolicum*, *A. rugosa*, and *S. flavescens*. compared to the control group were −0.65, −0.66, −0.54, and −0.36, respectively. ② As the concentration of the extract increased, the SOD activity in the leaves of *A. rugosa* and *S. flavescens* first decreased and then increased, compared with the control, with the highest increases observed under the 60 g/L treatment, which were 18.55% and 7.89%, respectively. The SOD activity of *A. asphodeloides* and *T. mongolicum* first increased and then decreased, with the highest increases observed under the 15 g/L treatment, which were 5.21% and 21.78%, respectively. The POD activity of leaves continued to increase in *A. asphodeloides*, with the highest increase of 112.19% observed under the 60 g/L treatment. The POD activity of leaves first increased and then decreased in *T. mongolicum*, and it first decreased and then increased in *A. rugosa* and *S. flavescens*. ③ The soluble protein content of *A. rugosa*, *A. asphodeloides* and *S. flavescens*. seedling leaves increased and then decreased with the increase of the concentration of the extracts, and the soluble protein content of *S. flavescens*. leaves was significantly increased by 64.54% under the 7.5 g/L treatment. The soluble sugar content of the seedling leaves of all the medicinal plants reached the highest or second-highest level (for *A. asphodeloides*) under the 30 g/L treatment. At this concentration, the soluble sugar content of *A. rugosa*, *A. asphodeloides*, *T. mongolicum* and *S. flavescens*. increased by 80.76%, 120.93%, 39.35% and 101.01%, respectively, compared with that of the control group. The proline content of *T. mongolicum* seedling leaves was significantly lower than that of the control group in all treatment groups, with the lowest level observed under the 60 g/L treatment, which was significantly reduced by 47.50% compared with that of the control group. ④ The allelopathic intensity of aqueous extracts from fallen leaves of *S. japonicum* on four medicinal plants was ranked as follows: *T. mongolicum*>*A. asphodeloides*>*A. rugosa*>*S. flavescens*. 【Conclusion】 Seeds and seedlings of *S. Flavescens* and *A. rugosa* show strong tolerance to the extract of fallen leaves of *S. japonicum*, while *T. mongolicum* and *A. asphodeloides* show poor tolerance.

Key words: *Styphnolobium japonicum*; leaf litter extract; medicinal plants; allelopathic effects; under-forest

economy

国槐（*Styphnolobium japonicum*（L.）Schott）为豆科（Fabaceae）槐属（*Styphnolobium* Schott）落叶乔木，是中国的乡土树种，也是北京市的市树。近年来，北京市人民政府为了促进首都地区生态文明建设，相继实施了两轮大规模的百万亩绿化造林项目[1]。国槐因具有较强的适应性及庇荫效果，在城市绿化及园林景观设计中广受欢迎，不仅是北京市行道树栽植的首要选择，还被纳入百万亩造林的乡土树种之中[2-3]。现如今，北京通州区域及京城槐园等地均可见到广泛分布的国槐林。

中草药在维护健康、预防及治疗疾病等方面扮演着不可或缺的角色，面对日益增加的市场需求，药用植物的生态化种植正逐步成为研究与实践的重点[4-5]。为了高效利用森林资源，推行复合经营模式，林下种植药用植物作为一种创新策略应运而生[6]。林下种植药用植物不仅有助于提升土地利用效能，还可缓解当前药用植物栽培中所遇到的病虫害频发及连作障碍等难题，为药用植物产业的可持续发展提供了有力支撑[7]。在林药复合经营模式中，选取适合林下生长的药用植物种类是关键环节，进而才能为实现经济效益的最优化目标奠定基础。

化感作用是生物体释放次生代谢物影响自身及周边生物群落结构与功能的生态作用现象[8]。范晓慧等[9]研究发现，樱花（*Cerasus serrulata*）、海棠（*Malus spectabilis*（Aiton）Borkh.）和七叶树（*Aesculus chinensis* Bunge）凋落叶浸提液对黄瓜（*Cucumis sativus* L.）、高粱（*Sorghum bicolor*（L.）Moench）、小麦（*Triticum aestivum* L.）和油菜（*Brassica rapa* var. *oleifera* DC.）种子发芽和幼苗生长产生明显的综合促进作用，可以作为开发生物有机肥的潜力树种。汪琼等[10]研究表明，银杏（*Ginkgo biloba* L.）和鸡爪槭（*Acer palmatum* Thunb.）的凋落物浸提液对高羊茅（*Festuca elata* Keng ex E. B. Alexeev）的根长和株高均有显著抑制效应，且银杏叶浸提液的化感抑制效果强于鸡爪槭。阮坤非等[11]发现，栾树（*Koelreuteria paniculata* Laxm.）凋落叶浸提液对黄芩（*Scutellaria baicalensis* Georgi）的生长表现出显著的抑制效果，而对桔梗（*Platycodon grandiflorus*（Jacq.）A. DC.）和甘草（*Glycyrrhiza uralensis* Fisch.）表现出“低促高抑”的双重效应，表明在栾树林下更适宜种植甘草和桔梗。综上所述，化感作用在林下经济领域的研究已取得一定进展，涵盖了农作物、牧草、药用植物等范畴，然而关于国槐林下药用植物种植的化感效应尚鲜见报道。鉴于此，本研究以前期预试验阶段基于发芽率及耐阴性能两项关键指标，从众多药用植物中筛选出发芽率较高且耐阴性较强的知母（*Anemarrhena asphodeloides* Bunge）、蒲公英（*Taraxacum mongolicum* Hand. -Mazz.）、藿香（*Agastache rugosa*（Fisch. &C. A. Mey.）Kuntze）及苦参（*Sophora flavescens* Aiton）4 种药用植物作为试验对象，深入探讨国槐凋落物不同质量浓度浸提液对 4 种药用植物种子发芽及幼苗生长发育的影响，旨在为林药间作模式的科学选材以及推动林下经济持续健康发展提供理论支撑与科学依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

国槐凋落叶于 2024 年 11 月收集北京市京城槐园（116°34′40.67″ E，39°56′54.70″ N）和北京林业大学校园（116°21′14.76″ E，40°0′42.11″ N）内。知母、蒲公英、藿香和苦参 4 种药用植物种子均购自河北安国万草同源苗木花卉有限公司。

1.2　试验方法

1.2.1　国槐凋落叶浸提液的制备　通过预试验确定国槐凋落叶浸提液的适宜处理浓度梯度为 7.5，15，30 和 60 g/L。先收集无污染的国槐凋落叶，经过漂洗、消毒处理后，自然风干，并裁剪成约 0.5 cm^2 的小片。精确称取 60 g 国槐凋落叶小片，与 1 L 蒸馏水混合后置于摇床上以恒定速率振荡 24 h。用 2 层纱布对混合物进行过滤，去除固体残渣。再将滤液以 3 000 r/min 离心 10 min 取上清液，即为 60 g/L 的国槐凋落叶浸提液原液。将该原液经蒸馏水按比例稀释，依次获得 30，15 及 7.5 g/L 的浸提液。所有制备完成的浸提液均于 4 ℃冰箱中保存备用。

1.2.2　种子萌发试验　选取颗粒饱满、大小均匀的知母、蒲公英、藿香和苦参种子，用质量分数 1.5%～3.5% 的次氯酸钠消毒 10 min，再用蒸馏水冲洗 3～5 次，采用培养皿滤纸法[12]进行种子萌发试验。具体操作步骤为：在直径 9 cm 的培养皿中铺设 2 层滤纸，然后分别加入 4 mL 不同质量浓度梯度的国槐凋落叶浸提液，以蒸馏水作为对照，每种药用植物设置 5 个处理，每处理 3 次重复，共计 60 皿；在每个培养皿中分别均匀放置知母、蒲公英、藿香和苦参种子各 30 粒，将这些培养皿置于坤天 RGX-

250B型人工气候培养箱(产地河北)中,设定光照时长为12 h,温度恒定为25 ℃;自培养之日起,每日于固定时间段观察种子的萌发状态,记录发芽种子个数(以胚根突破种皮2 mm以上或胚根显著显露视为发芽标准[13]),并补充少量相应质量浓度浸提液及蒸馏水;当种子连续3 d萌发数量保持恒定后即终止种子萌发试验。随后,从各培养皿中随机选取6株幼苗,利用游标卡尺精确测定其根系长度(L)及幼苗高度(S)。最后,依据以下公式计算萌发指标和化感效应指标。

发芽率(GR)=(成功发芽的种子数量/供试种子总数量)×100%[14]。

发芽势(GE)=(7 d内发芽种子数/供试种子总数)×100%[14]。

发芽指数(GI)=$\sum(G_t/D_t)$。

式中:G_t代表第t日发芽的种子数(个),D_t代表相应的发芽时间(d)[15]。

活力指数(VI)=$GI\times L$。

式中:GI为发芽指数,L为幼苗在一定时期内的根长(cm)[14]。

化感作用效应指数(RI)=$(T-C)/C\times100\%$。

式中:T为测定指标的处理值,C为测定指标的对照值。$RI>0$表示化感促进作用,$RI<0$则表示化感抑制作用,且绝对值越大,化感作用强度越大[16]。

综合化感效应指数(SE)=$(RI_{GR}+RI_{GE}+RI_{GI}+RI_{VI}+RI_{L}+RI_{S})/6$。

式中:RI_{GR}、RI_{GE}、RI_{GI}、RI_{VI}、RI_{L}、RI_{S}分别表示同一处理的种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、根长和苗高的化感作用效应指数;SE表示上述6个指标化感作用效应指数的平均值,用于表示国槐凋落叶浸提液的综合化感效应。

1.2.3 *幼苗盆栽试验* 采用13 cm×13 cm的小花盆,并向其中填充由营养土与蛭石以体积比1∶1充分混合而成的基质。首先,将药用植物种子置于培养箱中进行催芽处理。待种子发芽后,精选出生长状况一致的幼苗移植至小花盆中,每盆栽植5株幼苗,每个处理设置3盆重复,每种植物各15盆,4种植物共计60盆。每隔3 d,对幼苗进行一次浇灌处理,其中各试验组浇灌设定质量浓度的浸提液,对照组浇灌等量蒸馏水。

经过为期60 d的处理周期后,自每株幼苗上选取相同位置且生长健康的叶片作为检测样本,利用南京建成生物工程有限公司提供的试剂盒,采用黄嘌呤氧化酶法测定叶片的超氧化物歧化酶(SOD)活性,分光光度法(比色法)测定过氧化物酶(POD)活性,蒽酮比色法测定可溶性糖含量,考马斯亮蓝法测定可溶性蛋白含量,酸性茚三酮法测定脯氨酸含量。

1.3 数据处理

使用SPSS 26.0统计软件进行单因素方差分析,设定显著性水平为0.05。利用Excel 2019和Origin 8.0软件进行数据的整理、统计及图表绘制。

2 结果与分析

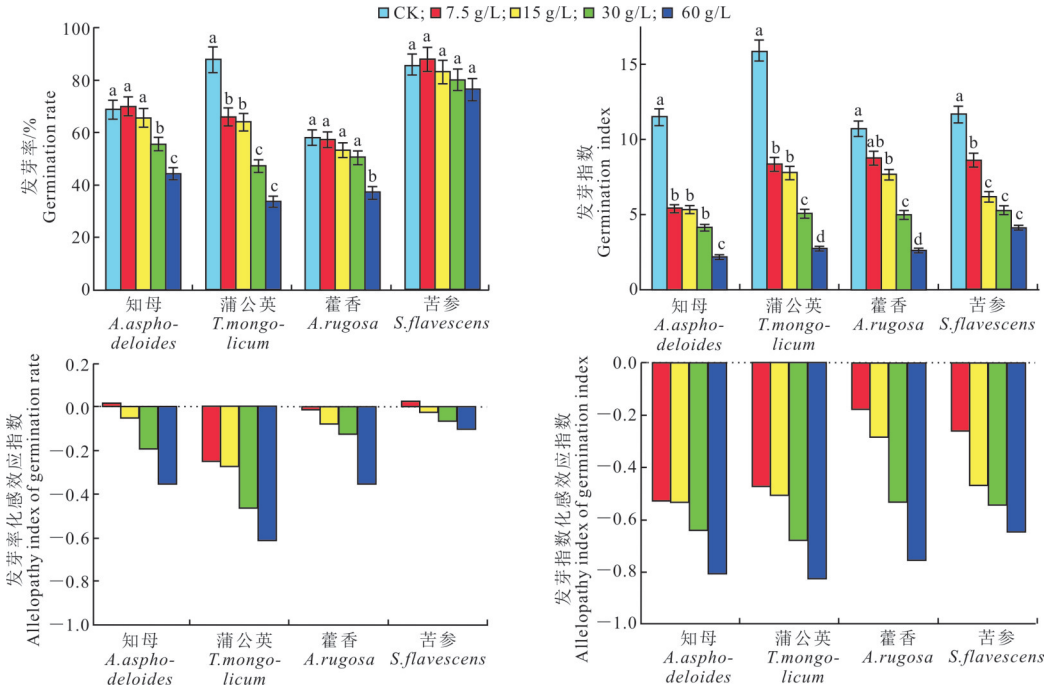
2.1 国槐凋落叶浸提液对药用植物种子发芽率和发芽指数的影响

图1显示,随着国槐凋落叶浸提液质量浓度的增加,蒲公英和藿香种子的发芽率及发芽指数均逐渐递减,其中蒲公英的发芽率及发芽指数在各处理下均与对照差异显著,在60 g/L处理下降幅分别为61.36%和82.69%;而藿香种子发芽率仅在60 g/L处理下与对照差异显著,降幅为35.64%,其发芽指数除7.5 g/L处理外均较对照显著降低,60 g/L处理下的降幅为75.71%。在浸提液质量浓度的增加过程中,知母和苦参种子的发芽率均呈先增后减趋势,但各处理苦参种子的发芽率与对照均无显著差异,知母种子发芽率也仅在30和60 g/L处理下与对照差异显著,降幅分别为19.35%和35.49%;知母和苦参种子的发芽指数均随着浸提液质量浓度增加而逐渐降低,并均与对照组差异显著,在60 g/L处理下分别较对照显著降低80.86%和64.84%。同时,4种药用植物种子发芽率和发芽指数的化感效应指数均随着浸提液质量浓度增加而逐渐降低,且除知母和苦参种子发芽率的化感效应指数在7.5 g/L处理下大于0(表现为促进效应)外,其余处理下各种植物2个指标的化感效应指数均小于0(表现为抑制效应)。2个指标的化感效应指数在4种植物间也存在明显差异。在60 g/L处理下,知母、蒲公英、藿香和苦参种子的发芽率化感效应指数分别为−0.35,−0.61,−0.36和−0.10,其发芽指数化感效应指数分别为−0.81,−0.83,−0.76和−0.65。可见,蒲公英种子的发芽率和发芽指数受国槐凋落叶浸提液质量浓度的影响最为显著,其次是知母,而苦参种子受影响程度最小。

2.2 国槐凋落叶浸提液对药用植物种子发芽势和活力指数的影响

图2表明,不同质量浓度的国槐凋落叶浸提液

对 4 种药用植物种子的发芽势和活力指数均产生了一定影响，尤其以 60 g/L 处理表现最为显著。



图柱上的小写字母表示同一药用植物不同处理间差异显著（$P<0.05$）。下同。

Different lowercase letters on the column indicate significance differences between different treatments of the same herb ($P<0.05$). The same below.

图 1　不同质量浓度国槐凋落叶浸提液对 4 种药用植物种子发芽率、发芽指数及其化感效应指数的影响

Fig. 1　Effects of different concentrations of aqueous extracts of fallen leaves of *Styphnolobium japonicum* on seed germination rate, germination index and their allelopathic effect index of four medicinal plants

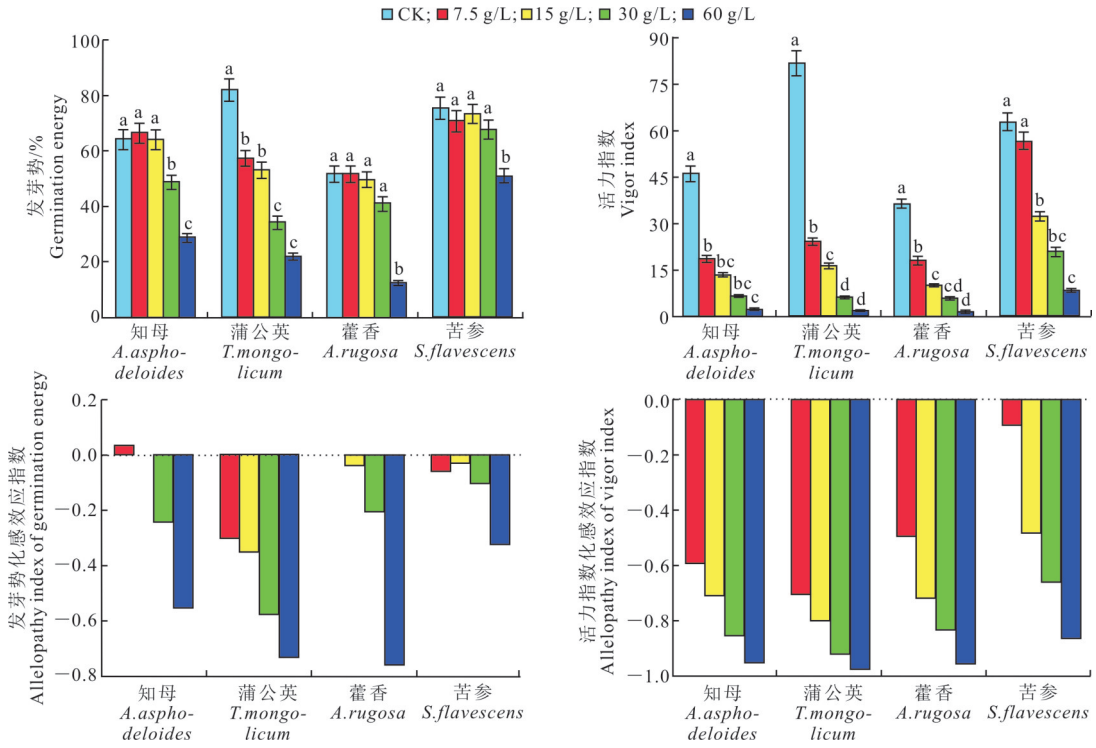


图 2　不同质量浓度国槐凋落叶浸提液对 4 种药用植物种子发芽势、活力指数及其化感效应指数的影响

Fig. 2　Effects of different concentrations of aqueous extracts of fallen leaves from *Styphnolobium japonicum* on seed germination energy, vigor index and their allelopathic effect index of four medicinal plants

随着浸提液质量浓度的增加,知母的发芽势呈先上升后下降趋势,蒲公英的发芽势则持续下降,藿香和苦参的发芽势在 60 g/L 处理时较对照显著降低。在 60 g/L 浸提液处理下,知母、蒲公英、藿香和苦参的发芽势均达到最低值,此时知母、蒲公英、藿香和苦参的发芽势分别较对照降低了 55.17%,73.17%,75.64% 和 32.35%。同时,4 种药用植物种子的活力指数均随着国槐凋落叶浸提液质量浓度增加而呈降低趋势。在 60 g/L 浸提液处理后,蒲公英的活力指数降幅最大,较对照组显著降低了 97.62%。

图 2 还显示,除知母发芽势的化感效应指数在 7.5 g/L 处理下大于 0 外,各种植物发芽势和活力指数的化感效应指数在各处理下均小于 0,且 4 种药用植物种子活力指数的化感效应指数均随着浸提液质量浓度增加而逐渐降低。在 60 g/L 浸提液处理下,知母、蒲公英、藿香和苦参种子发芽势的化感效应指数分别为 −0.55,−0.73,−0.76 和 −0.32,活力指数的化感效应分别为 −0.95,−0.98,−0.96 和 −0.86。根据化感效应指数均值综合分析,国槐凋落叶浸提液对 4 种药用植物种子发芽势和活力指数的影响程度由强至弱依次为蒲公英、藿香、知母和苦参。

2.3 国槐凋落叶浸提液对药用植物幼苗根长和苗高的影响

图 3 表明,随着国槐凋落叶浸提液质量浓度的增加,知母、蒲公英和藿香幼苗的根长以及知母的苗高均呈下降趋势,其中蒲公英和藿香的根长在各处理下均与对照差异显著,知母的根长和苗高均在 15,30 和 60 g/L 处理下显著低于对照组;在 60 g/L 处理下,知母、蒲公英和藿香的根长和知母的苗高分别较对照组减少了 75.32%,86.63%,82.21% 和 50.88%。同时,苦参的根长在 7.5 g/L 浸提液处理较对照增加了 18.48%,在 15,30 g/L 处理下较对照有所降低但差异均不显著,而在 60 g/L 处理下较对照显著降低。蒲公英、藿香和苦参的苗高随着浸提液质量浓度升高呈先升高后降低趋势,但各浓度处理组均较对照有所增加,并分别在 15,30 和 30 g/L 处理时达到峰值,分别较对照组显著提高了 56.54%,82.38% 和 57.85%。

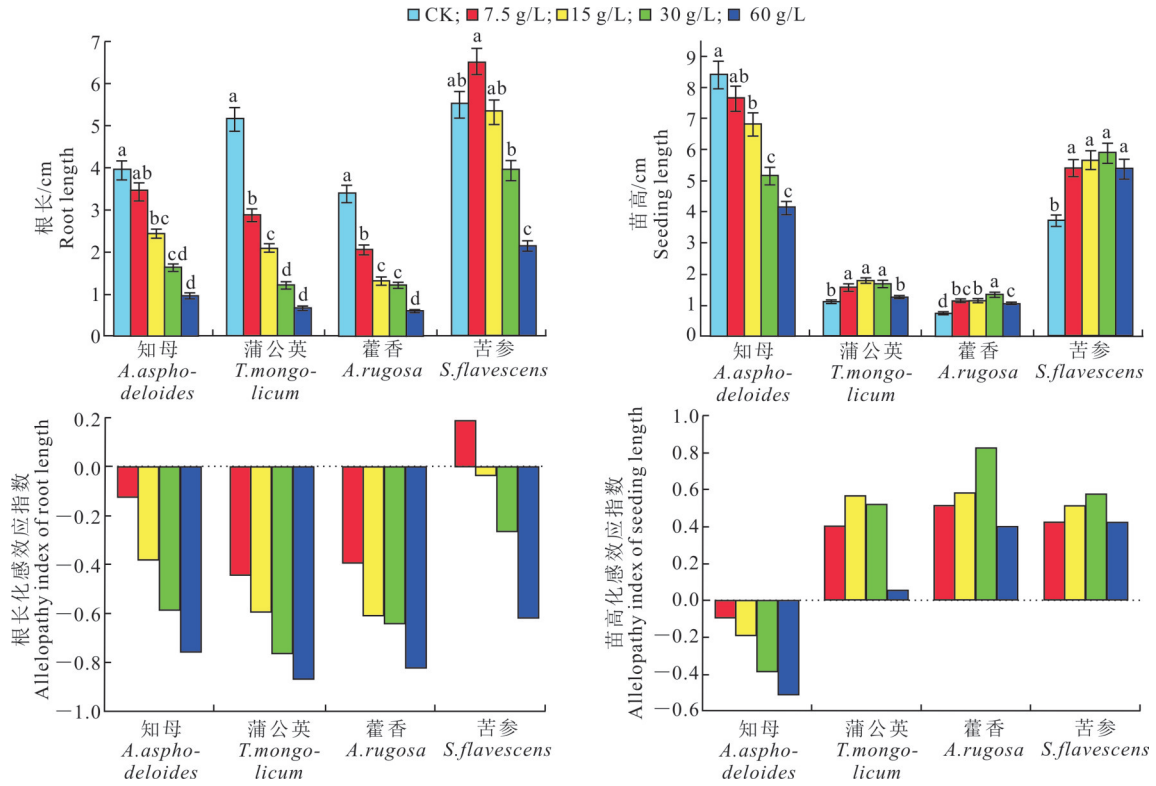


图 3 不同质量浓度国槐凋落叶浸提液对 4 种药用植物幼苗根长、苗高及其化感效应指数的影响

Fig. 3 Effects of different concentrations of aqueous extracts of fallen leaves from *Styphnolobium japonicum* on seed root length, seeding length and their allelopathic effect index of four medicinal plants

另外,知母、蒲公英、藿香和苦参幼苗根长的化感效应指数均随着浸提液质量浓度增加而逐渐降低,且除 7.5 g/L 处理组苦参幼苗根长的化感效应指数大于 0 外,其余植物及处理均小于 0,在 60 g/L

处理下知母、蒲公英、藿香和苦参根长的化感效应指数分别为－0.75，－0.87，－0.82 和－0.62。苗高化感效应指数除知母的各处理均小于 0 外，其余植物及处理均大于 0。随着浸提液质量浓度增加，知母苗高的化感效应指数逐渐降低，在 60 g/L 处理下最低（－0.51），而蒲公英、藿香和苦参苗高的化感效应指数则先降后升，其最大值分别为 0.57，0.82 和 0.58。根据化感效应指数的平均值分析，国槐凋落叶浸提液对 4 种植物幼苗根长和苗高的抑制作用由强至弱依次为知母、蒲公英、藿香和苦参。

2.4　国槐凋落叶浸提液对 4 种药用植物的综合化感效应

由图 4 可以看出，不同质量浓度的国槐凋落叶浸提液对 4 种药用植物的综合化感效应表现出一定差异。

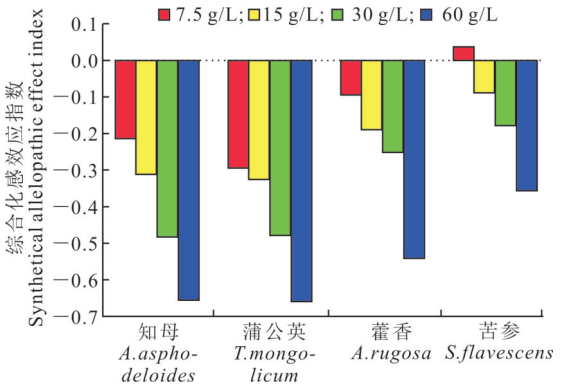


图 4　不同质量浓度国槐凋落叶浸提液对 4 种药用植物的综合化感效应

Fig. 4　Synthetical allelopathic effects of different concentrations of aqueous extracts of fallen leaves from *Styphnolobium japonicum* on four medicinal plants

在不同质量浓度浸提液处理下，知母、蒲公英及藿香的综合化感效应指数均小于 0，表明浸提液对这些种子的萌发及生长过程具有抑制作用，并且其抑制作用随着浸提液质量浓度的增加呈逐渐增强趋势。相比之下，苦参种子在 7.5 g/L 浸提液处理下的综合化感效应指数大于 0，表现出促进作用，而在其他质量浓度处理下则表现出抑制作用，显示出“低促高抑”的特点。从综合化感效应指数的排序来看，国槐凋落叶浸提液对蒲公英的化感效应影响最大，其次是知母、藿香，苦参受到的影响最小。在不同质量浓度国槐凋落叶浸提液处理中，60 g/L 处理的抑制作用最为显著，7.5 g/L 处理的抑制作用最弱。

2.5　国槐凋落叶浸提液对 4 种药用植物幼苗叶片生理指标的影响

2.5.1　*抗氧化酶活性*　由表 1 可见，藿香和苦参幼苗叶片的 SOD 活性随着国槐凋落叶浸提液质量浓度的增加呈先降后升趋势，分别在 7.5 和 15 g/L 处理下降至最低值，此时分别较相应对照组显著降低 44.08% 和 49.66%；当浸提液质量浓度达到 60 g/L 时，2 种植物叶片 SOD 活性均达到最大值，分别较对照组显著提高 18.55% 和 7.89%。随浸提液质量浓度增加，知母和蒲公英幼苗叶片的 SOD 活性基本呈先升后降趋势，并均在 15 g/L 处理下达到峰值，分别较相应对照组显著增加了 5.21% 和 21.78%。藿香、知母和苦参所有处理组幼苗叶片的 SOD 活性均与对照组存在显著差异。同时，知母幼苗叶片的 POD 活性随着国槐浸提液质量浓度的增加呈持续上升趋势，且各处理组均与对照组差异显著，在 60 g/L 处理下的增幅达到 112.22%；蒲公英幼苗叶片的 POD 活性则先升后降，并在 7.5 g/L 处理时达到最大值，但与对照组差异不显著；藿香和苦参幼苗叶片的 POD 活性基本呈先降后升趋势，分别在 30 和 7.5 g/L 处理下达到最低值，较对照组分别显著降低 39.74% 和 12.63%。各药用植物叶片抗氧化酶活性对国槐凋落叶浸提液处理的响应规律不尽相同。

2.5.2　*渗透调节物质含量*　藿香、知母和苦参幼苗叶片中可溶性蛋白含量随着浸提液质量浓度的增加而先升后降，蒲公英幼苗则表现为升-降-升趋势，且各处理组大多不同程度高于对照组。其中，藿香和知母幼苗均在 30 g/L 处理下达到最大值，分别较对照组显著提高了 102.87% 和 325.33%，而苦参和蒲公英幼苗均在 7.5 g/L 处理时达到峰值，分别较对照组显著提高了 64.54% 和 27.77%。同时，藿香、知母和苦参幼苗叶片的可溶性糖含量分别在 30 和 60 g/L、7.5～30 g/L、15 和 30 g/L 浸提液处理下显著高于对照，而蒲公英幼苗的可溶性糖含量在各处理下与对照均无显著差异；各药用植物幼苗叶片可溶性糖含量均在 30 g/L 处理时有最高值或次高值，此时藿香、知母、蒲公英和苦参幼苗叶片的可溶性糖含量分别较对照组显著提高了 80.76%，120.93%，39.35% 和 101.01%。另外，蒲公英幼苗叶片的脯氨酸含量在所有处理组中均显著低于对照组，且各质量浓度处理间均无显著差异，其中以 60 g/L 处理最低，较对照组显著降低了 47.50%；藿香、知母、苦参幼苗叶片的脯氨酸含量在不同质量浓度浸提液处理下大多与对照组无显著差异，三者仅分别在 7.5，30 和 60 g/L 处理下较对照有显著增加，此时增幅分别为 153.91%，56.83% 和 30.48%。

表1 不同质量浓度国槐凋落叶浸提液对4种药用植物幼苗叶片生理特性的影响

Table1 Effects of different concentrations of aqueous extracts of fallen leaves from *Styphnolobium japonicum* on the physiological characteristics in leaves of four medicinal plants seedlings

药用植物 Medicinal plants	浸提液质量浓度/(g·L^{-1}) Concentration of extract	SOD活性/(U·g^{-1}) SOD activity	POD活性/(U·g^{-1}) POD activity	可溶性蛋白含量/(g·L^{-1}) Soluble protein content	可溶性糖含量/(μg·g^{-1}) Soluble sugar content	脯氨酸含量/(μg·g^{-1}) Proline content
藿香 *A. rugosa*	0	383.87±5.74 c	449.52±6.20 a	930.40±93.13 c	530.53±122.36 b	48.30±10.65b
	7.5	214.65±18.76 e	454.92±14.96 a	1 051.93±134.33 c	477.68±111.66 b	122.64±45.82 a
	15.0	327.42±2.22 d	395.67±5.67 b	1 476.85±161.71 b	593.08±125.03 b	101.96±40.33 ab
	30.0	412.82±10.09 b	270.89±3.82 d	1 887.52±146.84 a	959.00±224.82 a	77.28±24.89 ab
	60.0	455.09±25.49 a	367.52±2.99 c	1 044.44±54.06 c	940.10±199.25 a	76.24±28.10 ab
知母 *A. asphodeloides*	0	867.55±1.76 d	84.11±2.19 d	333.95±9.22 e	140.60±29.51 b	25.25±3.04 b
	7.5	881.95±3.76 c	107.64±3.36 c	833.07±39.52 d	363.86±75.84 a	29.33±8.43 b
	15.0	912.77±5.19 a	151.37±3.12 b	968.75±7.32 c	271.90±56.27 a	20.63±5.60 b
	30.0	893.99±4.09 b	145.77±6.52 b	1 420.40±45.81 a	310.63±65.64 a	39.60±4.08 a
	60.0	898.40±2.05 b	178.50±12.62 a	1 214.25±75.84 b	74.59±15.55 b	26.47±2.37 b
蒲公英 *T. mongolicum*	0	384.65±6.17 b	350.12±10.99 ab	814.75±12.14 b	155.07±30.47 ab	40.21±9.37 a
	7.5	381.34±8.75 b	360.93±2.66 a	1 040.97±111.83 a	155.16±3.17 ab	24.64±3.36 b
	15.0	468.42±9.24 a	353.78±4.04 ab	998.89±24.99 a	203.20±30.75 ab	27.89±2.29 b
	30.0	263.36±21.79 c	338.89±9.14 b	749.92±37.87 b	216.09±43.40 a	25.61±3.19 b
	60.0	384.21±7.77 b	297.59±9.46 b	996.83±4.92 a	147.19±42.07 b	21.11±6.04 b
苦参 *S. flavescens*	0	407.77±21.90 b	367.20±8.64 ab	268.18±16.98 c	434.62±95.18 c	26.67±3.27 bc
	7.5	355.86±5.95 c	320.82±4.47 d	441.26±18.87 a	383.44±70.64 c	31.25±2.54 ab
	15.0	205.26±8.08 e	340.03±14.84 c	308.24±8.68 b	641.13±65.07 b	25.99±3.11 bc
	30.0	249.23±24.57 d	352.12±7.32 bc	255.37±7.75 c	873.65±121.86 a	22.03±4.48 c
	60.0	439.95±7.32 a	379.13±8.97 a	132.55±8.77 d	329.91±68.50 c	34.80±4.88 a

注:所有数据均为"平均值±标准差",同列数据后的不同小写字母表示同一植物不同处理间差异显著($P<0.05$)。

Note: All data are presented as "mean±standard deviation", and different lowercase letters following the data in the same column indicate significant differences between different treatments of the same plant($P<0.05$).

3 讨 论

3.1 国槐凋落叶浸提液对4种药用植物种子萌发的影响

植物通过自然挥发、雨水淋洗、凋落物分解及根系分泌等多种途径向周围环境释放化感物质,进而调控不同物种种子的萌发与幼苗成长,这对于植物的生长发育有着深远的影响[17-18]。陈新栋等[19]研究表明,垂穗披碱草(*Elymus nutans* Griseb.)种子的发芽率及发芽势在金露梅(*Dasiphora fruticosa*(L.)Rydb.)与川滇柳(*Salix rehderiana* C. K. Schneid.)凋落叶浸提液处理下呈现出"低促高抑"的浓度效应,而在头花杜鹃(*Rhododendron capitatum* Maxim.)凋落叶浸提液处理下则均呈现下降趋势。巴依牙·托列吾汗等[20]研究发现,叶用莴苣(*Lactuca sativa* L.)种子的发芽指数与活力指数随着长喙韭(*Allium saxatile* M. Bieb.)果皮水浸提液质量浓度的升高均呈现出逐渐降低趋势。本研究中,知母种子的发芽率、发芽势及其化感效应指数同样表现出随国槐凋落叶浸提液质量浓度增加先促进后抑制的"低促高抑"现象,而藿香和蒲公英种子的发芽率、发芽势及其化感指数则随浸提液质量浓度提升持续降低,且4种药用植物种子的发芽指数、活力指数及其化感效应指数也随浸提液质量浓度提升持续下降。这些结果揭示了化感作用的复杂性和多样性,"低促高抑"现象可能是低质量浓度浸提液中的化感物质含量未能达到抑制该植株生长的阈值,反而作为营养物质促进了受体植物的生长[21-22]。

3.2 国槐凋落叶浸提液对4种药用植物幼苗生长的影响

苗高和根长是评估植物生长发育的关键性指标。张先言等[23]研究发现,随着荷花玉兰(*Magnolia grandiflora* L.)、池杉(*Taxodium distichum* var. *imbricarium*(Nutt.)Croom)凋落叶浸提液质量浓度的升高,黑麦草(*Lolium perenne* L.)的苗高和根长均呈先增加后降低趋势。张伟等[24]报道,大白菜(*Brassica rapa* var. *glabra* Regel)和鹰嘴豆(*Cicer arietinum* L.)的相对胚根长度在8和10 mg/mL实

葶葱（*Allium galanthums*）新叶水浸液处理下显著降低。赵烛芳等[25]研究表明，紫茎泽兰（*Ageratina adenophora*（Spreng.）R. M. King & H. Rob.）浸提液对水稻（*Oryza sativa* L.）种子根长的化感效应的敏感性强于苗高，与本研究结果相似。在国槐凋落叶浸提液质量浓度递增条件下，苦参幼苗根长呈现先增后减趋势，蒲公英及藿香的根长则持续递减；相比之下，这些植物苗高普遍呈现增长态势。此外，知母的根长与苗高均随国槐凋落叶浸提液质量浓度的提升呈现下降趋势，但其中根长的受抑制程度更为显著。这可能因为根部直接接触浸提液中的化感物质，更容易受到化感物质的影响，导致植株根的生长受阻，影响根系对水分和土壤养分的吸收能力，进而抑制了苗高的生长[26]。从综合化感效应分析，国槐凋落叶浸提液对苦参的抑制作用最小，可能原因是苦参种子表面有一层坚固的种皮，使其对化感物质有较好的抗性和耐受性[27]。

3.3　国槐凋落叶浸提液对 4 种药用植物幼苗叶片生理指标的影响

植物在受到化感物质作用时，植物体内抗氧化系统中的 SOD 和 POD 的活性也会发生变化，这一变化构成了植物应对外界胁迫的关键生理适应机制[28]。本研究发现，随着国槐凋落叶浸提液质量浓度的升高，知母叶片 SOD 活性及蒲公英叶片的 SOD 和 POD 活性均呈现出先升高后降低的趋势，这与大多数化感作用的研究结果[29-30]相似。而藿香和苦参叶片的 SOD 和 POD 活性基本表现出先降后升的相反趋势，王钰焕等[31]研究发现，随着珍珠猪毛菜（*Caroxylon passerinum*（Bunge）Akhani & Roalson）各器官浸提液质量浓度的升高，红砂（*Reaumuria songarica*（Pall.）Maxim.）幼苗的 SOD 和 POD 活性也呈现出先降低后升高的趋势。其原因可能是当植物受到化感物质的初步影响时，其生理生化过程受到干扰，导致抗氧化系统暂时紊乱，随着化感作用时间的延长及强度递增，目标植物逐渐适应了这种胁迫环境，SOD 和 POD 活性随着胁迫程度的增加而增强，以清除体内积累的过量活性氧（ROS），保护细胞免受进一步损伤。

同时，可溶性蛋白、可溶性糖及脯氨酸作为植物体内关键的渗透调节物质，共同参与维持植物体内的渗透势平衡，减轻逆境对植物造成的伤害[32]。在受到国槐凋落叶浸提液处理后，藿香、知母和苦参幼苗叶片中的可溶性蛋白含量、蒲公英叶片的可溶性糖含量及藿香叶片的脯氨酸含量均表现出先升高后降低的趋势，这与许凌峰等[33]发现云南松（*Pinus yunnanensis* Franch.）凋落叶分解后对滇重楼（*Paris polyphylla* var. *yunnanensis*（Franch.）Hand.-Mazz.）叶片可溶性糖含量的影响在初期呈现增长趋势、后期转为下降趋势的结果相似。这可能是因为在低质量浓度凋落叶浸提液处理时，幼苗通过增加可溶性糖、可溶性蛋白和脯氨酸的合成来提高抗逆性及环境适应能力，而在高质量浓度浸提液处理下，化感物质含量的增多可能会干扰幼苗的正常生理功能，导致细胞膜通透性增加、代谢紊乱等，进而导致其渗透调节物质含量逐渐下降。

4　结　论

不同质量浓度国槐凋落叶浸提液对知母、蒲公英、藿香及苦参 4 种药用植物种子萌发及幼苗生理指标均产生了不同程度的影响，影响程度因浸提液质量浓度的增加和物种不同而存在一定差异。国槐凋落叶浸提液对蒲公英、藿香、知母种子萌发及幼苗生长呈浓度依赖性抑制效应，而对苦参种子呈现“低质量浓度促进，高质量浓度抑制”的化感效应。与对照相比，随着浸提液质量浓度增加，叶片 SOD 活性在藿香和苦参中先降后升，而在知母和蒲公英中基本呈先升后降趋势；叶片 POD 活性在知母中持续上升，在蒲公英中先升后降，而在藿香和苦参中则先降后升。藿香、知母和苦参幼苗叶片的可溶性蛋白含量、蒲公英叶片的可溶性糖含量及藿香叶片的脯氨酸含量均随国槐浸提液质量浓度升高呈先升后降的动态响应。根据化感效应强度综合分析，4 种药用植物对国槐凋落叶浸提液的敏感程度由强至弱依次为蒲公英＞知母＞藿香＞苦参，即苦参、藿香种子和幼苗对国槐凋落叶浸提液的耐受性较强，蒲公英和知母的耐性较差。

[参考文献]

[1]　杨文杰，赵信如，巩前文. 北京“百万亩造林”对浅山区生物多样性的影响评价[J]. 中国农业资源与区划，2020，41(4)：83-93.
YANG W J，ZHAO X R，GONG Q W. Biodiversity impact assessment of “one million mu afforestation” in the shallow mountain area of Beijing [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning，2020，41(4)：83-93.

[2]　李佳慧，彭祚登，刘勇. 北京市区国槐表型差异及综合评价研究[J]. 北京林业大学学报，2022，44(6)：23-33.
LI J H，PENG Z D，LIU Y. Phenotypic difference and compre-

hensive evaluation of *Sophora japonica* in Beijing urban area [J]. Journal of Beijing Forestry University, 2022, 44(6): 23-33.

[3] 孙昱,彭祚登. 国槐的历史文化与价值研究[J]. 北京林业大学学报(社会科学版),2018,17(2):23-31.
SUN Y, PENG Z D. Insights into history culture and value of *Sophora japonica* [J]. Journal of Beijing Forestry University (Social Sciences), 2018, 17(2): 23-31.

[4] 万修福,王升,康传志,等. "十四五"期间中药材产业趋势与发展建议[J]. 中国中药杂志,2022,47(5):1144-1152.
WAN X F, WANG S, KANG C Z, et al. Chinese medicinal materials industry during the 14th Five-Year Plan period: trends and development suggestions[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2022, 47(5): 1144-1152.

[5] 康传志,刘思奇,韩邦兴,等. 中药生态农业的发展目标及策略 [J]. 中国中药杂志,2025,50(1):42-47.
KANG C Z, LIU S Q, HAN B X, et al. Development goals and strategies of ecological agriculture of Chinese materia medica [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2025, 50(1): 42-47.

[6] 赵麟萱,窦亚权,林昆仑,等. 林下经济发展与践行大食物观:耦合关系与协同路径[J]. 世界林业研究,2024,37(2):15-21.
ZHAO L X, DOU Y Q, LIN K L, et al. Development of non-timber forest-based economy and practice of all-encompassing approach to food: coupling relationship and collaborative approach[J]. World Forestry Research, 2024, 37(2): 15-21.

[7] 文定梅,张洪彪,秦凤园,等. 林下环境因子对药用植物林下种植的影响[J]. 中国中药杂志,2025,50(5):1164-1171.
WEN D M, ZHANG H B, QIN F Y, et al. Effects of understory environmental factors on understory planting of medicinal plants[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2025, 50(5): 1164-1171.

[8] HIERRO J L, CALLAWAY R M. The ecological importance of allelopathy [J]. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, 2021, 52: 25-45.

[9] 范晓慧,马勇,钱嘉鑫,等. 10种典型城市绿化树木凋落叶对4种作物种子萌发及幼苗生长的化感效应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2022,50(2):25-33,44.
FAN X H, MA Y, QIAN J X, et al. Allelopathic effects of fallen leaves of ten typical urban greening trees on seed germination and seedling growth of four crops[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2022, 50(2): 25-33,44.

[10] 汪琼,闻永慧,辛培尧. 两种乔木落叶浸提液对高羊茅幼苗生长和根际土壤酶活性的影响[J]. 草业科学,2024,41(6):1288-1296.
WANG Q, WEN Y H, XIN P Y. Effects of two kinds of tree litter leaf extracts on the growth and rhizosphere soil enzyme activity of *Festuca arundinacea* [J]. Pratacultural Science, 2024, 41(6): 1288-1296.

[11] 阮坤非,王天琪,侯立娜,等. 栾树凋落叶对3种中药材种子萌发及幼苗生长的化感效应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2024,52(6):40-48,61.
RUAN K F, WANG T Q, HOU L N, et al. Allelopathic effects of *Koelreuteria paniculata* fallen leaves on seed germination and seedling growth of three medicinal plants[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2024, 52(6): 40-48, 61.

[12] 阮坤非,王天琪,毕宁宁,等. 元宝枫凋落叶浸提液对3种中草药化感作用的研究[J]. 草业学报,2024,33(7):151-159.
RUAN K F, WANG T Q, BI N N, et al. Allelopathic effects of aqueous extracts of fallen leaves of *Acer truncatum* on three medicinal plants[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2024, 33(7): 151-159.

[13] 裘波音,林珲,张前荣,等. 低温下苦瓜种子萌发差异评价及相关基因鉴定分析[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2025,53(10):85-99.
QIU B Y, LIN H, ZHANG Q R, et al. Evaluation of seed germination difference and identification of related genes in bitter gourd (*Momordica charantia* L.) under low temperature[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2025, 53(10): 85-99.

[14] 叶尔那扎尔·伊热买克巴依,张炎,李利,等. 凋落物对西伯利亚落叶松天然更新的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2025,53(6):48-56.
YERNAZHAER Y, ZHANG Y, LI L, et al. Impact of litter on natural regeneration of *Larix sibirica*[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2025, 53(6): 48-56.

[15] 贾凤勤,黎良财,隆卫革,等. 湿地松种子萌发对4种人工林树种叶片水浸提液的响应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2023,51(4):65-72.
JIA F Q, LI L C, LONG W G, et al. Effects of fresh leaf aqueous extract from four artificial forest trees on seed germination of *Pinus elliottii* [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2023, 51(4): 65-72.

[16] BRUCE W G, RICHARDSON D. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls[J]. Journal of Chemical Ecology, 1988, 14(1): 181-187.

[17] 张家迪,刘双清,邬腊梅,等. 北美车前提取液对稗草和千金子的化感作用 [J]. 草地学报,2024,32(2):510-516.
ZHANG J D, LIU S Q, WU L M, et al. Allelopathic effects of *Plantago virgica* extract on *Echinochloa crus-galli* and *Leptochloa chinensis*[J]. Acta Agrestia Sinica, 2024, 32(2): 510-516.

[18] 荆蓉,彭祚登,李云,等. 刺槐林下凋落物浸提液对刺槐种子萌发和胚生长的化感作用[J]. 浙江农林大学学报,2023,40(1):97-106.
JING R, PENG Z D, LI Y, et al. Allelopathy of the litter extracts from *Robinia pseudoacacia* forest on its seed germination and embryo growth[J]. Journal of Zhejiang A&F University, 2023, 40(1): 97-106.

[19] 陈新栋,曹文侠,王世林,等. 东祁连山灌丛凋落叶水浸提液对垂穗披碱草种子萌发和幼苗生长的影响[J]. 生态学报,2023,43(6):2524-2534.

CHEN X D，CAO W X，WANG S L，et al. Effects of leaf litter aqueous extract on seed germination and seedling growth of *Elymus nutans* in Eastern Qilian Mountains [J]. Acta Ecologica Sinica，2023，43(6)：2524-2534.

[20] 巴依牙·托列吾汗，迪丽热巴·莫合太江，林辰壹. 长喙韭果皮水浸提液对叶用莴苣种子萌发和幼苗生长的化感作用[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2025，53(4)：34-43.
TUOLIEWUHAN B，MOHETAIJIANG D，LIN C Y. Chemosensory effects of aqueous extract of *Allium saxatile* pericarp on seed germination and seedling growth of *Lactuca sativa* [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)，2025，53(4)：34-43.

[21] 胡缓，何松林，张晋瑞，等. 小蓬草水浸液对2种花卉种子萌发及幼苗生长的化感作用[J]. 西北植物学报，2023，43(9)：1528-1536.
HU H，HE S L，ZHANG J R，et al. Allelopathic effects of aqueous extract from *Conyza canadensis* on seed germination and seedling growth of two herbaceous flower species[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica，2023，43(9)：1528-1536.

[22] 师小平，陈银萍，闫志强，等. 植物化感作用研究进展[J]. 生物技术通报，2020，36(6)：215-222.
SHI X P，CHEN Y P，YAN Z Q，et al. Research progress on plant allelopathy [J]. Biotechnology Bulletin，2020，36(6)：215-222.

[23] 张先言，陈倩，黄琳曦，等. 两树种凋落叶水浸提液对黑麦草生长和根系分泌物的影响[J]. 草业科学，2025，42(2)：396-410.
ZHANG X Y，CHEN Q，HUANG L X，et al. Effects of leaf litter water extract of two tree species on the growth and root exudates of ryegrass[J]. Pratacultural Science，2025，42(2)：396-410.

[24] 张伟，李文静，林辰壹，等. 实葶蔥新叶水浸液对10种作物种子萌发的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2021，49(2)：112-119.
ZHANG W，LI W J，LIN C Y，et al. Effect of water extracts from fresh leaves of wild *Allium galanthums* on seed germination of ten crops [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition)，2021，49(2)：112-119.

[25] 赵烛芳，杨佩儒，何丽萍，等. 紫茎泽兰对水稻种子萌发的化感作用[J]. 云南农业大学学报(自然科学)，2023，38(6)：907-912.
ZHAO Z F，YANG P R，HE L P，et al. Allelopathy of *Eupatorium adenophorum* on seed germination of rice[J]. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science)，2023，38(6)：907-912.

[26] 胡婧，李德颖，朱慧森，等. 草地早熟禾叶和根茎浸提液对3种花卉植物种子萌发的影响[J]. 草地学报，2019，27(1)：178-184.
HU J，LI D Y，ZHU H S，et al. Effect of water extractions from the leaves and rhizomes of kentucky bluegrass on seed germination of three herbaceous ornamentals[J]. Acta Agrestia Sinica，2019，27(1)：178-184.

[27] 石国庆，隋晓青，杨静，等. 苦豆子根、茎、叶浸提液对4种牧草种子萌发的化感作用[J]. 草地学报，2022，30(8)：2223-2230.
SHI G Q，SUI X Q，YANG J，et al. Allelopathic effects of extracts from roots，stems and leaves of *Sophora alopecuroides* on seed germination of four forage species[J]. Acta Agrestia Sinica，2022，30(8)：2223-2230.

[28] 王占娣，赵静，陈绍娟，等. 入侵植物肿柄菊不同组织提取液对千金子的化感作用[J]. 热带作物学报，2023，44(2)：385-393.
WANG Z D，ZHAO J，CHEN S J，et al. Allelopathy of extracts from different tissues of invasive plant，mexican sunflower on *Leptochloa chinensis*[J]. Chinese Journal of Tropical Crops，2023，44(2)：385-393.

[29] 杨建霞，范小峰，邵姜伟，等. 短柄五加叶黄酮抑菌活性及对洋葱的化感效应[J]. 西北植物学报，2024，44(9)：1402-1410.
YANG J X，FAN X F，SHAO J W，et al. Antibacterial activity of the flavonoid extracts from *Eleutherococcus brachypus* leaves and the allelopathic effects on *Allium cepa*[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica，2024，44(9)：1402-1410.

[30] 刘蕾，乔国兰，徐倩，等. 多年生黑麦草水浸提液对结缕草化感作用研究 [J]. 中国草地学报，2024，46(7)：18-26.
LIU L，QIAO G L，XU Q，et al. Alleopathy of perennial ryegrass aqueous extract on *Zoysia japonica*[J]. Chinese Journal of Grassland，2024，46(7)：18-26.

[31] 王钰焕，种培芳，张建喜，等. 红砂与珍珠猪毛菜水浸提液对其幼苗生长的化感作用[J]. 草业学报，2024，33(12)：99-110.
WANG Y Y，CHONG P F，ZHANG J X，et al. Allelopathic effects of aqueous extracts from *Reaumuria soongorica* and *Salsola passerina* on seedling growth [J]. Acta Prataculturae Sinica，2024，33(12)：99-110.

[32] 周琦锐，赵梦停，杨丽，等. 外源6-BA对孕穗期低温胁迫后小麦旗叶生理、产量及品质的影响[J]. 应用生态学报，2024，35(6)：1573-1582.
ZHOU Q R，ZHAO M T，YANG L，et al. Effects of exogenous 6-BA on flag leaf physiology，yield，and quality of wheat after low temperature stress at booting stage[J]. Chinese Journal of Applied Ecology，2024，35(6)：1573-1582.

[33] 许凌峰，李卓蔚，郭冬琴，等. 云南松凋落叶分解对滇重楼生理特性及药用品质的影响[J]. 生态学杂志，2022，41(12)：2361-2367.
XU L F，LI Z W，GUO D Q，et al. Effects of leaf litter decomposition of *Pinus yunnanensis* on physiological characteristics and medicinal quality in *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*[J]. Chinese Journal of Ecology，2022，41(12)：2361-2367.

（责任编辑：温晓平）