

扁茎黄芪植株中化学成分的分离鉴定及其抑菌活性

薛利娟¹, 姬志勤^{*,1,2}, 魏少鹏^{1,3}

(1. 西北农林科技大学 植物保护学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 陕西省植物源农药研究与开发重点实验室, 陕西 杨陵 712100; 3. 陕西省植物化学重点实验室, 陕西 宝鸡 721000)

摘要: 为综合开发利用药用植物扁茎黄芪 *Astragalus complanatus*, 对其非药用部位的化学成分及抑菌活性进行了初步研究。采用硅胶柱层析和 LH-20 凝胶层析技术从扁茎黄芪植株中分离鉴定了 7 个化合物, 并测定了各化合物对 8 种细菌的抑菌活性。根据波谱分析结果, 7 个化合物分别被鉴定为 β -谷甾醇 (1)、 β -sitostenone (2)、lawsaritol A (3)、 3β -羟基- $5\alpha,8\alpha$ -桥二氧麦角甾-6,22-二烯 (4)、3',7-二羟基-2',4'-二甲氧基异黄烷 (5)、D-1-O-甲基肌醇 (6) 和沙苑子苷 (7), 所有化合物均为首次从扁茎黄芪植株中分离得到。抑菌活性测定结果表明: 化合物 5 对蜡状芽孢杆菌 *Bacillus cereus*、大肠杆菌 *Escherichia coli*、金黄色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus*、枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*、白菜软腐病菌 *Erwinia carotovora*、猕猴桃溃疡病菌 *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* 和烟草青枯病菌 *Ralstonia solanacearum* 均有不同程度的抑制作用, 其中对猕猴桃溃疡病菌、烟草青枯病菌和白菜软腐病菌的最低抑制浓度 (MIC) 分别为 37.5、18.8 和 75.0 $\mu\text{g/mL}$ 。3',7-二羟基-2',4'-二甲氧基异黄烷 (5) 的农用抑菌活性为首次报道。

关键词: 扁茎黄芪; 化学成分; 分离鉴定; 抑菌活性

中图分类号: S482.292

文献标志码: A

文章编号: 1008-7303(2019)03-0389-06

Isolation and identification of chemical constituents of the aerial parts of *Astragalus complanatus* and their antibacterial activities

XUE Lijuan¹, JI Zhiqin^{*,1,2}, WEI Shaopeng^{1,3}

(1. College of Plant Protection, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi Province, China; 2. Shaanxi Province Key Laboratory Research & Development on Botanical Pesticides, Northwest A&F University, Yangling 712100, Shaanxi Province, China; 3. Shaanxi Key Laboratory of Phytochemistry, Baoji 721000, Shaanxi Province, China)

Abstract: For the comprehensive utilization of medicinal plant *Astragalus complanatus*, the chemical constituents of its the non-meidcinal parts and their antibacterial activities were investigated preliminarily. Seven compounds were isolated by using silica gel and LH-20 gel chromatography, and their antibacterial activities against 8 species of bacteria were evaluated. After spectrometric analysis, the obtained compounds were identified as β -sitosterol (1), β -sitostenone (2), lawsaritol A (3), 8-epidioxo- $5\alpha,8\alpha$ -ergosta-6,22E-dien- 3β -ol (4), 3',7-dihydroxy-2',4'-dimethoxyisoflavan (5), D-1-O-methyl inositol (6) and complanatuside (7). All of the above compounds were isolated from the aerial parts of *A. complanatus* for the first time. Compound 5 showed inhibition effect on *Bacillus cereus*,

收稿日期: 2019-03-05; 录用日期: 2019-04-01.

基金项目: 国家重点研发计划资助 (2017YFD0201402); 陕西省教育厅重点实验室科研计划项目 (访学项目, 13JS008).

作者简介: 薛利娟, 女, 硕士研究生, E-mail: 991908177@qq.com; *姬志勤, 通信作者 (Author for correspondence), 男, 研究员, 主要从事天然产物农药研究, E-mail: jizhiqin@nwsuaf.edu.cn

Escherichia coli, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, *Erwinia carotovora*, *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* and *Ralstonia solanacearum*, and the MIC values of compound **5** against three species of plant pathogenic bacteria, including *P. syringae*, *R. solanacearum* and *E. carotovora*, were 37.5, 18.8 and 75 $\mu\text{g/mL}$, respectively. To our best knowledge, this is the first report about the inhibition effect of **5** on plant pathogenic bacteria.

Keywords: *Astragalus complanatus*; chemical constituents; isolation and identification; antibacterial activity

扁茎黄芪 *Astragalus complanatus* R. Brown 为豆科蝶形花亚科黄芪属多年生草本植物, 广泛分布于河南、陕西、宁夏、甘肃、江苏、四川、山西、辽宁、吉林、河北及内蒙古等地^[1-2], 其干燥成熟种子是名贵中药材沙苑子。当前对沙苑子的化学成分及其药理活性的研究已较为深入, 其化学成分主要包括有机酸类、甾醇、三萜类、黄酮类、酚类、鞣质及氨基酸、多肽、蛋白质、微量元素等, 具有保肝补肾、固精明目、降压抗炎等功效^[3-6]。陕西渭南是中国扁茎黄芪的主产地之一, 采种后的茎秆多年来都处于废弃状态, 对其化学成分的研究也未见任何报道。为了更好地开发应用扁茎黄芪这一植物资源, 笔者对扁茎黄芪植株的化学成分进行了初步的分离及鉴定, 并初步研究了所分离化合物对植物细菌的抑菌活性。现将结果报道如下。

1 材料与方法

1.1 植物材料

供试植物于 2017 年 10 月采自陕西省大荔县, 经西北农林科技大学李玉平教授鉴定为扁茎黄芪 *Astragalus complanatus*, 标本存于西北农林科技大学植物保护学院农药研究所。

1.2 供试菌株

蜡状芽孢杆菌 *Bacillus cereus*、大肠杆菌 *Escherichia coli*、金黄色葡萄球菌 *Staphylococcus aureus*、枯草芽孢杆菌 *Bacillus subtilis*、白菜软腐病菌 *Erwinia carotovora*、魔芋软腐病菌 *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*、猕猴桃溃疡病菌 *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae* 和烟草青枯病菌 *Ralstonia solanacearum*, 均由西北农林科技大学农药研究所提供。

1.3 仪器与药剂

Bruker RPX 500MHz 核磁共振波谱仪 (以 TMS 为内标); Thermo LCQ Advantage MAX 质谱仪;

薄层色谱用硅胶板 (GF 254), 柱层析硅胶 45~75 μm 和 40~45 μm (青岛海洋化工厂); Sephadex LH-20 (美国通用电气公司); WRR 熔点仪 (熔点未校正, 上海精科仪器有限公司); 微量移液枪 (Eppendorf); 双圈定性滤纸片 (通州电气生物科技有限公司); MP200A 型电子天平 (上海第二天平仪器厂); LS-B50L 型立式压力蒸汽灭菌器 (江阴滨江医疗设备厂); SW.CJ.IBV 型超净工作台 (苏净集团安泰空气技术有限公司); UV-1800 紫外分光光度计 (日本岛津有限公司); HH.1311.420 型电热恒温培养箱 (上海跃进医疗器械厂)。

硫酸链霉素原药 (纯度 98%, 山东鲁抗医药集团有限公司)。其余所用试剂均为市购分析纯产品。

1.4 扁茎黄芪植株中化学成分的提取与分离

取晾干、粉碎的扁茎黄芪植株 (7.3 kg), 用甲醇 (物料比 10: 1) 超声浸提 3 次后用布氏漏斗抽滤, 合并提取液, 减压浓缩, 得到甲醇浸膏 (402 g)。用 45~75 μm (200~300 目) 柱层析硅胶将甲醇浸膏拌样后于通风橱吹干, 研磨成粉后再用同等细度的硅胶湿法装柱, 干法上样, 流动相依次用石油醚, $V(\text{石油醚}): V(\text{乙酸乙酯}) = 10: 1$ 、10: 3、10: 5、10: 7、10: 9、1: 1, 乙酸乙酯, $V(\text{乙酸乙酯}): V(\text{甲醇}) = 10: 1$ 、10: 3、10: 5、10: 7、10: 9、1: 1 和甲醇梯度洗脱, 浓缩后合并相同组分, 分别得到 F1 (30.97 g)、F2 (9.09 g)、F3 (5.47 g)、F4 (15.82 g)、F5 (21.18 g)、F6 (10.58 g)、F7 (16.37 g)、F8 (24.01 g)、F9 (178.29 g) 和 F10 (72.75 g) 共 10 个组分。取 F1 (30.97 g) 用石油醚溶解, 加入 40~45 μm 柱层析硅胶拌样, 晾干后研磨成粉, 湿法装柱, 干法上样, 硅胶柱依次用石油醚, $V(\text{石油醚}): V(\text{乙酸乙酯}) = 50: 1$ 、40: 1、30: 1、20: 1、10: 1、5: 1、1: 1, 乙酸乙酯, $V(\text{乙酸乙酯}): V(\text{甲醇}) = 50: 1$ 、40: 1、30: 1、20: 1、10: 1、5: 1、1: 1 和纯甲醇梯度洗脱, 收集馏分, 减压浓缩, 经薄层色谱 (TLC) 检测后合并相同组分, 分别得到

F1-1 (2.24 g)、F1-2 (3.42 g)、F1-3 (3.86 g)、F1-4 (5.18 g)、F1-5 (4.66 g)、F1-6 (4.19 g) 和 F1-7 (4.45 g) 共 7 个组分。F1-4 继续经硅胶柱纯化 [$V(\text{石油醚}): V(\text{乙酸乙酯}) = 10: 1$] 得到化合物 **1** (269.7 mg)。取 F2 (9.09 g) 用乙酸乙酯溶解后拌样装柱, 流动相依次用石油醚, $V(\text{石油醚}): V(\text{乙酸乙酯}) = 20: 1$ 、15: 1、10: 1、5: 1、1: 1 和乙酸乙酯梯度洗脱, 在 $V(\text{石油醚}): V(\text{乙酸乙酯}) = 5: 1$ 极性段分别得到化合物 **2** (15.2 mg)、**3** (296.4 mg) 和 **4** (9.6 mg)。取 F3 (5.47 g) 用乙酸乙酯溶解后拌样装柱, 依次用石油醚, $V(\text{石油醚}): V(\text{乙酸乙酯}) = 10: 1$ 、8: 1、6: 1、4: 1、2: 1、1: 1 和乙酸乙酯反复经硅胶柱层析梯度洗脱, 在 $V(\text{石油醚}): V(\text{乙酸乙酯}) = 2: 1$ 极性段得到化合物 **5** (22.5 mg)。取 F7 (16.37 g) 用甲醇溶解, 依次用石油醚, $V(\text{石油醚}): V(\text{乙酸乙酯}) = 10: 1$ 、5: 1、2: 1、1: 1, 乙酸乙酯和甲醇经硅胶柱层析梯度洗脱和 LH-20 葡聚糖凝胶柱层析后, 用甲醇重结晶得到化合物 **6** (988.5 mg)。取 F8 (21.01 g) 用甲醇溶解, 依次用石油醚、乙酸乙酯和甲醇反复经硅胶柱层析梯度洗脱, 用甲醇重结晶得到化合物 **7** (20.5 mg)。

1.5 抑菌活性测定

1.5.1 滤纸片法 采用滤纸片法^[7-9]测定 7 个化合物的抑菌活性。用移液枪吸取定量的药液于直径为 6 mm 的滤纸片上, 保证每片滤纸上化合物的载样量为 50 μg 。待溶剂挥发后, 将其置于细菌生测皿内并轻轻按压, 于 4 $^{\circ}\text{C}$ 冰箱中放置 1~2 h

使药物充分扩散, 再移至 37 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱中培养, 于 8 h 后当细菌均匀地铺满培养皿形成雾面状且阳性对照的抑菌圈可见时观察结果。每处理设 3 个重复, 同时以硫酸链霉素 (0.25 $\mu\text{g}/\text{片}$) 作阳性对照, 并设溶剂对照。

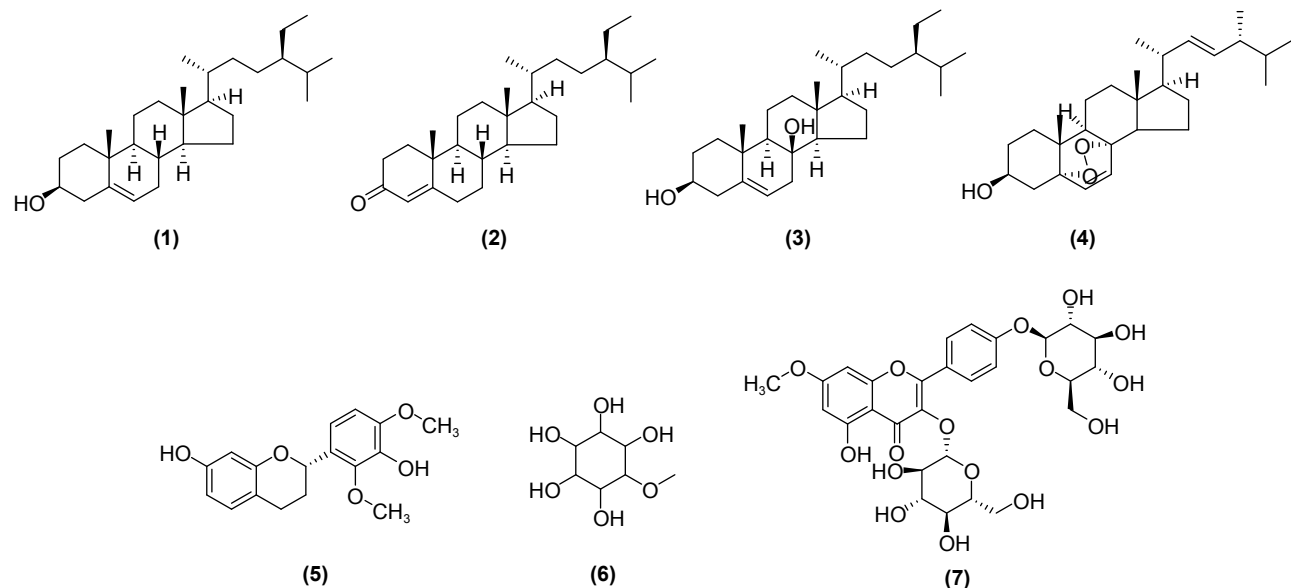
1.5.2 最低抑制浓度 (MIC) 的测定 采用微量肉汤稀释法 (酶标板)^[10] 测定化合物 **5** 对供试细菌的 MIC 值。将活化好的供试细菌用 Muller-Hinton 培养基配制成浓度为 $10^6 \sim 10^7$ 个/mL 的菌悬液 ($\text{OD}_{600} = 0.08 \sim 0.1$), 根据 2 倍稀释法将第 1~9 列设为样品测试列, 样品最终质量浓度分别为 600.0、300.0、150.0、75.0、37.5、18.8、9.4、4.7 和 2.3 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 第 10 列为空白培养基对照, 第 11 列为溶剂对照, 第 12 列为阳性对照。每组重复 3 次。将混合液置于 37 $^{\circ}\text{C}$ 恒温培养箱中培养 12 h, 观察试验现象。最终呈透明澄清状态的处理组所对应化合物的最低浓度即为细菌的 MIC 值。

2 结果与分析

2.1 化合物结构鉴定

采用 ^1H NMR、 ^{13}C NMR 和 ESI-MS 对化合物 **1~7** 的结构进行了鉴定, 经与相关文献值分析比对, 确定其化学结构为如图式 1 所示, 其中 **1~4** 为甾体类, **6** 为肌醇类, **5** 和 **7** 为黄酮类。

化合物 **1**: 无色针状晶体; m.p. 135~137 $^{\circ}\text{C}$ (文献值^[11] 134~136 $^{\circ}\text{C}$); ESI MS: m/z 415 $[\text{M} + \text{H}]^+$; 分子式为 $\text{C}_{29}\text{H}_{50}\text{O}$; 其 ^1H NMR 谱和 ^{13}C



图式 1 化合物 **1~7** 的化学结构

Scheme 1 Structural formula of compounds **1-7**

NMR 谱数据与文献 [11] 报道一致，故鉴定该化合物为 β -谷甾醇。

化合物 2: 无色针状晶体; mp. 96~98 °C (文献值^[12] 98~99 °C); ESI MS: m/z 413 [M + H]⁺; 分子式为 C₂₉H₄₈O; 其 ¹HNMR 谱和 ¹³C NMR 谱数据与文献 [12] 报道的数据一致，故鉴定该化合物为 β -sitostenone。

化合物 3: 白色无定形粉末; mp. 105~107 °C (文献值^[13] 106~107 °C); ESI MS: m/z 431 [M + H]⁺; 分子式为 C₂₉H₅₀O₂; 其 ¹HNMR 谱和 ¹³C NMR 谱数据与文献 [13] 的报道一致，故鉴定该化合物为 lawsaritol A。

化合物 4: 白色针状晶体; mp. 177~179 °C (文献值^[14-15] 176~179 °C); ESI MS: m/z 429 [M + H]⁺; 分子式为 C₂₈H₄₄O₃; 其 ¹HNMR 谱和 ¹³C NMR 谱数据与文献 [14-15] 报道的数据一致，故鉴定该化合物为 3 β -羟基-5 α ,8 α -桥二氧麦角甾-6,22-二烯。

化合物 5: 乳黄色针状晶体; mp. 151~153 °C (文献值^[16] 152~153 °C); ESI MS: m/z 303 [M + H]⁺; 分子式为 C₁₇H₁₈O₅; 其 ¹HNMR 谱和 ¹³C NMR 谱数据与文献 [16] 报道的数据一致，故鉴定该化合物为 3',7-二羟基-2',4'-二甲氧基异黄烷。

化合物 6: 白色颗粒状结晶; mp. 197~199 °C

(文献值^[17] 196~198 °C); ESI MS: m/z 195 [M + H]⁺; 分子式为 C₇H₁₄O₆; 其 ¹HNMR 谱和 ¹³C NMR 谱数据与文献 [17] 报道的数据一致，故鉴定该化合物为 *D*-1-*O*-甲基肌醇。

化合物 7: 黄色粉末; mp. 277~279 °C (文献值^[18-19] 279~280 °C); ESI MS: m/z 625 [M + H]⁺; 分子式为 C₂₈H₃₂O₁₆; 其 ¹HNMR 谱和 ¹³C NMR 谱数据与文献 [18-19] 报道的数据一致，故鉴定该化合物为沙苑子苷。

2.2 化合物的抑菌活性

滤纸片法测定结果表明：当滤纸片载药量为 50.00 μ g 时，除化合物 5 和 7 外，其余 5 个化合物对 8 种供试细菌均无明显活性；化合物 7 只对烟草青枯病菌表现出微弱的活性，其抑菌圈直径为 8.50 mm；而化合物 5 对蜡状芽孢杆菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、白菜软腐病菌、猕猴桃溃疡病菌和烟草青枯病菌这 7 种细菌均有不同程度的抑制作用，其中对金黄色葡萄球菌和烟草青枯病菌的抑菌圈直径分别达到了 18.50 mm 和 17.50 mm，且抑菌圈透明，说明化合物 5 对这 2 种菌的抑制活性较强；对蜡状芽孢杆菌、大肠杆菌和猕猴桃溃疡病菌的抑制活性相当；对枯草芽孢杆菌和白菜软腐病菌的抑制活性相对较差；对魔芋软腐病菌则无明显活性 (表 1)。

表 1 化合物 5 和 7 的抑菌活性测定结果
Table 1 Determination of antibacterial activities of compounds 5 and 7

化合物 Compound	载药量 Does/(μ g/disc)	抑菌圈直径 Diameter of inhibition zone/mm							
		BC	EC	SA	BS	ECA	ECS	PS	RS
5	50.00	15.75***	15.00**	18.50**	12.50*	11.50***	—	15.50***	17.50***
7	50.00	—	—	—	—	—	—	—	8.50*
溶剂对照 solvent	—	—	—	—	—	—	—	—	—
硫酸链霉素 streptomycin sulfate	0.25	11.50***	10.30**	9.50**	—	—	—	7.50**	—

注：BC-蜡状芽孢杆菌；EC-大肠杆菌；SA-金黄色葡萄球菌；BS-枯草芽孢杆菌；ECA-白菜软腐病菌；ECS-代表魔芋软腐病菌；PS-猕猴桃溃疡病菌；RS-青枯病菌。—表示无抑菌圈，*表示抑菌圈可见，**表示抑菌圈较清晰，***表示抑菌圈完全透明。
Note:BC-*B. cereus*; EC-*E.coli*; SA-*S. aureus*; BS-*B. subtilis*; ECA-*E.carotovora*; ECS-*E.carotovora* subsp. *carotovora*; PS-*P.syringae* pv. *actinidiae*; RS-*R. solanacearum*. — no inhibition zone; * inhibition zone visible; ** inhibition zone clear; *** inhibition zone transparent.

对于初筛活性较好的化合物 5，又测定了其 对 8 种细菌的 MIC 值。结果 (表 2) 表明：化合物 5 对蜡状芽孢杆菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和枯草芽孢杆菌的抑制活性均低于阳性对照硫酸链霉素，但对白菜软腐病菌的抑制活性则与硫酸链霉素相当，对猕猴桃溃疡病菌和烟草青枯病菌的抑制活性却高于阳性对照硫酸链霉素。

3 结论与讨论

采用硅胶柱层析和 Sephadex LH-20 凝胶层析，从扁茎黄芪植株中分离得到了 7 个化合物，分别为 β -谷甾醇 (1)、 β -sitostenone (2)、lawsaritol A (3)、3 β -羟基-5 α ,8 α -桥二氧麦角甾-6,22-二烯 (4)、3',7-二羟基-2',4'-二甲氧基异黄烷 (5)、*D*-1-*O*-甲基肌醇 (6) 和沙苑子苷 (7)。所有化合物均为首

表 2 化合物 5 的 MIC 值

Table 2 Minimum inhibitory concentrations of compound 5								($\mu\text{g/mL}$)
化合物 Compound	BC	EC	SA	BS	ECA	ECS	PS	RS
5	37.5	37.5	18.8	75	75	—	37.5	18.8
硫酸链霉素 streptomycin sulfate	4.7	18.8	9.4	9.4	75	—	75	75

注: BC-蜡状芽孢杆菌; EC-大肠杆菌; SA-金黄色葡萄球菌; BS-枯草芽孢杆菌; ECA-白菜软腐病菌; ECS-代表魔芋软腐病菌; PS-猕猴桃溃疡病菌; RS-青枯病菌。

Note:BC-*B. cereus*; EC-*E. coli*; SA-*S. aureus*; BS-*B. subtilis*; ECA-*E. carotovora*; ECS-*E. carotovora* subsp. *carotovora*; PS-*P. syringae* pv. *actinidiae*; RS-*R. solanacearum*.

次从该植物的植株中分离得到; 抑菌活性测定结果表明, 异黄酮类化合物 **5** 对蜡状芽孢杆菌、大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、枯草芽孢杆菌、白菜软腐病菌、猕猴桃溃疡病菌和烟草青枯病菌这 7 种细菌均有较好的抑制作用, 而沙苑子苷 **7** 仅对烟草青枯病菌有微弱活性。

通过与已报道的沙苑子的化学成分^[20-21]对比可以发现, β -谷甾醇 (**1**) 和沙苑子苷 (**7**) 除了存在于沙苑子中外, 在扁茎黄芪的植株中也有分布; 此外, 本次分离还得到了 3 个甾体类、1 个异黄酮类和 1 个肌醇类化合物。与文献报道的沙苑子总黄酮的降压降脂、保肝、抑制血小板聚集作用^[3-4]不同, 本研究首次发现了异黄酮类化合物 **5** 的农用抑菌活性。另外, 根据化合物 **5** 和 **7** 结构与生物活性的差异, 可以初步推测异黄酮类化合物相对于黄酮苷而言有更好和更广泛的抑菌活性。

总的来说, 异黄酮类和甾体类^[22] 化合物是扁茎黄芪的重要活性成分, 这些化合物与其新活性的发现, 在一定程度上为扁茎黄芪药用部位以外植株部分的使用价值奠定了化学物质基础, 也为扁茎黄芪废弃秸秆的合理利用提供了研究基础。

参考文献 (Reference):

[1] 滕孝花, 苏玉彤, 肖秀萍. 扁茎黄芪的栽培管理[J]. 特种经济动植物, 2015, 18(9): 36-37.
TENG X H, SU Y T, XIAO XP. Cultivation management of *Astragalus complantus* [J]. *Special Econ Animal Plant*, 2015, 18(9): 36-37.

[2] 田杏芳, 赵平. 扁茎黄芪[J]. 中国水土保持, 1989(4): 29-30.
TIAN X F, ZHAO P. *Astragalus complantus*[J]. *Soil Water Conserv China*, 1989(4): 29-30.

[3] 李昌勤. 沙苑子化学成分及药理作用研究进展[J]. 时珍国医国药, 2000, 11(11): 1041-1042.
LI C Q. Advances in research on chemical constituents and pharmacological effects of *Astragali complanati* semen[J]. *Lishizhen Med Materia Medica Res*, 2000, 11(11): 1041-1042.

[4] 刘春宇, 顾振纶. 沙苑子的化学成分和药理作用[J]. 中国野生植物资源, 2002, 21(2): 1-3.

LIU C Y, GU Z L. Chemical constituents and pharmacological effects of *Astragali complanati* semen[J]. *Chin Wild Plant Resour*, 2002, 21(2): 1-3.

[5] 吴晓, 刘银芳, 刘春宇. 沙苑子化学成分研究[J]. 安徽中医药大学学报, 2014, 33(3): 91-94.
WU X, LIU Y F, LIU C Y, et al. Study on chemical constituents of semen *Astragali complanate*[J]. *J Anhui Univ Chin Med*, 2014, 33(3): 91-94.

[6] 许梦莹, 郭日新, 张晓, 等. 沙苑子化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(7): 1459-1466.
XU M Y, GUO R X, ZHANG X, et al. Chemical constituents from seeds of *Astragali complanati*[J]. *China J Chin Materia Medica*, 2018, 43(7): 1459-1466.

[7] 曾维才, 谭敏, 张佳琪, 等. 不同抑菌方法在食品防腐剂效果评价方面的比较[J]. 食品安全质量检测学报, 2010, 1(3): 112-117.
ZENG W C, TAN M, ZHANG J Q, et al. Effect of different inhibitory methods on the antimicrobial activity of preservative[J]. *J Food Saf Qual*, 2010, 1(3): 112-117.

[8] 祝瑞雪, 曾维才, 赵志峰, 等. 汉源花椒精油的化学成分分析及其抑菌作用[J]. 食品科学, 2011, 32(17): 85-88.
ZHU R X, ZENG W C, ZHAO Z F, et al. Chemical components and antibacterial activity of Hanyuan *Zanthoxylum bungeanum* seed oil[J]. *FoodSci*, 2011, 32(17): 85-88.

[9] 侯文久, 杨凤影, 王维新. 中草药对刺参腐皮综合症病原菌的抑菌试验[J]. 中国农学通报, 2013, 29(5): 76-80.
HOU W J, YANG F Y, WANG W X. *In vitro* bacteriostatic effect of Chinese herbs against causative pathogens of skin ulcer syndrome in sea cucumber *Apostichopus japonicus*[J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2013, 29(5): 76-80.

[10] 陈秀枢, 屠涛. 微量肉汤稀释法测定 MIC 的评价[J]. 中华医学检验杂志, 1994, 17(2): 95-98.
CHEN X S, TU T. A microdilution broth method for the minimum inhibitory concentration[J]. *Chin J Med Lab Sci*, 1994, 17(2): 95-98.

[11] 海力茜, 张庆英, 赵玉英, 等. 多序岩黄芪化学成分研究[J]. 中国中药杂志, 2004, 29(5): 432-434.
HAI L Q, ZHANGQ Y, ZHAO Y Y, et al. Studies on chemical constituents fromroot of *Hedysarumpolybotrys*[J]. *China J Chin Materia Medica*, 2004, 29(5): 432-434.

[12] 田敏卿, 鲍光明, 季乃云, 等. 红树林植物海漆中的三萜和甾体化合物[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(4): 405-408.
TIAN M Q, BAO G M, JIN Y, et al. Triterpenoids and steroids from *Excoecaria agallocha*[J]. *China J Chin Materia Medica*, 2008, 33(4): 405-408.

[13] GUPTAS, AL IM, ALAM M S, et al. Isolation and characterization of a dihydroxysterol from *Lawsonia inermis*[J]. *Nat Prod Lett*, 1994, 4(3): 195-201.

[14] HYBELBAUEROVÁS, SEJBALJ, DRAČÍNSKÝM, et al. Chemical constituents of *Stereum subtomentosum* and two other birch-associated basidiomycetes: an interspecies comparative study[J]. [Chem Biodivers](#), 2008, 5(5): 743-750.

[15] 姜北, 赵勤实, 彭丽艳, 等. 雪茶化学成分研究[J]. [云南植物研究](#), 2002, 24(4): 525-530.

JIANG B, ZHAO Q S, PENG L Y, et al. Constituents from *Thamnia vermicularis*[J]. [Acta Botanica Yunnanica](#), 2002, 24(4): 525-530.

[16] HE Z Q, FINDLAY J A. Constituents of *Astragalus membranaceus*[J]. [J Nat Prod](#), 1991, 54(3): 810-815.

[17] DITTRICH P, GIETL M, KANDLER O. *D*-1-*O*-methyl-mucinositol in higher plants[J]. [Phytochemistry](#), 1972, 11(1): 245-250.

[18] 毕志明, 余庆涛, 李萍, 等. 蒙古黄芪地上部分的黄酮类成分[J]. [中国天然药物](#), 2007, 5(4): 263.

BI ZM, YU QT, LI P, et al. Flavonoids from the aerial parts of *Astragalus mongholicus*[J]. [Chin J Nat Med](#), 2007, 5(4): 263.

[19] 卢传礼, 周光雄, 王恒山, 等. 青天葵水溶性化学成分研究[J]. [时珍国医国药](#), 2010, 21(12): 3087-3088.

LU C L, ZHOU G X, WANG H S, et al. Water-soluble constituents from *Nerviliae fordii*[J]. [Lishizhen Med Materia Medica Res](#), 2010, 21(12): 3087-3088.

[20] 刘奇梅. 沙苑子有效化学成分的提取分离及其药理活性的研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.

LIU QM. Study on isolation and identification of active ingredient from *Astragali complanati* semen and its pharmacological activity[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013.

[21] 李洪娟. 沙苑子的化学成分研究[J]. [时珍国医国药](#), 2011, 22(3): 545-546.

LI H J. Chemical studies of seed of *Astragalus complanatus*[J]. [Lishizhen Med Materia Medica Res](#), 2011, 22(3): 545-546.

[22] 盛漪, 华伟, 谷文英. 植物甾醇生理功能及其研究进展[J]. [西部粮油科技](#), 2003, 28(2): 32-35.

SHENG Y, HUA W, GU W Y. Research about the function of phytosterols[J]. [China West Cereals Oils Technol](#), 2003, 28(2): 32-35.

(责任编辑: 金淑惠)