

野生西洋参鉴别、化学成分及药理作用研究进展

林红强, 李平亚, 刘金平*

吉林大学药学院天然药物研究中心, 长春 130021

摘要: 野生西洋参是美国首屈一指的药用植物, 大约在 18 世纪末期北美人对其进行掠夺性采挖, 导致其资源骤然下降。由于野生西洋参具有独特的药理活性, 不能以栽培西洋参所替代, 所以“野生模拟”森林播种西洋参的方法应运而生, 使其在山林野生状态下自然生长。与林下山参类似, 林下西洋山参可以作为野生西洋参的替代品。依据国内外学者对野生西洋参的研究报道, 本文从野生西洋参的起源、外界因素对其生长的影响、野生西洋参的鉴别、化学成分、药理活性等 5 个方面做一综述, 为其替代品—林下西洋山参的进一步研究与深入开发提供参考与对比。

关键词: 野生西洋参; 起源; 外界因素; 鉴别; 化学成分; 药理活性

中图分类号: R932

文献标识码: A

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2017.12.027

Research Progress on Identification, Chemical Constituents and Pharmacological Effects of Wild American Ginseng

LIN Hong-qiang, LI Ping-ya, LIU Jin-ping*

Center of Natural Drug Research in Jilin University, Changchun 130021, China

Abstract: Wild American ginseng (WAG) is the most famous wild medicinal plant in the United States. After the late 18th century, WAG resource was in a sharp decline with the predatory excavation by North Americans under the influence of interests. As the WAG has some particular pharmacological activities that the cultivated American ginseng does not have, it cannot be replaced by cultivated American ginseng. The cultivation method under forest in mountain with “wild simulation” for American ginseng has come into being. Similar to mountain-cultivated ginseng, the mountain-cultivated American ginseng (MCAG) would be the substitute of wild American ginseng. Based on the WAG research resulting from domestic and foreign scholars, lots of the articles focus on the most appropriate conditions for the simulation environment. This paper makes a review focus on the origin, the influence of external factors on the growth, the chemical composition, the identification between WAG and cultivated American ginseng, pharmacological activities, etc. The aim is to provide the reference for the development of mountain-cultivated American ginseng. It lays a foundation for the further study of MCAG.

Key words: wild American ginseng; origin; external factors; identification; chemical compositions; pharmacological activity

西洋参 (*Panax quinquefolium* Linn.) 系五加科人参属多年生草本植物, 俗称花旗参或 American ginseng, 原生长在北美东部的原始落叶森林中^[1], 主产于加拿大和美国。我国早在 1716 年就开始进口加拿大西洋参。而中美西洋参贸易开端是在 1780 年左右。近三百年来, 在利益的驱使下, 北美人对西洋参进行了掠夺性的采挖^[2]。如今, 加拿大的野生西洋参种群已接近灭绝^[1]。在美国, 野生西洋参样

品量也随着时间的推移显著地下降。这一结果与西洋参的长期、大量采挖, 以及美国北部地区的大规模森林砍伐、西洋参的缓慢再生等因素密切相关。因此, 美国在 1975 年已将野生西洋参列入“濒危野生动物和植物物种国际贸易公约”(CITES) 附录 II 中^[3,4], 对其进行重点保护, 并对其采挖和交易制定了严格规定。除此之外, 美国有关各州又都有野山参保护法, 对野生西洋参的采挖时间和方法进行了明确说明。为了解决野生西洋参的资源不足问题, 林下栽培西洋参的技术应运而生, 将西洋参播种在山林中, 使其在山林野生状态下自然生长。与林下

山参类似,林下西洋山参可以作为野生西洋参的替代品。为其替代品—林下西洋山参的进一步研究与深入开发提供参考与对比,本文综述了野生西洋参的鉴别、化学成分及生物活性研究进展。在论述中,野生西洋参指的是自然繁殖、不经外界人为干预生长和生存在林中的西洋参;林下西洋山参是指“野生模拟”森林环境种植所得的西洋参;栽培西洋参是指由人工遮荫的方法栽培得到的西洋参。

1 外界因素对野生西洋参生长的影响

野生西洋参生长和繁殖受到诸多外界环境的影响。近年来,“野生模拟”森林种植兴起^[5]。故探究野生西洋参的影响因素,对模拟野生种植环境具有指导性意义。

1.1 温度

较高温度能降低植物的光合速率和气孔导度并引起叶片提前衰老,导致西洋参的地下生物量显著减少^[6]。温度降低也会对其生长和繁殖有消极影响^[7]。故选择温度变化幅度较小的地区模拟森林种植,可保证西洋参的正常生理活动,提高其产量和质量。

1.2 光照、森林采伐

光合速率、相对生长速度与光斑特征呈正线性关系^[8]。林下光照强度是影响植株光合能力和色素含量的重要因素^[9]。生长季节结束时,光直接照射、总光照水平和持续时间与野生西洋参根中的人参皂苷含量呈正相关。但如接受超过 36% 的太阳辐射,会导致人参皂苷积累量减少^[10]。同时过度采伐森林也会使西洋参种群的总体生存和生长水平下降^[11]。故适当采伐森林和修剪森林冠层,优化下层

光照水平,可最大化人参皂苷的积累量。

1.3 土壤钙含量

土壤钙含量大于 3360 kg/公顷时对西洋参的生长和活性有积极影响^[5]。故模拟种植时推荐补充 Ca 含量^[11],以提高人参皂苷含量^[12]。但要防止过量使用,导致根中总皂苷含量降低。

1.4 鹿浏览量与画眉鸟类的影响

研究发现,当模拟鹿的浏览率降低超过 50% 时,种群活力急剧上升^[13]。另画眉鸟获食西洋参浆果后 15 ~ 37 min 内,肠道中种子仍保持活性,故可起空间分散种子的作用,分散距离范围约 100 m^[14]。故在模拟的野生环境中可适当引入画眉鸟等鸟类以分散种子。

2 野生西洋参的鉴别

由于对野生西洋参的不间断采挖,导致该资源日益枯竭,西洋参丰度严重下降。但是人们对野生西洋参的需求量却未有所减少,由于利益驱使,一些不法商贩便以西洋参的人工栽培品种冒充野生品种进行销售,从而鉴别西洋参是野生还是栽培的方法也随之产生。

2.1 传统性状鉴别

据传统的鉴别观点,野生西洋参可分为文形和武形。文形的主根较长而呈圆柱形,又称顺直体或笨体;武形的主根较短且呈疙瘩形或纺锤形,有两个较粗大呈“八”字形的短支根,俗称“类人形者”,又称灵体(或横灵体),质量优而难得。野生者体质较轻,种植者较重^[15],两者之间具体性状鉴别^[16,17],见表 1:

表 1 野生和栽培西洋参的性状鉴别

Table 1 Morphological identification of wild and cultivated American ginseng

性状 Characters	野生西洋参 Wild American ginseng	栽培西洋参 Cultivated American ginseng
形状 Shape	如蚕蛾大小(分文形和武形) Similar size to silkwormmoth (Wen and Wu-shaped)	如大拇指粗圆柱形或长纺锤形,长约 3 ~ 12 cm,直径约 0.8 ~ 2 cm As thick as a thumb, cylindrical or long spindle-shaped, about 3 ~ 12 cm long, 0.8 ~ 2 cm in diam
分枝有无 Any branch or not	无 No	偶有(长 2 ~ 6 cm,直径 0.5 ~ 1 cm) Occasionally exist (3 ~ 12 cm long, 0.8 ~ 2 cm in diam)
颜色 Color	外皮土黄色而较光滑,内部淡白色 Earth yellow and smooth scarfskin, white light inside	表面浅黄褐色或黄白色,内部淡白色 Light brown or yellowish white surface, white light inside.
参体 Body	有密集环状细横纹,尤以顶端为甚 Dense ringlike fine stripes, especially at the top	细横纹不及野生参紧密,有时参体下部可见稀少的纵纹 Fine stripes less than wild one, visible scarce vertical lines at the lower part occasionally

续表 1 (Continued Tab. 1)

性状 Characters	野生西洋参 Wild American ginseng	栽培西洋参 Cultivated American ginseng
质地 Texture	轻而硬 Light and hard	较结实 More solid
气味 Odour	味微甘而苦 Taste slightly sweet and bitter	气味不如野生参,较淡薄 Relatively weaker than wild American ginseng

2.2 利用 16S rDNA-RFLP 分析鉴定

研究发现所有参龄的西洋参中均含有内生真菌且存在组织特异性,从研究宿主中共获得 134 个真菌分离株,分属于 27 个真菌组^[18]。万红娇等人利用 16SrDNA-RFLP 对美国野生西洋参,美国许氏种植西洋参,吉林种植西洋参和加拿大种植西洋参进行分析,实验表明电泳后每一种西洋参均出现 16S rDNA 条带。再将 16S rDNA 产物分别用限制性内切酶 Hha I, Rsa I, Hinf I 进行酶切,结果表明五种西洋参的酶切条带均明显不同。说明不同西洋参中的内生菌种类存在较大的差异^[19]。基于西洋参中内生菌的特性,可以建立一些微生物学鉴定方法对人参及西洋参的产地和品种进行鉴别。

2.3 使用微芯片电泳与激光诱导荧光检测技术鉴定

利用微芯片电泳方法联合耦合聚合酶链反应(PCR)、短串联重复(STR)技术可以快速鉴别参的种类,另可利用等位基因大小区别野生和栽培西洋参^[20]。

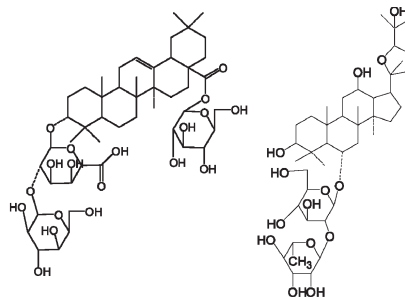
2.4 通过 RAPD 标记分析野生和栽培西洋参的遗传多样性进行鉴定

Lim WS 曾使用 RAPD 标记物来评估来自 7 个群体的样品之间的遗传差异,从 64 个随机引物中选择 15 个引物,结果显示 124 种高度可重复的多态性标记。故可以使用不一致条带与总评分条带的比率来评价群体内和群体之间的遗传距离。有研究通过关系矩阵的多维缩放(MDS)寻找野生和栽培种群之间存在的特殊差异。研究发现野生种群内的遗传多样性要低于栽培种群的多样性^[21]。因此,可以利用野生西洋参与栽培品种的遗传多样性的差异对其种类进行鉴定。

3 野生西洋参的化学成分研究进展

根据文献报道,野生西洋参富含人参皂苷、氨基酸、人参多糖、多种微量元素和无机盐^[22]、人参酸、

蛋白质、酶类、多肽、挥发油、植物甾醇、胆碱、单糖、果胶、维生素 A、B₁、B₂、C 等。其中含量最多的活性成分当属于人参皂苷,类型包括达玛烷型(主要化合物见表 2)、齐墩果酸型(图 1①)、奥克梯隆型人参皂苷,其中奥克梯隆型拟人参皂苷 F11(结构见图 1②)为西洋参的特征性成分。单体皂苷元含量上以人参二醇为主、次为人参三醇,齐墩果酸型只含微量。被研究较多的是 6 种含量较高的皂苷人参皂苷 Rb₁(5)、Rb₂(6)、Rc(8)、Rd(9)、Rg₁(22)、Re(21)以及 Ro(图 1①)^[23]。其中人参皂苷 Rb₁ 是含量最为丰富,其次是 Rg₁ 和 Re,且人参皂苷 Rg₁ 和 Re 含量呈负相关。野生西洋参中的氨基酸包括人体必需和非必需氨基酸,与其它参类似,在各氨基酸中含量最高的是精氨酸,其次是谷氨酸,再次是天门冬氨酸^[8]。



① 人参皂苷 Ro ② 拟人参皂苷 F11
① Ginsenoside Ro ② Pseudoginsenoside F11

图 1 两种类型人参皂苷的结构

Fig. 1 Chemical structures of two types of ginsenosides

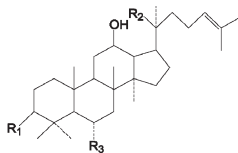


图 2 主要人参皂苷类化合物母核

Fig. 2 The mother-nuclear structure of main ginsenosides

除少数文章直接研究野生西洋参的成分外,大

表2 主要人参皂苷类化合物的结构

Table 2 The mother-nuclear structure of mainginsenosides

编号 No.	人参皂苷 Ginsenosides	R ₁	R ₂	R ₃
1	20(s)-protopanaxadiol	OH	OH	H
2	Ra ₁	<i>O</i> -glc(2→1) glc	<i>O</i> -glc(6→1) ara(p)(4→1) xyl	H
3	Ra ₂	<i>O</i> -glc(2→1) glc	<i>O</i> -glc(6→1) ara(f)(4→1) xyl	H
4	Ra ₃	<i>O</i> -glc(2→1) glc	<i>O</i> -glc(6→1) glc(3→1) xyl	H
5	Rb ₁	<i>O</i> -glc(2→1) glc	<i>O</i> -glc(6→1) glc	H
6	Rb ₂	<i>O</i> -glc(2→1) glc	<i>O</i> -glc(2→1) ara(p)	H
7	Rb ₃	<i>O</i> -glc(2→1) glc	<i>O</i> -glc(2→1) xyl	H
8	Rc	<i>O</i> -glc(2→1) glc	<i>O</i> -glc(6→1) ara(f)	H
9	Rd	<i>O</i> -glc(2→1) glc	<i>O</i> -glc	H
10	Rg ₃	<i>O</i> -glc(2→1) glc	OH	H
11	Rh ₂	<i>O</i> -glc	OH	H
12	Rs ₁	<i>O</i> -glc(2→6) glc-Ac	<i>O</i> -glc(6→1) ara(p)	H
13	Rs ₂	<i>O</i> -glc(2→6) glc-Ac	<i>O</i> -glc(6→1) ara(f)	H
14	Rs ₃	<i>O</i> -glc(2→6) glc-Ac	OH	H
15	Malonyl-Rb ₁	<i>O</i> -glc(2→6) glc-Ma	<i>O</i> -glc(6→1) glc	H
16	Malonyl-Rb ₂	<i>O</i> -glc(2→6) glc-Ma	<i>O</i> -glc(6→1) ara(p)	H
17	Malonyl-Rc	<i>O</i> -glc(2→6) glc-Ma	<i>O</i> -glc(6→1) ara(f)	H
18	Malonyl-Rd	<i>O</i> -glc(2→6) glc-Ma	<i>O</i> -glc	H
19	F ₂	<i>O</i> -glc	<i>O</i> -glc	H
20	20(s)-protopanaxatriol	OH	OH	OH
21	Re	OH	<i>O</i> -glc	<i>O</i> -glc(2→1) rha
22	Rg ₁	OH	<i>O</i> -glc	<i>O</i> -glc
23	Rg ₂	OH	OH	<i>O</i> -glc(2→1) rha
24	Rh ₁	OH	OH	<i>O</i> -glc
25	Notoginsenoside R ₂	OH	OH	<i>O</i> -glc(2→1) xyl
26	F ₁	OH	glc	OH

部分都集中于探究野生西洋参和栽培西洋参的成分差别:文献报道利用UHPLC-QTOF/MS方法区分野生品和栽培品。野生样品通常具有更多的三七皂苷R₁和R_{w2},而栽培品种含更多的人参皂苷Rd、Rd异构体和20(S)-Rg₃^[22]。另Wang JR等使用HPLC方法发现野生西洋参中Rd水平一直低于Rg₁水平,在野生和栽培的西洋参中的定量比较中,Rg₁/Rd比率表现出很大的差异^[13],推测该比例可以作为特征标记用于区分两种西洋参。文献还报道了采用分光光度计法测定总皂苷含量,其中野生西洋参总皂苷含量是8.0%(w/w),高于栽培的西洋参总皂苷

含量5.9%(w/w)^[24];野生西洋参比栽培西洋参在总皂苷和总皂苷元含量上各高出1.4倍和1.66倍^[25]。

4 野生西洋参的药理活性研究进展

人参和西洋参均含人参二醇和人参三醇型皂苷,相比于人参,西洋参的人参二醇含量较高,人参三醇含量偏低。由于人参二醇生理活性作用比较缓和,具有安定神经、解热镇痛之效,而人参三醇具有很好的抗疲劳作用,可以升高体温。所以相对之下西洋参表现为性寒,以养阴生津作用为主^[26]。由于野生西洋参的资源极为匮乏,对其药理活性研究极

少,根据仅有的一些文献报道,并结合其主要化学成分的作用,现将野生西洋参的药理作用总结如下:

4.1 对心血管系统的作用

野生西洋参对心血管系统具有一定的保护作用,它能够改善由于心肌缺血而导致的心肌收缩力降低、心输出量减少等症状,还可以增加红血球、白血球、血小板的数量、调节血脂代谢^[27],对心律失常、脑血栓动脉粥样硬化、血糖偏高等均具有明显的改善作用。

4.2 对中枢神经系统的作用

野生西洋参对神经系统的作用具有双面性:既有抑制也有兴奋作用,但是以兴奋作用为主,其可以改善受损记忆和学习功能^[28],并具有抗惊厥、抗缺氧、抗疲劳^[29]等作用。

4.3 免疫调节作用和抗肿瘤作用

野生西洋参能通过平衡免疫反应来增强机体的特异性免疫应答,从而提高机体的免疫力;同时也能抑制癌细胞增殖、起到抗肿瘤的作用。

除上述作用外,野生西洋参也可以保护肝脏,增强肝脏解毒功能的效果;并对机体某些物质代谢起到一定的调节作用,防止相应疾病的产生;其亦能清除体内某些致衰老的自由基,从而起到延缓衰老的作用等。

与栽培西洋参相比,二者在所含成分种类和含量上存在较大差异:野生西洋参根的总皂苷含量比栽培的品种高,单个野生根的总皂苷含量变化在1%~15%之间^[30],其单位体积的药用有效成分是栽培品的90倍左右;其中具有防止心肌缺血、预防心肌梗死作用的人参皂苷Rg₂的含量是栽培品的4~5倍;可预防老年痴呆症的Rb₁含量为栽培参的3~4倍;而齐墩果酸型人参皂苷Ro的含量则为栽培品的5~6倍;野生西洋参中的某些人体必需的营养元素含量也明显高于栽培品^[31]等。因此野生西洋参的药理作用比栽培西洋参更加显著,有其独特的药理活性,在某些方面上,栽培品是不能替代野生品种进行应用和治疗疾病的。

5 小结

综上,野生西洋参具有丰富的化学成分和多种多样的药理活性,但由于其资源有限,真正的野生品种难以获得,使得其开发利用收到极大的限制。为解决这个问题,近年来发展了“野生模拟”森林播种的方法,使其在山林野生状态下自然生长。与林下

山参类似,林下西洋山参可以作为野生西洋参的替代品,可为高品质西洋参提供新的来源。本综述为其替代品—林下西洋山参的进一步研究与深入开发提供了很好的参考与对比。

参考文献

- 1 Nadeau I, et al. The impact of lime and organic fertilization on the growth of wild-simulated American ginseng. *Can J Plant Sci*, 2003, 83: 603-609.
- 2 Ding ZN (丁之恩). Review of research progress in physiologically active substances in *Panax quinquefolius*. *Econ Forest Res* (经济林研究), 2001, 19: 44-47.
- 3 Young JA, et al. Development of tri- and tetra-nucleotide polysomic microsatellite markers for characterization of American ginseng (*Panax quinquefolius* L.) genetic diversity and population structuring. *Conserv Genet Res*, 2012, 4: 833-836.
- 4 Case MA, et al. Declining abundance of American ginseng (*Panax quinquefolius* L.) documented by herbarium specimens. *Biol Conser*, 2007, 134: 22-30.
- 5 Burkhart EP. American ginseng (*Panax quinquefolius* L.) floristic associations in Pennsylvania: guidance for identifying calcium-rich forest farming sites. *Agroforest Sys*, 2013, 87: 1157-1172.
- 6 Jochum GM, et al. Elevated temperatures increase leaf senescence and root secondary metabolite concentrations in the understory herb *Panax quinquefolius* (Araliaceae). *Am J Bot*, 2007, 94: 819-826.
- 7 Souther S, Mcgraw JB. Vulnerability of wild American ginseng to an extreme early spring temperature fluctuation. *Popul Ecol*, 2011, 53: 119-129.
- 8 Wagner A, Mcgraw JB. Sunfleck effects on physiology, growth, and local demography of American ginseng (*Panax quinquefolius* L.). *Forest Ecol Manag*, 2013, 291: 220-227.
- 9 Fournier AR, et al. Growing American ginseng organically in a north American broadleaf forest. *Acta Horticult*, 2008, 765: 77-86.
- 10 Fournier AR, et al. Understory light and root ginsenosides in forest-grown *Panax quinquefolius*. *Phytochemistry*, 2003, 63: 777-782.
- 11 Chandler JL, Mcgraw JB. Variable effects of timber harvest on the survival, growth, and reproduction of American ginseng (*Panax quinquefolius* L.). *Forest Ecol Manag*, 2015, 344: 1-9.
- 12 Lee J, Mudge KW. Gypsum effects on plant growth, nutrients, ginsenosides, and their relationship in American ginseng. *Hortic Environ Biote*, 2013, 54: 228-235.
- 13 Mcgraw JB, Furedi MA. Deer browsing and population viability of a forest understory plant. *Science*, 2005, 307: 920-922.

- 14 Elza MC, *et al.* Analysis of wood thrush (*Hyllocichla mustelina*) movement patterns to explain the spatial structure of American ginseng (*Panax quinquefolius* L.) populations. *Ecol Res*, 2016, 31: 1-7.
- 15 Sun SX (孙守祥), Gao Y (高燕). The learning through practice and inquiring into the *Panax quinquefolium* L. experiential distinguishing. *Lishizhen Med Mater Med Res* (时珍国医国药), 2002, 13: 618-619.
- 16 Chen YX (陈燕雪). The characters identification between wild and cultivated American ginseng. *Fujian JTCM* (福建中医药), 1997, 28: 53.
- 17 Chinese Pharmacopoeia Commission (国家药典委员会). Pharmacopoeia of the People's Republic of China (中华人民共和国药典). Beijing: China Medical Science Press, 2015. Vol I, 131.
- 18 Xing XK, *et al.* Biodiversity and distribution of endophytic fungi associated with *Panax quinquefolium* L. cultivated in a forest reserve. *Symbiosis*, 2010, 51: 161-166.
- 19 Wan HJ (万红娇), *et al.* Analysis the differences of endophyte bacterias in *Panax ginseng* by 16S rDNA-RFLP Method. *J Jiangxi Coll Tradit Chin Med* (江西中医药大学学报), 2015, 27: 51-54.
- 20 Qin J, *et al.* Rapid authentication of ginseng species using microchip electrophoresis with laser-induced fluorescence detection. *Anal Bioanal Chem*, 2005, 381: 812-819.
- 21 Lim WS. Genetic diversity of wild and cultivated populations of American ginseng (*Panax Quinquefolium* L.) from eastern north America analyzed by RAPD markers. *Korean J Med Crop Sci*, 2005, 13: 262-269.
- 22 Chen Y, *et al.* Chemical differentiation and quality evaluation of commercial Asian and American ginsengs based on a UH-PLC-QTOF/MS/MS metabolomics approach. *Phytochem Anal*, 2015, 26: 145-160.
- 23 Wang JR, *et al.* Quantitative comparison of ginsenosides and polyacetylenes in wild and cultivated American ginseng. *Chem Biodivers*, 2010, 7: 975-983.
- 24 Joseph HC, *et al.* The content of ginsenosides in various ginseng plants and their selected products. *Spec Wild Econ Anim Plant Res* (特产研究), 1981, 4: 45-48.
- 25 Li XG (李向高). Study on chemical components of different parts of American ginseng. *J Chin Med Mat* (中药材), 1983, 1: 17-21.
- 26 Lou ZH (娄子恒), *et al.* Discussion on classification and identification of mountain ginseng. *J Ginseng Res* (人参研究), 2003, 15: 14-18.
- 27 Zhuo DR (卓丹如), *et al.* *In vitro* dissolution rate of ginsenoside Rb1 in superfine powder of wild *Panacis quinquefolii* Radix. *Drug Eval Res* (药物评价研究), 2013, 36: 374-376.
- 28 Assinewe VA, *et al.* Phytochemistry of wild populations of *Panax quinquefolius* L. (North American ginseng). *J Agric Food Chem*, 2003, 51: 4549-4553.
- 29 Wang XX (王习霞), Qian F (钱锋). The physiological effects of cell culture on Americanginseng. *J Nanjing Tech Univ* (南京工业大学学报, 自科版), 1994, 16: 44-46.
- 30 Chen C, *et al.* Comparison of the pharmacological effects of *Panax ginseng* and *Panax quinquefolium*. *Acta Pharmacol Sin*, 2008, 29: 1103-1108.
- 31 Wang TS (王铁生). Marketing overview of American wild American ginseng and its compound. *J Ginseng Res* (人参研究), 2006, 18: 8-10.

(上接第 2146 页)

- 16 Li Y, Zhang H, Yang L, *et al.* Effect of medium-chain triglycerides on growth performance, nutrient digestibility, plasma metabolites and antioxidant capacity in weanling pigs. *Anim Nutr*, 2015, 1(1): 12-18.
- 17 Su BZ (苏斌朝), Wang LS (王连生), Wang H (王红), *et al.* Effects of corn DDGS diets supplemented with conjugated linoleic acid or betaine on growth performance, serum biochemical indices and antioxidant function of finishing pigs. *J Anim Nutr* (动物营养学报), 2012, 24: 1737-1744.
- 18 Wang YH (王彦华), Cheng NN (程宁宁), Zheng AR (郑爱荣), *et al.* Effects of alfalfa meal and alfalfa saponin on growth performance and antioxidant function of finishing pigs. *J Anim Nutr* (动物营养学报), 2013, 25: 2981-2988.
- 19 Kong XF (孔祥峰), Hu YL (胡元亮), Song DL (宋大鲁). Research progress on immunological pharmacology of astragalus polysaccharides. *Chin Trad Vet Sci* (中兽医学杂志), 2003, 3: 34-37.
- 20 Duan QM (段琦梅), Liang ZS (梁宗锁), Nie XN (聂小妮), *et al.* Antioxidant activity detection of astragalus membranaceus and codonopsis pilosula ethanol extracts by DPPH method. *Acta Bot Bor-Occid Sin* (西北植物学报), 2010, 30: 2123-2127.
- 21 Feng H (冯晗), Zhou HH (周宏灏), Ouyang DS (欧阳冬生). Chemical constituents and pharmacology of eucommia ulmoides oliv. *Chin J Clin Pharm Ther* (中国临床药理学与治疗学), 2015, 20: 713-720.
- 22 Zhao Z (赵岩), Xu Y (徐莹), Zha L (查琳), *et al.* Hypoglycemic and anti-oxidant activity of extracts from *ligustrum lucidum*. *Drug Evalu Res* (药物评价研究), 2016, 39: 382-387.