网络出版时间:2026-01-09 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.07.016

砂生槐提取物的杀虫活性及其生物碱含量分析

颉彩霞[1,2],方辽[1,2],郭光辉[1,2],臧建成[1,2]
(1 西藏农牧大学 植物科学学院,西藏 林芝 860000;2 西藏高原资源昆虫与应用昆虫实验室,西藏 林芝 860000)

[摘 要] 【目的】以甲醇、乙醇、乙酸乙酯、丙酮和石油醚等5种不同极性溶剂对砂生槐不同部位进行浸提,分析其不同部位不同溶剂提取物的杀虫活性及生物碱含量,筛选砂生槐不同部位杀虫活性成分提取的适宜溶剂。【方法】分别以甘蓝蚜、萝卜蚜和小菜蛾3龄幼虫为靶标,采用微量点滴法测定甲醇、乙醇、乙酸乙酯、丙酮和石油醚等5种不同极性溶剂砂生槐不同部位提取物对其的触杀活性。并采用高效液相色谱法(HPLC)分析砂生槐不同部位甲醇提取物中生物碱(氧化槐果碱、苦参碱、槐果碱、槐定碱))的含量。【结果】杀虫活性测定结果表明,砂生槐根部乙醇提取物对萝卜蚜的触杀作用最强,处理48 h校正死亡率为80.59%;砂生槐种子甲醇提取物对甘蓝蚜的触杀活性最好,处理48 h校正死亡率达到83.83%;砂生槐种子和叶片甲醇提取物对小菜蛾3龄幼虫具有较高的触杀活性,处理48 h校正死亡率均为73.96%。HPLC分析结果表明,砂生槐种子、叶片、茎和根均检测到氧化槐果碱、苦参碱和槐果碱,均未检测到槐定碱。砂生槐不同部位生物碱总含量从大到小依次为种子>叶片>茎>根,砂生槐种子中生物碱总含量显著高于其他部位;砂生槐不同部位中生物碱含量均为氧化槐果碱>苦参碱>槐果碱,其中氧化槐果碱占生物碱总含量的90%以上。甲醇提取物中生物碱总含量高的部位杀虫活性显著高于生物碱总含量低的部位,生物碱总含量越高的部位杀虫效果越好。【结论】甲醇和乙醇可作为提取砂生槐杀虫活性成分的优选溶剂,砂生槐不同部位均含有氧化槐果碱、苦参碱和槐果碱,且氧化槐果碱含量显著高于苦参碱和槐果碱,占生物碱总含量的90%以上。砂生槐种子和叶片中的生物碱总含量高于茎和根。

[关键词] 砂生槐;粗提物;杀虫活性;生物碱;高效液相色谱法
[中图分类号] S482.1 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)07-0150-09

Analysis of the insecticidal activity and alkaloid content of different solvent extracts of sand-growing *Sophora moorcroftiana*

XIE Caixia[1,2],FANG Liao[1,2],GUO Guanghui[1,2],ZANG Jiancheng[1,2]
(1 *College of Plant Science,Xizang Agricultural and Animal Husbandry University,Linzhi,Xizang* 860000,*China*;
2 *Lab of Resource and Applied Insect in the Xizang Plateau,Linzhi,Xizang* 860000,*China*)

Abstract:【Objective】The methanol,ethanol,ethyl acetate,acetone and petroleum ether were used to extract different parts of *Sophora moorcroftiana* to analyze the insecticidal activity and the content of alkaloids in different solvent extracts of different parts,and to select the appropriate solvent for the extraction of insecticidal active ingredients in different parts of *Sophora moorcroftiana*.【Method】With *Brevicoryne brassiace*,*Lipaphis erysimi*,and the 3rd instar larvae of *Plutella xylostella* target insects,micro-dropping method was used to determine the contact killing activity of extracts from different parts of *Sophora moorcroftiana* obtained by 5 different

[收稿日期] 2025-04-11 [修回日期] 2025-06-26
[基金项目] 西藏自治区科技计划重点研发及转化项目(XZ202301ZY0019N);2023年西藏农牧学院研创项目(YJS2024-07);西藏农牧学院林学博士点(一期)资助项目(533325001);国家重点研发计划项目(2023YFD2201100);2025年中央财政支持地方高校发展改革专项(YJSXK2025-05,YJSXK2025-15)
[作者简介] 颉彩霞(1998—),女,甘肃平凉人,在读硕士,主要从事植物源农药研究。E-mail:3332825867@qq.com
[通信作者] 臧建成(1977—),男,甘肃通渭人,教授,主要从事昆虫生态、土壤动物及农林害虫防治研究。E-mail:zangjc2008@163.com

polar solvents (methanol, ethanol, ethyl acetate, acetone and petroleum ether). And the content of alkaloids (oxymatric, matricine, saponin, cytisine) in the methanol extract of different parts of *Sophora moorcroftiana* was analyzed by using high performance liquid chromography (HPLC). 【Result】 Results of insecticidal activity determination showed that the ethanol extract of *Sophora moorcroftiana* roots had the best contact killing activity against radish aphid, and the corrected mortality after 48 h of treatment reached 80.59%. The methanol extract of *Sophora moorftiana* seeds had the best contact killing activity against cabbage aphid, and the corrected mortality after 48 h of treatment reached 83.83%. The methanol extracts of *Sophora moorcroftiana* seeds and leaves had relatively high contact killing activity against the 3rd instar larvae of diamondback moth, and the mortality after 48 h of treatment was 73.96%. HPLC analysis showed that oxidized saponin, matricine and saponin were detected in *Sophora moorcroftiana* seeds, leaves, stems and roots, and cytisine was not detected. The total contents of alkaloids in different parts of *Soph moorcroftiana* were ranked as: seeds>leaves>stems>roots, and the total content of alkaloids in *Sophora moorcroftiana* seeds was significantly higher than those in other parts. The contents of alkaloids in different parts of *Sophora moorcroftiana* were ranked as: oxymatricine>matricine>saponin, and oxymricine accounted for more than 90% of the total alkaloids. The parts with higher total alkaloid content in the methanol extracts exhibited significantly stronger insecticidal activity than those with lower alkaloid content. The higher the total content of alkaloids, the better the insecticidal effect. 【Conclusion】 Manol and ethanol can be used as the preferred solvents for the extraction of insecticidal active ingredients of *Sophora moorcroftiana*. Different parts of *Sophora moorftiana* all contain oxymatricine, matricine and saponin, and the content of oxymatricine is significantly higher than that of matricine and saponin, accounting for more than 90% of the total alkaloids. The total content of alkaloids in the seeds and leaves of *Sophora moorcroftiana* is higher than that in the stems and roots.

Key words: *Sophora moorcroftiana*; crude extract; insecticidal activity; alkaloid; high-performance liquid chromatography

砂生槐(*Sophora moorcroftiana*)是西藏特有植物，为豆科(Fabaceae)苦参属(*Sophora* L.)多年生落叶小灌木[1]，集中分布于雅鲁藏布江河谷及海拔2 800～4 400 m的山坡灌丛、沙质河滩等区域，常形成优势群落。其根系发达，是高原生态恢复的先锋树种，具有防风固沙，保持水土等生态功能[2-3]。化学农药的过度使用导致生物抗药性增强及生态环境污染严重，植物源农药因其环境兼容性和多靶点作用机制备受关注[4]。据藏医药文献记载，砂生槐种子、根、茎、叶均具药用价值，具有清热解毒、抗炎抑菌、杀虫、强心、抗心律失常等功效，且其生物碱类成分有显著的杀虫活性，极具开发前景[5]。已有研究表明，砂生槐种子中含有大量生物碱，且其水溶性生物碱具有高效抗虫成分并可抑制包囊内原头蚴生长[6]。DAS等[7]研究发现，印楝(*Azadirachta indica*)、夹竹桃(*Nerium oleander* L.)、水蓼(*Polygonum hydropiper* L.)和毛茎薯(*Ipomoea marginata*)提取物对豆类蚜虫(*Aphis craccivora*)具有很好的控制效果。IKBAL等[8]研究发现，罗勒(*Ocimum basilicum* L.)、唇萼薄荷(*Mentha pulegium* L.)、辣薄荷(*Mentha*×*piperita*)、茴香(*Foeniculum vulgare* Mill)和茴芹(*Pimpinella anisum* L.)粗提物精油作用7 d对蚜虫的致死率为94%。梁亚萍[9]研究发现，豆科植物紫穗槐果实对多种害虫具有触杀、胃毒、拒食等生物活性；沈静等[10]对129种植物丙酮提取物进行杀虫活性筛选，发现乳浆大戟(*Euphorbia esula* L.)、狭叶青海大戟(*Euphorbia kozlovii* Prokh)、北芸香(*Haplophyllum dauricum*)、草地风毛菊(*Saussurea amara*(L.)DC.)、毛裂蜂斗菜(*Petasites tricholobus* Franch)、蒲儿根(*Sinecio aldhamianus* Maxim)、竹灵消(*Panax ginseng* C. A. Mey)和苍耳七(*Parnassia palustris* Linn)等8种植物丙酮提取物对小菜蛾3龄幼虫的校正死亡率均在70%以上。张惠丽等[11]研究表明，丹参丙酮提取物对小菜蛾具有致死和拒食作用，其稀释倍数与致死效果及拒食效果呈负相关。臧建成等[12]通过测定8种植物粗提物对甘蓝蚜的趋避作用和触杀活性，发现处理60 h后，花椒(*Zanthoxylum bungeanum*)、紫茉莉(*Mirabilis jalapa* L.)、鸡爪槭(*Acer palmatum* Thunb)和砂生槐提取物对甘蓝蚜

的校正死亡率为75%～86%,具有较高的杀虫活性。早在1986年,崔建芳等[13]研究发现,砂生槐种子含有氧化苦参碱、氧化槐果碱和苦参碱,且其对蚜虫和鳞翅目幼虫具有显著触杀和拒食活性。目前针对砂生槐的研究多集中在药用成分分离,但其作为植物源农药的活性机制尚未充分挖掘。

十字花科蔬菜是全球重要的经济作物[14],但其在生长过程中常遭受蚜虫(*Aphididae*)、小菜蛾(*Plutella xylostella*)、菜青虫(*Pieris rapae*)等害虫的危害,严重影响其产量与品质。西藏植物多样性较高,物种组成丰富,对生态文明建设及动植物种质资源保护具有重要意义。本研究从西藏拉萨北山同一海拔高度地区采集砂生槐植株不同部位,用不同极性溶剂提取的粗提物对甘蓝蚜、萝卜蚜、小菜蛾3龄幼虫进行生物活性测定;并利用高效液相色谱法对砂生槐不同部位所含生物碱成分及含量进行分析,明确其生物碱含量高的部位,提高活性成分提取效率,通过多组分协同作用增强杀虫效果,以期为植物源杀虫剂的合理开发提供新的植物资源,也为害虫的绿色防治提供新思路。

1 材料与方法

1.1 供试材料

1.1.1 *砂生槐材料* 砂生槐种子、叶片、茎和根部于2024年7月中旬采自西藏自治区拉萨市北山天然灌木林,海拔3 671.9 m。将采集的砂生槐根、叶、茎及种子(成熟果实)洗净后切段或切碎阴干,粉碎过425 μm筛,室温保存备用。

1.1.2 *供试虫源* 甘蓝蚜、萝卜蚜均采自西藏农牧大学试验地自然种群,置于西藏农牧大学昆虫实验室养虫室饲养。养虫室温度(26±1)℃,相对湿度(80±5)%,光照L∶D=14 h∶10 h。接种到室内栽培的油菜植株上,完成3代繁殖后,挑取体型大小一致,健康无翅成蚜备用。小菜蛾3龄幼虫采自西藏农牧大学实践基地油菜田,接种到室内栽培油菜上,饲养后挑选整齐一致的3龄幼虫备用。

1.2 仪器与试剂

1.2.1 *仪 器* U3000型高效液相色谱仪,赛默飞世尔公司;BJ-800A型高速多功能粉碎机,拜杰DAIJIE;DHG-9240A型电热恒温鼓风干燥箱,上海三发科学仪器有限公司;YHM-5003电子天平,惠州市英衡电子科技有限公司;SHB-Ⅲ循环水式真空泵、低温冷却循环泵DLSB、IKA RV10型旋转蒸发仪,河南省予华仪器有限公司。

1.2.2 *试 剂* 氧化槐果碱、苦参碱、槐果碱和槐定碱标准品(纯度≥98%)以及磷酸二氢钾、磷酸均为分析纯,乙腈、甲醇为色谱纯,均购于百灵威科技有限公司;乙醇、乙酸乙酯、丙酮和石油醚均为化学纯(废液回流处理),购自天津致远有限责任公司。

1.3 砂生槐粗提物的制备

采用冷浸渍法[15]提取砂生槐不同部位粗提物。具体为:分别称取砂生槐种子、叶片、茎和根部粉末50 g,均置于棕色广口瓶中,分别加入500 mL甲醇、乙醇、乙酸乙酯、丙酮和石油醚浸泡72 h,过滤后收集滤液;滤渣继续用500 mL上述不同极性溶剂浸泡48 h,过滤后收集滤液;滤渣再继续用500 mL上述不同极性溶剂浸泡24 h,过滤后收集滤液;弃除残渣,合并3次滤液,滤液经IKA RV10型旋转蒸发仪减压浓缩至干,即为粗提物浸膏,称其质量,计算粗提物产出率。粗提物产出率=(粗提物质量/样品质量)×100%。砂生槐不同部位不同极性溶剂粗提物浸膏用甲醇溶解并定容至50 mL,相当于植物干样品质量浓度为1 000 g/L,5 ℃冰箱保存备用,生物测定前加入1%表面活性剂JFC(C7－C9烷醇聚氧乙烯醚)。

1.4 砂生槐粗提物对甘蓝蚜、萝卜蚜和小菜蛾3龄幼虫触杀作用的测定

采用微量点滴法[16]测定砂生槐粗提物对甘蓝蚜、萝卜蚜和小菜蛾3龄幼虫的触杀作用。将砂生槐粗提物浸膏甲醇原液用蒸馏水稀释成30倍液,相当于植物干样品质量浓度为33.33 g/L。挑选大小一致、健康活跃的甘蓝蚜和萝卜蚜无翅成蚜,用毛细管将药液点在蚜虫的胸背部,放入装有新鲜寄主植物并铺有湿滤纸保湿的培养皿中。每处理至少30头,重复5次。以甲醇＋JFC用水稀释成30倍液处理作为对照;分别在处理24,48 h后调查甘蓝蚜和萝卜蚜死亡虫数(用毛笔轻触蚜虫,蚜虫无反应视之为死亡),计算死亡率和校正死亡率。

死亡率=死亡虫数/调查总虫数×100%;

校正死亡率=[(处理死亡率－对照死亡率)/(1－对照死亡率)]×100%。

将砂生槐粗提物浸膏甲醇原液用蒸馏水稀释成10倍液,相当于植物干样品质量浓度为100 g/L。挑选大小一致的3龄初期小菜蛾幼虫,用0.3 μL点滴器将药液点在小菜蛾的前胸背板上,放入铺有滤纸保湿的15 cm培养皿中,饲喂新鲜油菜叶片。每

处理至少10头幼虫，重复5次。以甲醇＋JFC用水稀释成10倍液作为对照。分别在处理24，48 h后调查小菜蛾死亡虫数，计算死亡率和校正死亡率。

1.5　砂生槐提取物中生物碱含量的测定

1.5.1　溶液制备　标准品溶液的制备。分别准确称取1 mg氧化槐果碱、槐定碱、苦参碱、槐果碱标准品，用甲醇溶解并定容，配制成质量浓度为1 mg/mL的单一标准品储备液备用。

样品溶液的制备。分别准确称取0.1 g砂生槐种子、茎、叶和根部粉末，置于具塞锥形瓶中，加入10～20 mL甲醇提取溶剂（含0.1%～0.5%甲酸的甲醇），超声提取30～60 min，功率200～400 W，频率40 kHz。将提取液转至离心管中，以4 000～10 000 r/min离心5～10 min，取上清液；用甲醇-水混合溶剂定容至10 mL，经0.45 μm有机相滤膜过滤后，用于高效液相色谱分析。

1.5.2　色谱条件　色谱柱：Syncronis C18（250 mm×4.6 mm×5 μm）。流动相A：0.02 mol/L磷酸二氢钾，pH＝8；流动相B：乙腈与甲醇体积比为1∶1。梯度洗脱（0～20 min，85%A→60%A，15%B→40%B；20～35 min，60%A→20%A，40%B→80%B；35～42 min，20%A→85%A，80%B→15%B；42～50 min，85%A→85%A，15%B→15%B）；柱温30 ℃，流速1.0 mL/min，进样量20 μL，检测波长220 nm。用峰面积法计算得到的生物碱含量，按下式计算实际生物碱含量。

$$C=(Cx\times V\times 稀释倍数)/(m\times 1\,000)。$$

式中：C为实际检出的生物碱浓度，Cx为经过校正后的碱含量测试原始值，V为样品溶液定容体积，m为样品质量。

1.6　数据处理与分析

采用Excel 2022和Origin 2024对试验数据进行处理和绘图，采用SPSS 25.0对试验数据进行差异显著性分析。

2　结果与分析

2.1　砂生槐粗提物对甘蓝蚜、萝卜蚜和小菜蛾3龄幼虫的触杀作用

砂生槐粗提物对甘蓝蚜、萝卜蚜和小菜蛾3龄幼虫的触杀作用如表1和表2所示。

表1　砂生槐提取物对甘蓝蚜、萝卜蚜和小菜蛾3龄幼虫的触杀作用（24 h）

Table 1　Contact killing effects of *Sophora alopecuroides* extract on *Brevicoryne brassicae*, *Lipaphis erysimi* and the 3rd instar larvae of *Plutella xylostella*（24 h）

部位 Part	提取溶剂 Extracting solvent	校正死亡率/% Corrected mortality rate		
		甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae*	萝卜蚜 *Lipaphis erysimi*	小菜蛾 *Plutella xylostella*
种子 Seed	甲醇 Methanol	77.89±2.19 a	31.33±1.52 a	61.96±0.89 a
	乙醇 Ethanol	72.55±2.17 a	26.00±1.58 a	55.96±1.10 a
	乙酸乙酯 Ethyl acetate	28.55±2.97 b	18.00±0.89 b	23.96±0.89 b
	丙酮 Acetone	33.22±3.74 b	14.00±1.82 b	19.96±1.30 b
	石油醚 Petroleum ether	22.55±2.68 b	16.66±1.79 b	27.96±1.00 b
叶片 Blade	甲醇 Methanol	62.00±5.22 a	37.93±2.17 a	20.00±0.71 b
	乙醇 Ethanol	24.00±2.40 b	32.39±2.70 ab	55.96±1.48 a
	乙酸乙酯 Ethyl acetate	26.66±2.77 b	23.26±3.11 a	23.96±1.14 b
	丙酮 Acetone	64.60±5.41 a	23.26±1.92 ab	31.96±0.55 cd
	石油醚 Petroleum ether	8.00±3.05 b	32.59±2.41 b	41.96±0.89 bc
茎 Stem	甲醇 Methanol	32.63±0.89 b	20.50±1.14 b	20.00±0.71 b
	乙醇 Ethanol	43.29±2.97 a	28.50±2.59 ab	30.00±1.00 a
	乙酸乙酯 Ethyl acetate	24.63±2.55 c	25.83±1.87 ab	4.00±0.55 c
	丙酮 Acetone	13.29±2.30 c	29.17±2.61 ab	2.00±0.45 c
	石油醚 Petroleum ether	7.96±1.41 cd	24.50±1.64 a	2.00±0.46 c
根 Root	甲醇 Methanol	25.29±1.64 a	43.32±2.00 a	13.96±0.55 ab
	乙醇 Ethanol	19.29±3.21 a	45.98±2.28 a	15.96±0.84 a
	乙酸乙酯 Ethyl acetate	9.28±1.34 b	31.32±2.86 b	3.96±0.55 bc
	丙酮 Acetone	11.29±1.22 b	25.32±1.00 b	15.96±1.10 a
	石油醚 Petroleum ether	23.60±1.48 a	23.98±0.98 b	7.96±0.71 abc

注：同列数据后标不同小写字母表示同一部位不同提取溶剂间差异显著（$P<0.05$）。表2同。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among different extracting solvents for the same part（$P<0.05$）. The same as table 2.

由表1可知，处理24 h时，砂生槐提取物对甘蓝蚜、萝卜蚜和小菜蛾3龄幼虫均具有明显的触杀效果，其不同部位甲醇提取物对试虫均表现出较高触杀活性；种子甲醇和乙醇提取物对甘蓝蚜的触杀效

果较好,校正死亡率分别为77.89%和72.55%;茎石油醚和根乙酸乙酯提取物对甘蓝蚜的触杀效果最差,校正死亡率分别为7.96%和9.28%;根乙醇和甲醇提取物对萝卜蚜的触杀效果较好,处理24 h后校正死亡率分别为45.98%和43.32%,其他部位提取物对萝卜蚜的触杀效果均较差;种子甲醇、乙醇提取物和叶片乙醇提取物对小菜蛾3龄幼虫的触杀效果较强,处理24 h后校正死亡率分别为61.96%,55.96%和55.96%。总体来看,砂生槐种子、叶、茎、根4个不同部位均以甲醇和乙醇提取物的触杀作用较强,且对甘蓝蚜的触杀效果明显高于萝卜蚜和小菜蛾3龄幼虫。

由表2可知,处理48 h后,砂生槐提取物对试虫的触杀效果明显好于处理24 h,砂生槐不同部位甲醇提取物对甘蓝蚜的触杀活性依次为:种子甲醇提取物(83.83%)>叶甲醇提取物(67.96%)>茎甲醇提取物(60.55%)>根甲醇提取物(41.96%);对小菜蛾3龄幼虫触杀活性依次为种子甲醇提取物(73.96%)=叶甲醇提取物(73.96%)>茎甲醇提取物(48.00%)>根甲醇提取物(19.83%);对萝卜蚜的触杀活性依次为根甲醇提取物(78.59%)>叶甲醇提取物(70.86%)>茎甲醇提取物(66.37%)>种子甲醇提取物(59.98%)。由表2还可知,砂生槐不同部位石油醚提取物对试虫的触杀效果明显低于其他溶剂,其对萝卜蚜的触杀效果高于甘蓝蚜和小菜蛾3龄幼虫,以叶石油醚提取物对萝卜蚜的触杀效果最好,处理48 h校正死亡率为64.86%。处理48 h,砂生槐不同部位石油醚提取物对甘蓝蚜的校正死亡率为种子石油醚提取物(47.83%)>叶石油醚提取物(38.63%)>根石油醚提取物(30.63%)>茎石油醚提取物(15.89%),对小菜蛾3龄幼虫的校正死亡率为叶石油醚提取物(45.96%)>种子石油醚提取物(43.96%)>根石油醚提取物(13.83%)>茎石油醚提取物(10.00%),对萝卜蚜的校正死亡率为叶石油醚提取物(64.86%)>茎石油醚提取物(64.70%)>根石油醚提取物(63.93%)>种子石油醚提取物(41.32%)。

表2 砂生槐提取物对甘蓝蚜、萝卜蚜和小菜蛾3龄幼虫的触杀作用(48 h)

Table 2 Contact killing effects of *Sophora alopecuroides* extract on *Brevicoryne brassicae*, *Lipaphis erysimi* and the 3rd instar larvae of *Plutella xylostella* (48 h)

部位 Part	提取溶剂 Extracting solvent	校正死亡率/% Corrected mortality rate		
		甘蓝蚜 *Brevicoryne brassicae*	萝卜蚜 *Lipaphis erysimi*	小菜蛾 *Plutella xylostella*
种子 Seed	甲醇 Methanol	83.83±1.14 a	59.98±1.52 a	73.96±0.89 a
	乙醇 Ethanol	72.55±2.17 a	63.98±2.51 a	61.96±1.34 a
	乙酸乙酯 Ethyl acetate	27.83±2.61 c	48.65±1.22 b	53.96±1.12 bc
	丙酮 Acetone	52.50±2.97 b	34.65±3.63 c	37.96±1.58 d
	石油醚 Petroleum ether	47.83±2.61 b	41.32±3.03 bc	43.96±0.54 cd
叶片 Blade	甲醇 Methanol	67.96±3.97 a	70.86±2.30a	73.96±0.89 a
	乙醇 Ethanol	65.96±4.45 a	64.86±1.52 a	61.96±0.89 a
	乙酸乙酯 Ethyl acetate	25.29±3.73 c	72.19±2.49 a	53.96±1.14 b
	丙酮 Acetone	72.63±2.88 a	71.52±1.95 a	43.96±0.55 c
	石油醚 Petroleum ether	38.63±4.76 b	64.86±3.05 a	45.96±0.84 c
茎 Stem	甲醇 Methanol	60.55±4.09 ab	66.37±2.30 ab	48.00±1.10 b
	乙醇 Ethanol	77.22±3.27 a	73.70±2.28 a	62.00±1.79 a
	乙酸乙酯 Ethyl acetate	59.30±7.79 b	65.03±2.39 ab	10.00±0.71 c
	丙酮 Acetone	25.89±2.39 c	66.37±2.35 ab	8.00±0.84 c
	石油醚 Petroleum ether	15.89±1.92 cd	64.70±2.17 b	10.00±0.00 c
根 Root	甲醇 Methanol	41.96±1.64 a	78.59±1.14 a	19.83±1.14 a
	乙醇 Ethanol	33.96±4.32 a	80.59±2.55 a	19.83±1.14 a
	乙酸乙酯 Ethyl acetate	41.96±4.15 a	59.93±1.64 b	11.83±0.55 ab
	丙酮 Acetone	14.63±1.58 b	59.93±3.77 b	19.83±1.52 a
	石油醚 Petroleum ether	30.63±1.92 a	63.93±4.64 ab	13.83±1.30 a

2.2 砂生槐提取物中生物碱的分布特征

2.2.1 溶剂对砂生槐提取物产出率的影响 由图1可知,不同极性溶剂对砂生槐不同部位提取物产出率有明显影响,根乙酸乙酯提取物产出率最高,为29.90%;其次为叶片乙酸乙酯提取物(13.22%)和茎乙酸乙酯提取物(9.34%);种子乙酸乙酯提取物产出率最低(5.52%)。甲醇、乙醇、乙酸乙酯、丙酮均以根部提取物产出率明显高于其他部位,石油

醚以种子提取物产出率高于其他部位；5种不同极性溶剂对砂生槐不同部位提取物产出率的大体排序为甲醇＞乙醇＞乙酸乙酯＞丙酮＞石油醚。从同一溶剂对砂生槐不同部位提取物产出率的影响来看，种子、叶片和根甲醇提取物的产出率相当，分别为20.98%，19.46%和23.32%，明显高于茎甲醇提取物（15.40%）；茎乙醇提取物的产出率最高，为17.26%。

2.2.2　砂生槐不同部位甲醇提取物中的生物碱含量　HPLC分析结果（表3）表明，砂生槐种子、叶片、茎和根提取物中均检测到氧化槐果碱、苦参碱和槐果碱，未检测到槐定碱。生物碱总含量以种子（128.97 mg/g）＞叶（113.47 mg/g）＞茎（11.82 mg/g）＞根（5.32 mg/g）。

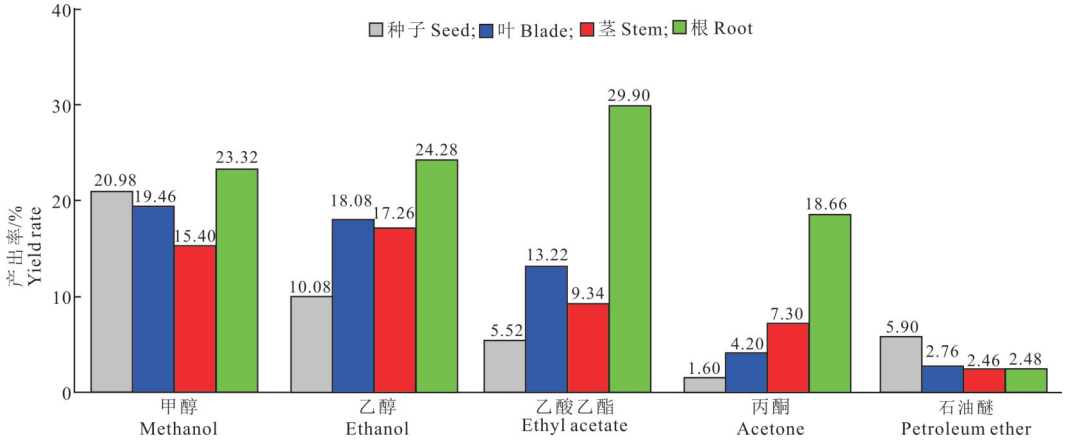


图1　砂生槐不同部位不同极性溶剂提取物的产出率

Fig. 1　Yield of different extracts from different parts of *Sophora japonica* obtained by different polar solvents

表3　砂生槐不同部位甲醇提取物中生物碱含量比较

Table 3　Comparison of alkaloid content in methanol extracts from different parts of *Sophora japonica*　mg/g

生物碱类别 Alkaloids category	种子 Seed	叶 Blade	茎 Stem	根 Root
氧化槐果碱 Oxysophocarpine	124.16±1.86 a	101.34±0.09 a	10.56±0.26 a	3.95±0.02 a
苦参碱 Matrine	4.46±0.01 b	9.86±0.02 b	1.08±0.04 b	0.82±0.14 b
槐果碱 Sophcarpine	0.35±0.00 c	2.27±0.01 c	0.18±0.01 c	0.54±0.03 c
槐定碱 Sophoridine	—	—	—	—
合计 Total	128.97	113.47	11.82	5.32

注：同列数据后标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$）。

Note：Different lowercase letters after the same column of data indicate significant differences（$P<0.05$）.

由表3还可知，氧化槐果碱和苦参碱主要集中在种子和叶部，茎和根含量较少；槐果碱主要集中在叶片部位；不同部位上述3种生物碱含量存在显著差异，不同部位氧化槐果碱含量依次为种子（124.16 mg/g）＞叶片（101.34 mg/g）＞茎（10.56 mg/g）＞根（3.95 mg/g）；苦参碱含量依次为叶片（9.86 mg/g）＞种子（4.46 mg/g）＞茎（1.08 mg/g）＞根（0.82 mg/g）；槐果碱含量依次为叶片（2.27 mg/g）＞根（0.54 mg/g）＞种子（0.35 mg/g）＞茎（0.18 mg/g）。

2.3　砂生槐不同部位生物碱总含量与杀虫活性的关系

由图2和图3可知，砂生槐种子和叶片甲醇提取物对小菜蛾3龄幼虫和甘蓝蚜的触杀活性明显高于其茎和根的甲醇提取物，砂生槐种子和叶片中的生物碱总含量显著高于其茎和根，表明砂生槐甲醇提取物中生物碱总含量高的部位杀虫效果明显高于生物碱总含量低的部位，生物碱总含量越高杀虫效果越好。

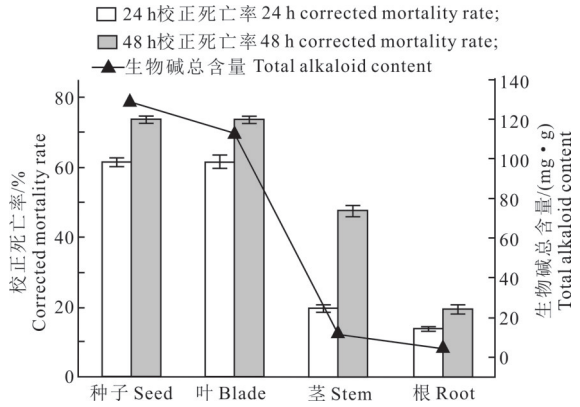


图2　砂生槐甲醇提取物对小菜蛾3龄幼虫的触杀活性与生物碱总含量的关系

Fig. 2　Relationship between the contact killing activity of methanol extract from *Sophora japonica* against 3rd instar larvae of diamondback moth and the total alkaloid content

由图4可见,砂生槐根部甲醇提取物对萝卜蚜的触杀活性高于种子、叶和茎,但其生物碱总含量明显低于其他部位,可能是生物碱对萝卜蚜有特异性靶点,具体还有待进一步验证。

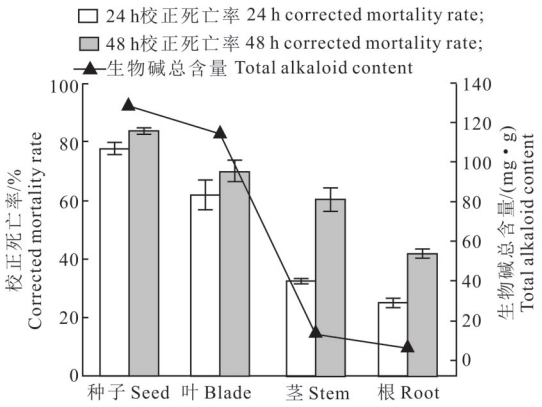


图3 砂生槐甲醇提取物对甘蓝蚜的触杀活性与生物碱总含量的关系

Fig. 3 Relationship between the contact killing activity of methanol extract from *Sophora japonica* against cabbage aphids and the total alkaloid content

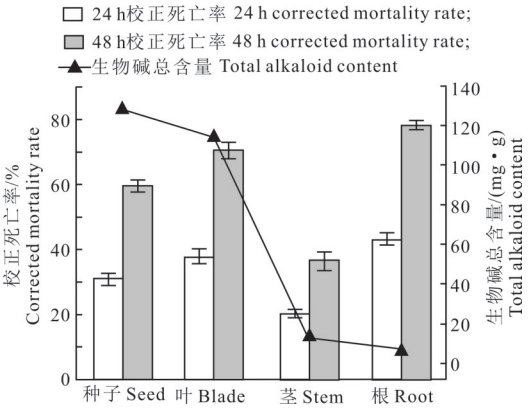


图4 砂生槐甲醇提取物对萝卜蚜的触杀活性与生物碱总含量的关系

Fig. 4 Relationship between the contact killing activity of methanol extract from *Sophora japonica* against radish aphids and the total alkaloid content

3 讨 论

近年来,已发现230余种植物提取物具有杀卵[17]、杀虫[18]、拒食[19]、驱避[20]等生物活性。本研究系统评价了砂生槐不同部位不同极性溶剂粗提物对萝卜蚜、甘蓝蚜和小菜蛾3龄幼虫的触杀活性,揭示了溶剂极性、植物部位与其提取物生物活性之间的联系,为砂生槐作为植物源农药的开发提供了理论依据。

本研究发现,高极性溶剂对砂生槐不同部位的提取率及触杀活性明显优于其他溶剂,甲醇和乙醇可作为砂生槐提取的优选溶剂;砂生槐种子和叶的甲醇提取物对小菜蛾3龄幼虫的触杀活性显著高于其他部位提取物,48 h校正死亡率均为73.96%。已有研究表明,穿心莲(*Andrographis paniculate*)乙酸乙酯和乙醇提取物对小菜蛾具有灭杀活性[21]。同一溶剂不同部位砂生槐提取物均以种子和叶片的触杀活性显著高于茎和根。推测可能是种子的"繁殖保护策略",在特殊的高原环境下,种子在进化过程中发展出高毒性成分以保护后代。已有研究表明,从种子中分离的苦豆碱类化合物干扰害虫的消化系统[22]。叶片作为植食性昆虫的主要取食靶标,自然选择压力使其形成高浓度的防御性化合物。已有研究表明,槐属类植物叶片苦参碱类物质和黄酮苷类化合物具有抗单纯疱疹病毒的作用[23]。

本研究HPLC分析结果表明,砂生槐种子和叶片中的生物碱总含量显著高于茎和根,单碱主要富集在种子和叶片中,氧化槐果碱含量占生物碱总含量的90%以上。王玉婷等[24]对西藏不同生长地砂生槐种子的生物碱含量进行了测定,发现砂生槐种子中氧化苦参碱(46.18~64.08 mg/g)>苦参碱(1.14~9.82 mg/g)>槐果碱(0.08~1.16 mg/g);侯言东等[25]研究表明,砂生槐种子中含有氧化槐果碱、苦参碱和槐果碱,其含量与本研究所测结果大体一致,且均未检测出槐定碱。

4 结 论

砂生槐根乙醇提取物对萝卜蚜的触杀活性最强,处理48 h校正死亡率为80.59%;砂生槐种子甲醇提取物对甘蓝蚜的触杀活性最高,处理48 h校正死亡率达到83.83%;砂生槐种子和叶片甲醇提取物对小菜蛾3龄幼虫具有较高的触杀活性,处理48 h校正死亡率均为73.96%。砂生槐种子、叶片、茎和根中均检测到氧化槐果碱、苦参碱和槐果碱,未检测到槐定碱;氧化槐果碱和苦参碱主要集中在砂生槐的种子和叶片中,茎和根中含量相对较少;槐果碱主要集中在砂生槐的叶片部位;总生物碱及单碱主要富集部位与活性测定结果一致,生物碱总含量越高的部位杀虫效果越好。

[参考文献]

[1] 魏巍,周娟娟,白玛嘎翁,等. 西藏特有种砂生槐的研究现状和展望[J]. 中国野生植物资源,2024,43(8):70-75.
GEI W, ZHOU J J, BAI M G W, et al. Research status and prospects for the endemic species of *Sophora moorcroftiana* in

the Tibet[J]. Chinese Wild Plant Resources,2024,43(8):70-75.

[2] 武正晨. 砂生槐根际促生菌及其促生性能研究[D]. 兰州：西北师范大学，2024.
WU Z C. Study on rhizosphere growth-promoting bacteria of *Sophora moorcroftiana* and their growth-promoting properties [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2024.

[3] 张晓晨，宁小斌，史伟，等. 基于MaxEnt模型预测砂生槐在西藏的潜在分布区[J]. 中南林业调查规划，2023，42(3)：41-45，50.
ZHANG X C, NING X B, SHI W, et al. Prediction of Tibet's potential suitable areas for *Sophora moorcroftiana* based on MaxEnt model[J]. Central South Forest Inventory Band Planning, 2023, 42(3): 41-45, 50.

[4] 谭海军. 中国生物农药的概述与展望[J]. 世界农药，2022，44(4)：16-27，54.
TAN H J. Review and prospect of biological pesticides in China [J]. World Pesticide, 2022, 44(4): 16-27, 54.

[5] 中国医学百科全书编辑委员会. 中国医学百科全书：藏医学[M]. 上海：上海科技出版社，1999.
Chinese Medical Encyclopedia Editorial Committee. Chinese Medical Encyclopedia: Tibetan medicine[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House, 1999.

[6] 马兴铭，王竞秋，张国超，等. 藏药砂生槐种子生物碱E2a联合BCG治疗小鼠棘球蚴病的实验研究[C]//中国免疫学会. 第十三届全国免疫学学术大会摘要汇编. 兰州大学基础医学院，2018：363.
MA X M, WANG J Q, ZHANG G C, et al. Experimental study on the treatment of echinococcosis in mice with E2a alkaloids of Tson-Yul sand-growing *Sophora* seeds combined with BCG [C]. //Chinese Immunological Society. Compilation of the 13th National Immunological Academic Conference. School of Basic Medicine, Lanzhou University, 2018: 363.

[7] DAS B C, SARKER P K, RAHMAN M M. Aphidicidal activity of some indigenous plant extracts against bean aphid *Aphis craccivora* Koch (Homoptera: Aphididae)[J]. Journal of Pest Science, 2008, 81(3): 153-159.

[8] IKBAL C, PAVELA R. Essential oils as active ingredients of botanical insecticides against aphids[J]. Journal of Pest Science, 2019, 92(3): 971-986.

[9] 梁亚萍. 紫穗槐果实杀虫活性物质及其作用机理研究[D]. 沈阳：沈阳农业大学，2015.
LIANG Y P. Study on insecticidal active substances from *Amorpha fruticosa* fruit and their mechanism of action[D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2015.

[10] 沈静，周玉，李琰，等. 129种植物丙酮提取物杀虫活性筛选[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版)，2017，45(10)：101-110.
SHEN J, ZHOU Y, LI Y, et al. Screening of the insecticidal activities of acetone extracts from 129 from129 plants[J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2017, 45(10): 101-110.

[11] 张惠丽，杨雨娟，李晓军. 丹参丙酮提取物对小菜蛾幼虫的致死和拒食作用[J]. 山西农业科学，2017，45(10)：1682-1685.
ZHANG H L, YANG Y J, LI X J. Study on the repellent and antifeedant effects of *Salvia miltirrhiza* acetone extract toward the larvae of *Plutella xylostella*[J]. Journal of Shanxi Agricultural Sciences, 2017, 45(10): 1682-1685

[12] 臧建成，江昌柱. 植物粗提物对甘蓝蚜生物活性的影响[J]. 高原农业，2017，1(1)：59-64，37.
ZANG J C, JIANG C Z. Effect of plant crude extract on the biological activity of *Brevicoryne brassicae*[J]. Journal of Plateau Agriculture, 2017, 1(1): 59-64, 37.

[13] 崔建芳，章观德. 苦参等四种槐属植物药中生物碱的分析[J]. 中药通报，1986，11(2)：38-39.
CUI J F, ZHANG G D. Analysis of alkaloids in four kinds of *Sophora* plants such as *Sophora flavescens*[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 1986, 11(2): 38-39.

[14] 李菊，何旖旎，吴洲利，等. 十字花科蔬菜主要病虫害防控[J]. 云南农业，2022(9)：80-81.
LI J, HE Y N, WU Z L, et al. Prevention and control of main pests and diseases of cruciferous vegetables[J]. Yunnan Agriculture, 2022(9): 80-81.

[15] 王玉灵，刘敏艳，胡冠芳，等. 马铃薯花杀虫活性成分提取方法的研究[J]. 西南农业学报，2014，27(4)：1499-1504.
WANG Y L, LIU M Y, HU G F, et al. Extraction method of insecticidal active composition from flowers of *Solanum tuberosum*[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2014, 27(4): 1499-1504.

[16] 王玉灵，郭致杰，胡冠芳，等. 唐古特莨菪中生物碱的分离鉴定与杀虫活性研究[J]. 植物保护，2019，45(4)：190-194，204.
WANG Y L, GUO Z J, HU G F, et al. Separation, identification and pesticidal activity of alkaloids from *Anisodus tanguticus* (Maxim.) Pascher[J]. Plant Protection, 2019, 45(4): 190-194, 204.

[17] LEGWAILA M M, MUNTHALI D C, OBOPILE M, et al. Effectiveness of spinosad against diamondback moth (*Plutella xylostella* L.) eggs and larvae on cabbage under Botswana conditions[J]. International Journal of Insect Science, 2014, 6: 15-21.

[18] SOONWERA M, COTCHAKAEW N. Toxicity of several botanical essential oils and their combinations against females of *Aedes albopictus* (Skuse) and *Anopheles minimus* (Theobald): oviposition deterrent, ovicidal and adulticidal efficacies [J]. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, 2019, 9(1): 29.

[19] WIDIYANINGRUM P, RINI INDRIYANTI D, PRIYONO B, et al. Antifeedant effect of some medicinal plant extracts against rice weevil[J]. Pakistan Journal of Biological Sciences, 2020, 23(7): 953-958.

[20] FERREIRA E A, FACA E C, DE SOUZA S A, et al. Antifeeding and oviposition deterrent effect of *Ludwigia* spp. (Onagraceae) against *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae)[J]. Plants, 2022, 11(19): 2656.

[21] YANG Y T, SU Q, SHI L L, et al. Electrophysiological and

behavioral responses of *Bradysia odoriphaga* (Diptera: Sciaridae) to volatiles from its host plant, Chinese chives (*Allium tuberosum rottler ex spreng*)[J]. Journal of Economic Entomology, 2019, 112(4): 1638-1644.

[22] 于化龙,李晶晶,任美儒,等. 110种植物提取物杀虫活性初步研究[J]. 热带作物学报, 2021, 42(7): 2085-2093.
YU H L, LI J J, REN M R, et al. Insecticidal activity of extracts from 110 traditional Chinese medicines[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2021, 42(7): 2085-2093.

[23] 邱显雯,符毓夏,潘争红,等. 金槐枝叶活性部位筛选及其化学成分研究[J]. 亚太传统医药, 2024, 20(4): 44-48.
QIU X W, FU Y X, PAN Z H, et al. Study on active fraction screening and chemical constituents from the stems and leaves of *Sophora japonica* Vijitha[J]. Asia-Pacific Traditional Medicine, 2024, 20(4): 44-48.

[24] 王玉婷,普布次仁,麻文俊,等. 西藏不同生长地砂生槐群体种子生物碱含量及其相关性分析[J]. 西北植物学报, 2018, 38(10): 1913-1917.
WANG Y T, PUBUCIREN, MA W J, et al. Analysis on contents and correlation of alkaloids in *Sophora moorcroftiana* of different growing populations in Tibet[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2018, 38(10): 1913-1917.

[25] 侯言东,何爱伟,余大为,等. 高效液相色谱法测定砂生槐种子中3种生物碱含量的方法研究[J]. 山西医药杂志, 2025, 54(3): 163-166.
HOU Y D, HE A W, YU D W, et al. Study on the determination of three alkaloids in the fruit of *Sophora ammosa* by high-performance liquid chromatography[J]. Shanxi Medical Journal, 2025, 54(3): 163-166.

(责任编辑:陈丽)

(上接第149页)

[12] BOURGOIN T, WANG R R, ASCHE M, et al. From micropterism to hyperpterism: recognition strategy and standardized homology-driven terminology of the forewing venation patterns in planthoppers (Hemiptera: Fulgoromorpha)[J]. Zoomorphology, 2015, 134(1): 63-77.

[13] CHEN S, YANG C T. The metatarsi of the Fulgoroidea (Homoptera: Auchenorrhyncha)[J]. Chinese Journal of Entomology, 1995, 15: 257-269.

[14] YANG C T, CHANG T Y. The external male genitalia of Hemiptera (Homoptera: Heteroptera)[M]. Taiwan: Shih Way Publishers, 2000.

[15] HAMILTON K G A. Making sense of Fulgoroidea (Hemiptera): new phylogenetic evidence[J]. Cicadina, 2011, 12: 57-79.

[16] ZHAO X Y, WU L J, QIN D Z. Phylogenetic analysis of Fulgoroidea based on the morphological characters of the forewing base structure (Hemiptera: Auchenorrhyncha)[J]. Entomotaxonomia, 2022, 44(2): 103-113.

[17] MENG Y F, QIN D Z. Fine morphology of the antennae and mouthparts of *Dentatissus damnosa* (Chou & Lu) (Hemiptera: Issidae)[J]. Zoologischer Anzeiger, 2017, 268: 64-74.

[18] CHEUNG W W K. Light and electron microscopic observations of the midgut sheath and anterior diverticulum of the lantern bug, *Pyrops candelaria* Linn. (Homoptera: Fulgoridae)[J]. Cytologia, 1983, 48(2): 333-342.

[19] CHEUNG W W K, MARSHALL A T. Ultrastructural and functional differentiation of the midgut of the lantern bug, *Pyrops candelaria* Linn. (Homoptera: Fulgoridae)[J]. Cytologia, 1982, 47(2): 325-339.

[20] 孙少轩. 斑蜡蝉(*Lycorma delicatula* White)消化系统的组织学与组织化学研究[J]. 昆虫学报, 1964, 13(2): 177-192.
SUN S S. Histological and histochemical studies on the digestive system of *Lycorma delicatula* White[J]. Acta Entomologica Sinica, 1964, 13(2): 177-192.

[21] 王文倩. 中国及邻近地区蜡蝉科系统分类及斑衣蜡蝉形态学研究(半翅目:蜡蝉总科)[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2022.
WANG W Q. Systematic classification of Fulgoridae from China and adjacent regions and morphological study of *Lycorma delicatula* White (Hemiptera: Fulgoroidea)[D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2022.

[22] 钟海英. 头喙亚目昆虫消化、排泄及生殖系统的比较形态学研究(昆虫纲:半翅目)[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学, 2014.
ZHONG H Y. Comparative morphology of the digestive, excretory and reproductive system in Auchenorrhyncha (Insecta: Hemiptera)[D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2014.

[23] MUKHARJI S P. The structure and histology of the alimentary canal of the Homoptera (Hemiptera)[J]. Indian Journal of Zootomy, 1961, 2: 56-121.

[24] BOURGOIN T, SZWEDO J. Toward a new classification of planthoppers Hemiptera Fulgoromorpha: what do Fulgoridiidae really cover?[J]. Annales Zoologici, 2022, 72(4): 951-962.

[25] 袁锋,张雅林,冯纪年,等. 昆虫分类学[M]. 2版. 北京:中国农业出版社, 2006.
YUAN F, ZHANG Y L, FENG J N, et al. Taxonomy of Hexapoda[M]. 2nd ed. Beijing: China Agricultural Press, 2006.

(责任编辑:陈丽)