

铁棒锤中的二萜生物碱

何少军, 许纪龙, 余祥浪

兰州交通大学化学化工学院, 甘肃 兰州

收稿日期: 2024年3月18日; 录用日期: 2024年6月19日; 发布日期: 2024年6月29日

摘要

目的: 研究铁棒锤 *Aconitum pendulum* Busch 的化学成分。方法: 铁棒锤提取物采用大孔树脂, 硅胶柱层析以及半制备高效液相色谱对其进行分离纯化, 根据其波谱数据进行结构解析。结果: 从其中分离得到10个化合物, 分别鉴定为 Songorine (1)、15-acetylsongorine (2)、12-epi-lucidusculine (3)、14-O-acetylneoline (4)、benzoylaconitine (5)、aconitine (6)、3-deoxyaconitine (7)、mesaconitine (8)、10-aconifine (9)、flavaconitine (10)。

关键词

铁棒锤, 二萜生物碱, 化学成分, 乌头属

Diterpenoid Alkaloids from *Aconitum pendulum* Busch

Shaojun He, Jilong Xu, Xianglang Yu

School of Chemistry and Chemical Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou Gansu

Received: Mar. 18th, 2024; accepted: Jun. 19th, 2024; published: Jun. 29th, 2024

Abstract

Objective: This study aims to analyze the chemical composition of *Aconitum pendulum* Busch. **Methods:** The extracts obtained from *Aconitum pendulum* Busch were purified using macroporous resin, silica gel column chromatography, and semi-preparative high-performance liquid chromatography. The structural analyses were conducted based on their spectral data. **Results:** Ten compounds were isolated from them and identified as Songorine (1), 15-acetylsongorine (2), 12-epi-lucidusculine (3), 14-O-acetylneoline (4), benzoylaconitine (5), aconitine (6), 3-deoxyaconitine (7), mesaconitine (8), 10-aconifine (9), flavaconitine (10).

Keywords

Aconitum pendulum Busch, Diterpenoid Alkaloid, Chemical Composition, *Aconitum carmichaelii* Debeaux

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

铁棒锤(*Aconitum pendulum* Busch)为毛茛科,乌头属多年生草本植物。植物智中记载其别名,铁牛七、雪上一枝蒿、一支箭。根呈块根倒圆锥形,茎高 26~100 厘米,无毛,叶片形状似伏毛铁棒锤,7~9 月开花。主要分布于西藏、云南西北部、四川西部、青海、甘肃南部、陕西南部及河南西部。生海拔 2800~4500 米,山地或林边。《陕西中草药》中记载其块根有剧毒、供药用、治疗跌打损伤、骨折、风湿腰痛、冻疮等。铁棒锤主要活性成分为二萜生物碱、黄酮、多糖、甾体等活性成分。现代药理研究发现该植物所含乌头类生物碱成分,具有显著的镇痛麻醉、抗炎、抗肿瘤等作用[1] [2] [3],并且其所含的二萜生物碱具有优良的杀虫效果[4]。铁棒锤是从亳州市场购买所得,将其干燥母根粉碎后用甲醇浸泡,通过减压浓缩得到总浸膏,对总浸膏通过调节 pH 值使用二氯甲烷进行萃取,得到二氯(酸萃取)部分和二氯(碱萃取)部分。进行减压浓缩后,通过薄层色谱分析(TLC)观察化合物极性大小,使用不同的色谱柱层析和半制备高效液相色谱(HPLC)进行分离纯化得到单体化合物,利用核磁共振波谱(NMR)、质谱、红外、紫外进行化合物结构解析。通过以上方法,分离纯化鉴定出 10 个单体化合物。

2. 结果与讨论

2.1. 化合物的结构鉴定

根据化合物的理化性质,通过核磁共振氢谱、碳谱、二维谱图等对分离出的 10 个单体化合物进行结构解析。

1) songorine

白色无定形粉末,易溶于甲醇和 DMSO,改良碘化铋钾呈阳性;综合 $^1\text{H-NMR}$ 与 $^{13}\text{C-NMR}$ 数据推测该化合物分子式为 $\text{C}_{22}\text{H}_{31}\text{NO}_3$ 。化合物 3 的 $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, Dimethyl Sulfoxide- d_6)显示了环外双键 [$\delta_{\text{H}}5.06$ 1H, brs, H-17a; $\delta_{\text{H}}5.11$ 1H, brs, H-17b; $\delta_{\text{C}}150.0$; $\delta_{\text{C}}110.8$;]和 N-乙基 [$\delta_{\text{H}}1.33$ (3H, t, J = 7.1 Hz)]的信号。 $^{13}\text{C-NMR}$ (125 MHz, Dimethyl Sulfoxide- d_6) δ_{C} : 67.4(C-1), 29.7(C-2), 35.8(C-3), 35.0(C-4), 46.6(C-5), 21.5(C-6), 42.9(C-7), 47.6(C-8), 36.2(C-9), 52.4(C-10), 37.4(C-11), 208.1(C-12), 53.2(C-13), 30.7(C-14), 75.0(C-15), 150.0(C-16), 110.8(C-17), 24.9(C-18), 55.1(C-19), 65.0(C-20), 53.4(C-21), 9.7(C-22)。通过查阅文献[5]。与其报道的数据一致,确定该化合物为 songorine。

2) 15-acetylsongorine

无色晶体,易溶于甲醇和二氯,改良碘化铋钾呈阳性;通过 $^1\text{H-NMR}$ 与 $^{13}\text{C-NMR}$ 数据推测该化合物分子式为 $\text{C}_{24}\text{H}_{33}\text{NO}_4$ 。化合物 4 的 $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, Chloroform- d)显示了环外双键 [$\delta_{\text{H}}4.98$ 1H, brs, H-17a; $\delta_{\text{H}}5.30$ 1H, brs, H-17b; $\delta_{\text{C}}144.2$; $\delta_{\text{C}}113.8$;], N-乙基 [$\delta_{\text{H}}1.33$ (3H, t, J = 7.1 Hz)]和乙酰基 [$\delta_{\text{H}}0.923$ H, s, OCH_3 ; $\delta_{\text{C}}170.4$; $\delta_{\text{C}}21.6$]的信号。 $^{13}\text{C-NMR}$ (125 MHz, Chloroform- d) δ_{C} : 68.4(C-1), 29.4(C-2), 32.3(C-3), 35.8(C-4),

48.3(C-5), 23.6(C-6), 43.6(C-7), 53.9(C-8), 37.0(C-9), 48.3(C-10), 38.3(C-11), 207.6(C-12), 55.1(C-13), 37.4(C-14), 76.0(C-15), 144.2(C-16), 113.8(C-17), 25.8(C-18), 56.0(C-19), 66.3(C-20), 53.6(C-21), 10.3(C-22), 170.4(COCH₃), 21.6(COCH₃)。通过查阅文献[6]。与其报道的数据一致, 确定该化合物为 15-acetylsongorine。

3) 12-epi-lucidusculine

白色无定形粉末, 易溶于甲醇, 改良碘化铋钾呈阳性; 通过 ¹H-NMR 与 ¹³C-NMR 数据推测该化合物分子式为 C₂₄H₃₅NO₄。化合物 7 的 ¹H-NMR (500 MHz, Methanol-*d*₄)显示了环外双键[δ_H5.13 1H, brs, H-17a; δ_H5.63 1H, brs, H-17b; δ_C148.4; δ_C114.8;], N-乙基[δ_H1.39 (3H, t, J = 7.2 Hz)]和乙酰基[δ_H0.92 3H, s, OCH₃; δ_C170.8; δ_C21.8]的信号。¹³C-NMR (125 MHz, Chloroform-*d*)δ_C: 68.6(C-1), 29.8(C-2), 37.0(C-3), 35.8(C-4), 47.5(C-5), 24.0(C-6), 44.1(C-7), 49.1(C-8), 41.0(C-9), 54.7(C-10), 29.8(C-11), 66.5(C-12), 44.1(C-13), 32.7(C-14), 76.0(C-15), 148.4(C-16), 114.8(C-17), 26.0(C-18), 56.5(C-19), 65.9(C-20), 53.9(C-21), 10.4(C-22), 170.8(COCH₃), 21.8(COCH₃)。通过查阅文献[6]。与其报道的数据一致, 确定该化合物为 12-epi-lucidusculine。

4) 14-O-acetylneoline

白色无定形粉末, 易溶于甲醇和氯仿, 与改良碘化铋钾试剂呈现阳性反应; 通过 ¹H-NMR 与 ¹³C-NMR 数据推测该化合物分子式为 C₂₆H₄₆NO₇。化合物 8 的 ¹H-NMR(500MHz, Methanol-*d*₄)显示了单取代乙酰基[δ_H2.06(3H, s, COMe)]和一个氮乙基[δ_H1.17(3H, t, J = 7.2Hz)]的信号, 三个甲氧基[δ_H3.38、3.34 和 3.35(各 3H, s)]。δ_C: 73.7(C-1), 30.5(C-2), 30.7(C-3), 39.3(C-4), 45.4(C-5), 84.7(C-6), 55.0(C-7), 75.0(C-8), 45.6(C-9), 44.6(C-10), 50.7(C-11), 30.32(C-12), 39.2(C-13), 77.7(C-14), 42.4(C-15), 84.2(C-16), 64.0(C-17), 81.2(C-18), 58.4(C-19), 49.1(C-20), 13.4(C-21), 58.3(6-OMe), 56.5(16-OMe), 59.4(18-OMe), 170.8(COCH₃), 21.8(COCH₃)。通过查阅文献[6], 与其报道的数据一致, 确定该化合物为 14-O-acetylneoline。

5) benzoylaconitine

白色无定形粉末, 易溶于甲醇, 与改良碘化铋钾试剂呈现阳性反应; 通过 ¹H-NMR 与 ¹³C-NMR 数据推测该化合物分子式为 C₃₂H₄₅NO₁₀。化合物 10 的 ¹H-NMR(500 MHz, Methanol-*d*₄)显示了单取代芳环[δ_H8.10(2 H, d, J = 7.5Hz), 7.61(1 H, t, J = 7.5Hz), 7.48(2 H, t, J = 7.5 Hz)], 四个甲氧基[δ_H3.33、3.36、3.40 和 3.71(各 3 H, s)]和一个氮乙基[δ_H1.42(3H, t, J = 7.2Hz)]。δ_C: 81.7(C-1), 30.2(C-2), 70.7(C-3), 44.4(C-4), 41.7(C-5), 80.7(C-6), 51.0(C-7), 76.2(C-8), 45.4(C-9), 44.1(C-10), 50.1(C-11), 37.3(C-12), 78.9(C-13), 83.1(C-14), 80.7(C-15), 94.0(C-16), 65.4(C-17), 78.2(C-18), 51.7(C-19), 51.3(C-20), 11.2(C-21), 55.2(1-OMe), 58.2(6-OMe), 61.2(16-OMe), 59.2(18-OMe), 167.6(Ar-CO)131.5(C-1'), 129.5(C-2',6'), 131.0(C-3',5'), 134.3(C-4')。通过查阅文献[7], 与其报道的数据一致, 确定该化合物为 benzoylaconitine。

6) aconitine

白色无定形粉末, 易溶于甲醇和氯仿, 与改良碘化铋钾试剂呈现阳性反应; 通过 ¹H-NMR 与 ¹³C-NMR 数据推测该化合物分子式为 C₃₃H₄₇NO₁₀。化合物 11 的 ¹H-NMR (500 MHz, Chloroform-*d*)显示了单取代芳环[δ_H8.01(2 H, d, J = 7.5 Hz)、7.57(1 H, t, J = 7.5 Hz)、7.45(2 H, t, J = 7.5Hz)], 单取代乙酰基[δ_H1.39 3H, s, OCH₃; δ_C172.6; δ_C21.5], 四个甲氧基[δ_H3.16, 3.26, 3.29 和 3.74(各 3H, s)]和一个氮乙基[δ_H1.12(3H, t, J = 7.1 Hz)]。δ_C: 82.2(C-1), 33.3(C-2), 71.5(C-3), 43.2(C-4), 46.4(C-5), 83.4(C-6), 44.8(C-7), 92.0(C-8), 44.2(C-9), 40.9(C-10), 50.2(C-11), 35.8(C-12), 74.2(C-13), 79.0(C-14), 78.9(C-15), 90.1(C-16), 61.3(C-17), 76.8(C-18), 47.5(C-19), 49.1(C-20), 13.2(C-21), 56.0(1-OMe), 58.2(6-OMe), 61.3(16-OMe), 59.2(18-OMe), 8-OAc(172.6, 21.5)167.2(Ar-CO)129.8(C-1'), 129.7(C-2',6'), 128.8(C-3',5'), 133.5(C-4')。通过查阅文献[8],

与其报道的数据一致, 确定该化合物为 benzoylaconitine。

7) 3-deoxyaconitine

白色无定形粉末, 易溶于甲醇和氯仿, 与改良碘化铋钾试剂呈现阳性反应; 通过 $^1\text{H-NMR}$ 与 $^{13}\text{C-NMR}$ 数据推测该化合物分子式为 $\text{C}_{34}\text{H}_{47}\text{NO}_{10}$ 。化合物 12 的 $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, Chloroform-*d*)显示了单取代芳环 [δ_{H} 8.02(2 H, d, $J = 7.5\text{Hz}$), 7.57(1 H, t, $J = 7.5\text{Hz}$), 7.45(2 H, t, $J = 7.5\text{ Hz}$)], 单取代乙酰基 [δ_{H} 1.37 3H, s, OCH₃; δ_{C} 172.6; δ_{C} 21.5], 四个甲氧基 [δ_{H} 3.16、3.27、3.28 和 3.73(各 3 H, s)]和一个氮乙基 [δ_{H} 1.09(3H, t, $J = 7.1\text{Hz}$)]。 δ_{C} : 85.4(C-1), 26.5(C-2), 35.4(C-3), 39.2(C-4), 49.2(C-5), 83.4(C-6), 45.3(C-7), 92.3(C-8), 44.7(C-9), 41.1(C-10), 49.4(C-11), 36.8(C-12), 74.3(C-13), 79.0(C-14), 79.1(C-15), 90.3(C-16), 61.5(C-17), 80.4(C-18), 53.3(C-19), 50.1(C-20), 13.6(C-21), 56.4(1-OMe), 58.2(6-OMe), 61.2(16-OMe), 59.2(18-OMe), 8-OAc(172.6, 21.6)166.3(Ar-CO)130.0(C-1'), 129.8(C-2',6'), 128.8(C-3',5'), 133.4(C-4')。通过查阅文献[8], 与其报道的数据一致, 确定该化合物为 3-deoxyaconitine。

8) mesaconitine

白色无定形粉末, 易溶于甲醇和氯仿, 与改良碘化铋钾试剂呈现阳性反应; 通过 $^1\text{H-NMR}$ 与 $^{13}\text{C-NMR}$ 数据推测该化合物分子式为 $\text{C}_{33}\text{H}_{45}\text{NO}_{11}$ 。化合物 14 的 $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, Chloroform-*d*)显示了单取代芳环 [δ_{H} 8.03(2 H, d, $J = 7.5\text{Hz}$), 7.57(1 H, t, $J = 7.5\text{Hz}$), 7.45(2 H, t, $J = 7.5\text{ Hz}$)], 单取代乙酰基 [δ_{H} 1.38 3H, s, OCH₃; δ_{C} 172.6; δ_{C} 21.6], 四个甲氧基 [δ_{H} 3.16、3.28、3.30 和 3.74(各 3 H, s)]和一个氮甲基 [δ_{H} 2.34(3H, s)]。 δ_{C} : 83.3(C-1), 35.9(C-2), 71.4(C-3), 43.6(C-4), 46.8(C-5), 82.6(C-6), 44.4(C-7), 92.0(C-8), 43.8(C-9), 41.0(C-10), 49.6(C-11), 34.3(C-12), 74.2(C-13), 79.0(C-14), 79.0(C-15), 90.2(C-16), 61.2(C-17), 76.6(C-18), 50.1(C-19), 42.6(C-20), 56.5(1-OMe), 58.1(6-OMe), 62.3(16-OMe), 59.3(18-OMe), 8-OAc(172.6, 21.6), 166.3(Ar-CO), 129.9(C-1'), 129.8(C-2',6'), 129.7(C-3',5'), 133.5(C-4')。通过查阅文献[9] [10], 与其报道的数据一致, 确定该化合物为 mesaconitine。

9) 10-aconifine

白色无定形粉末, 易溶于甲醇和氯仿, 与改良碘化铋钾试剂呈现阳性反应; 通过 $^1\text{H-NMR}$ 与 $^{13}\text{C-NMR}$ 数据推测该化合物分子式为 $\text{C}_{34}\text{H}_{47}\text{NO}_{12}$ 。化合物 15 的 $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, Chloroform-*d*)显示了单取代芳环 [δ_{H} 8.00(2 H, d, $J = 7.5\text{ Hz}$)、7.59(1 H, t, $J = 7.5\text{ Hz}$)、7.46(2 H, t, $J = 7.5\text{ Hz}$)], 单取代乙酰基 [δ_{H} 1.44 3H, s, OCH₃; δ_{C} 172.5; δ_{C} 21.3], 四个甲氧基 [δ_{H} 3.20、3.29、3.33 和 3.76(各 3 H, s)]和一个氮乙基 [δ_{H} 1.30(3 H, t, $J = 7.1\text{ Hz}$)]。 δ_{C} : 80.8(C-1), 35.3(C-2), 70.4(C-3), 43.7(C-4), 43.2(C-5), 82.3(C-6), 44.8(C-7), 89.8(C-8), 55.3(C-9), 78.5(C-10), 55.9(C-11), 44.8(C-12), 74.0(C-13), 78.5(C-14), 78.6(C-15), 89.8(C-16), 62.3(C-17), 76.3(C-18), 50.2(C-19), 50.3(C-20), 11.8(C-21), 58.5(1-OMe), 59.2(6-OMe), 61.6(16-OMe), 51.0(18-OMe), 8-OAc(172.5, 21.3)166.1(Ar-CO)129.7(C-1'), 129.4(C-2',6'), 128.9(C-3',5'), 133.7(C-4')。通过查阅文献[10], 与其报道的数据一致, 确定该化合物为 10-aconifine。

10) flavaconitine

白色无定形粉末, 易溶于甲醇和氯仿, 与改良碘化铋钾试剂呈现阳性反应; 通过 $^1\text{H-NMR}$ 与 $^{13}\text{C-NMR}$ 数据推测该化合物分子式为 $\text{C}_{31}\text{H}_{41}\text{NO}_{11}$ 。化合物 16 的 $^1\text{H-NMR}$ (500 MHz, Dimethyl Sulfoxide-*d*₆)显示了单取代芳环 [δ_{H} 7.98(2 H, d, $J = 7.5\text{Hz}$), 7.69(1 H, t, $J = 7.5\text{ Hz}$), 7.58(2 H, t, $J = 7.5\text{ Hz}$)], 单取代乙酰基 [δ_{H} 1.35 3H, s, OCH₃; δ_{C} 172.4; δ_{C} 21.5]和三个甲氧基 [δ_{H} 3.14、3.25 和 3.59(各 3 H, s)]。 δ_{C} : 67.0(C-1), 27.4(C-2), 29.2(C-3), 36.6(C-4), 38.6(C-5), 81.7(C-6), 48.2(C-7), 90.5(C-8), 51.6(C-9), 78.4(C-10), 53.1(C-11), 47.1(C-12), 74.6(C-13), 77.9(C-14), 77.2(C-15), 87.4(C-16), 61.4(C-17), 79.2(C-18), 47.6(C-19), 57.0(6-OMe), 58.7(16-OMe), 58.1(18-OMe), 8-OAc(171.4, 20.9), 165.1(Ar-CO), 129.2(C-1'), 129.4(C-2',6'), 128.9(C-3',5'), 133.7(C-4')。通过查阅文献[6], 与其报道的数据一致, 确定该化合物为 flavaconitine。

2.2. 讨论

本次研究主要从铁棒锤的干燥母根提取分离出 10 个已知化合物包括三个 C₂₀-二萜生物碱 Songorine (1)、15-acetylsongorine (2)、12-epi-lucidusculine (3); 七个 C₁₉-二萜生物碱: 14-O-acetylneoline (4)、benzoylaconitine (5)、aconitine (6)、3-deoxyaconitine (7)、mesaconitine (8)、10-aconifine (9)、flavaconitine (10)。实验结果发现铁棒锤中生物碱主要以 C₁₉-二萜生物碱为主, C₂₀-二萜生物碱次之。根据相关文献报道 C₁₉-二萜生物碱具有一定的抗肿瘤、抗炎、抑菌和杀虫等生物活性[11], 所以此次实验对铁棒锤的化学成分研究具有重要意义, 为铁棒锤的开发利用提供参考。

3. 提取与分离

将铁棒锤的根(10 kg)研磨成粉末, 然后用甲醇提取三次, 减压浓缩后得到甲醇提取物 1.3 kg。将得到的提取物溶于温水中(50℃), 用 4% 盐酸调节 pH 值至 2~3, 再用二氯萃取三次, 减压浓缩得到生物碱粗提物 X (131.3 g)。水相用 4% 氢氧化钠调节 pH 值至 11, 再用二氯萃取三次得到生物碱粗提物 Y (40.23 g)。

将生物碱粗提取物 X 用大孔树脂进行除色素和分段, 洗脱液为甲醇和水(30% 甲醇, 50% 甲醇, 80% 甲醇, 100% 甲醇)进行梯度洗脱, 得到 5 个组分(A~E), 将组 A (10.3 g)溶于温水中(50℃)用 4% 氢氧化钠调节 pH 值至 13, 用二氯萃取三次得到组分 A-1, 经过正相柱层析洗脱(二氯: 甲醇, 100:1~5:1)得到化合物 2。组分 B (10.5 g)进行正相柱层析洗脱(二氯: 甲醇, 50:1~2:1)得到化合物 1。组分 C (23.42 g)进行反相硅胶柱层析, 洗脱剂为甲醇和水(0% 甲醇-100%)进行梯度洗脱得到组分(C1~C10)。C1 (8.5 g)组分经过正相硅胶柱层析洗脱, 用二氯和甲醇(100:1~20:1)洗脱得到(C1-1~C1-6), C1-1 (0.1 g)经过葡聚糖凝胶柱, 洗脱剂为二氯: 甲醇(1:1)得到化合物 3, C1-2 (1.82 g)经过正相硅胶柱层析洗脱(二氯: 甲醇, 60:1~40:1)得到化合物 4, C1-3 (0.81 g)经过正相硅胶柱层析(二氯: 甲醇, 70:1~15:1)洗脱得到化合物 5, C1-4 (1.4 g)经过正相硅胶柱层析(二氯: 甲醇, 50:1~20:1)洗脱得到化合物 6。C3(3.16 g)经过正相硅胶柱层析(二氯: 甲醇, 80:1~5:1)洗脱得到化合物 7。C4 (1.14 g)经过正相硅胶柱层析(二氯: 甲醇, 80:1~20:1)洗脱有白色晶体析出为化合物 8。C5 (2.44 g)经过正相硅胶柱层析(二氯: 甲醇, 60:1~5:1)洗脱后有白色晶体析出得到其化合物 9。C6 (1.71 g)经过正相硅胶柱层析(二氯: 甲醇, 50:1~5:1)洗脱后有白色晶体析出为化合物 10。

4. 结论

从铁棒锤中提取分离出 10 个二萜生物碱, 通过核磁共振波谱数据与文献进行结构鉴定, 得出 6 个 C₁₉-二萜生物碱和 4 个 C₂₀-二萜生物碱, 分别为 Songorine (1)、15-acetylsongorine (2)、12-epi-lucidusculine (3)、14-O-acetylneoline (4)、benzoylaconitine (5)、aconitine (6)、3-deoxyaconitine (7)、mesaconitine (8)、10-aconifine (9)、flavaconitine (10)。

参考文献

- [1] Lai, M.C., Liu, I.M., Liou, S.S. and Chang, Y.S. (2020) Mesaconitine Plays the Major Role in the Antinociceptive and Anti-Inflammatory Activities of Radix Aconiti Carmichaeli (Chuan Wu). *Journal of Food and Drug Analysis*, **19**, Article 5. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2182>.
- [2] Sinam, Y.M., Kumar, S., Hajare, S., Gautam, S., Chatterjee, S., Variyar, P.S., et al. (2012) Isolation and Identification of Antibacterial Compound from Indo—Himalayan *Aconitum nagarum*. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, **2**, S878-S882. [https://doi.org/10.1016/s2222-1808\(12\)60284-9](https://doi.org/10.1016/s2222-1808(12)60284-9)
- [3] Liang, X., Chen, L., Song, L., Fei, W., He, M., He, C., et al. (2017) Diterpenoid Alkaloids from the Root of *Aconitum sinchiangense* W. T. Wang with Their Antitumor and Antibacterial Activities. *Natural Product Research*, **31**, 2016-2023. <https://doi.org/10.1080/14786419.2016.1272113>
- [4] Wei, S., Zhang, H., Li, B., Ji, J. and Shao, X. (2019) Insecticidal Effect of Aconitine on the Rice Brown Planthoppers. *PLOS ONE*, **14**, e0221090. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0221090>

- [5] 马莉, 李新亮, 史丹丹, 等. 川乌中 1 个新的乌头碱类二萜生物碱[J]. 中成药, 2022, 44(9): 2861-2866.
- [6] Zhang, F., Peng, S., Liao, X., Yu, K. and Ding, L. (2005) Three New Diterpene Alkaloids from the Roots of *Aconitum nagarum* var. *lasiandrum*. *Planta Medica*, **71**, 1073-1076. <https://doi.org/10.1055/s-2005-873135>
- [7] Jiang, B., Lin, S., Zhu, C., Wang, S., Wang, Y., Chen, M., *et al.* (2012) Correction to Diterpenoid Alkaloids from the Lateral Root of *Aconitum carmichaelii*. *Journal of Natural Products*, **75**, 1878-1878. <https://doi.org/10.1021/np3006293>
- [8] Gao, F., Li, Y., Wang, D., Huang, X. and Liu, Q. (2012) Diterpenoid Alkaloids from the Chinese Traditional Herbal “Fuzi” and Their Cytotoxic Activity. *Molecules*, **17**, 5187-5194. <https://doi.org/10.3390/molecules17055187>
- [9] 赵安幸, 彭崇胜, 张晨虹, 等. 黄山乌头中的二萜生物碱(英文) [J]. 中国天然药物, 2007(5): 355-356.
- [10] 尹田鹏, 罗智慧, 王敏, 等. 黔产乌头的二萜生物碱类成分研究[J]. 中国药房, 2019, 30(22): 3096-3100.
- [11] Thawabteh, A.M., Thawabteh, A., Lelario, F., Bufo, S.A. and Scrano, L. (2021) Classification, Toxicity and Bioactivity of Natural Diterpenoid Alkaloids. *Molecules*, **26**, Article 4103. <https://doi.org/10.3390/molecules26134103>