

基于 GMPGIS 全球变暖情景下人参未来生态适宜产区变化

沈亮^{1,2} 徐江¹ 董林林¹ 孟祥霄¹ 张乃晏³ 藤原直树⁴ 李西文¹

(1 中国中医科学院中药研究所,北京,100700; 2 中国中医科学院博士后科研流动站,北京,100700; 3 盛实百草药业有限公司,天津,300301; 4 日本国株式会社津村生药研发部,茨城,300-1192)

摘要 目的:通过开展未来时期人参全球潜在生态适宜产区分析,为其合理规划生产布局提供科学依据。方法:采用“药用植物全球产地生态适宜性区划信息系统”(Global Geographic Information System for Medicinal Plant, GMPGIS),以人参本草文献记载的道地产区、野生分布区以及当前主产区人参生态因子数值为依据,对其在全球范围内的潜在生态分布区进行分析。结果:亚洲东部、北美洲中部及东部、欧洲中南部及大洋洲东部地区是当前人参全球范围内的主要适生区域。随着全球气候变暖,在温室气体排放相对较少的 A1b 模型和排放较多的 A2a 模型下,2050 年人参潜在生态适宜产区面积约为 $9\,500 \times 10^3 \text{ km}^2$,比当前产区适宜面积增加了 7.05%~7.12%,增长区域主要分布在亚洲东北部和欧洲北部地区;2100 年人参适宜产区面积约为 $10\,800 \times 10^3 \text{ km}^2$,比当前产区适宜面积增加了 22.89%~27.41%,增长区域主要分布在欧洲北部及亚洲中部及东部地区。结论:气温升高有助于人参适宜产区增加,本研究结果可为人参生产布局规划、引种栽培、规模化种植提供科学依据。

关键词 人参;GMPGIS;生态适宜性;全球变暖;潜在分布

A Research on the Ecological Suitability of Panax Ginseng Based on GMPGIS Under Global Warming in the Future

Shen Liang^{1,2}, Xu Jiang¹, Dong Linlin¹, Meng Xiangxiao¹, Zhang Naiwu³, Naoki Fujihara⁴, Li Xiwen¹

(1 Institute of Chinese Materia Medica, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China; 2 Post-Doctoral Research Center, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China; 3 China Medico Corporation, Tianjin 300301, China; 4 Botanical Raw Materials Division, Tsumura & CO, Ibaraki 300-1192, Japan)

Abstract Objective: Through the development of potential geographical distribution of producing area in the global range of ginseng, we aim to provide scientific basis for rational planning, production and layout planting of cultivation. **Methods:** The potential distribution of *P. ginseng* in the world were predicted using GMPGIS according the site data from both the traditional producing regions recorded in past dynasties medicinal works and the popular production regions in the world. **Results:** East Asia, the Middle east of North America, the South central of Europe and part of Australia are the main suitable areas for growth of *P. ginseng*. As the global climate changes, with greenhouse gases under the A1b and A2a emissions scenario, by 2050, the potential distribution of *P. ginseng* will have a tendency to expend ($9500 \times 10^3 \text{ km}^2$), 7.05%~7.12% larger than that predicted by current potential distribution area, and the potential distribution will have an increase area in 2100 ($10\,800 \times 10^3 \text{ km}^2$), 22.89%~27.41% larger than that predicted by current potential distribution area. The increase area are in north of Europe, middle and east of Asia. **Conclusion:** Rising temperatures will help increases suitable region of ginseng in the world. Use of GMPGIS to select the optimum production regions provides a new scientific basis for introduction, cultivation, tending, and cultivation for *P. ginseng*.

Key Words Panax ginseng; GMPGIS; Ecological suitability; Global warming; Potential distribution

中图分类号:[R282.2] 文献标识码:A doi:10.3969/j.issn.1673-7202.2017.05.003

人参为五加科植物人参 *Panax ginseng* C. A. Mey. 的干燥根及根茎,享有“百草之王”之美誉,主要分布在中国东北、朝鲜、韩国、日本、俄罗斯东部等地区,是驰名中外的珍贵药材^[1-2]。因药用价值较高,长期掠夺式采挖,导致野生人参资源已濒临

枯竭,现已被中国《国家重点保护野生药用动植物名录》收录^[3]。目前市场上人参药材主要来源于栽培品。随着我国可用林地面积的逐渐减少,“平地栽参”模式已经成为“伐林栽参”后的主要发展方向^[4]。与国外农田栽参技术相比,中国“平地栽参”

基金项目:国家中药标准化项目(编号:ZYBZH-Y-TJ-43);中国博士后基金项目(编号:2017M611130)

作者简介:沈亮,博士,助理研究员,从事药用植物栽培与产区适宜性分析研究, E-mail:shenliang08@126.com

通信作者:李西文,博士,副研究员,主要从事药用植物栽培与鉴定研究, Tel: (010)57203877, E-mail:xwli@icmm.ac.cn

起步较晚,种植技术还不成熟,盲目进行引种栽培,不仅成活率较低,而且药材产量及质量下降严重,影响临床疗效。《本草经集注》有言“诸药所生,皆有境界”,环境因子改变对药材生长发育及有效成分积累具有重要影响^[5]。现阶段开展人参适宜产区分析,对促进人参种植产业健康可持续发展具有重要意义。

随着全球气候变暖对生态环境影响越发明显,对各物种的分布范围影响也不断增加^[6]。世界性公益组织气候变化专门委员会(IPCC)《第四次评估报告》(AR4)分析表明,1906—2005年100年的时间内,全球平均气温上升了0.74℃。随着全球经济快速发展,温室气体大量排放,2100年全球气温比1990年将上升1.4~5.8℃,与此同时,其他环境因子也会随之改变^[7]。全球气候变暖可以改变陆地生态系统的结构和功能,使生物栖息地范围与分布区发生变化,促使植物分布向高海拔和高纬度地区迁移^[8-10]。在全球温室效应不断加剧情况下,作为传统名贵中药材人参的适宜分布地区变化范围未见报道。王瑀等对我国适宜人参种植的产区进行了分析,结果表明人参适宜产地主要分布在东北地区吉林、辽宁、黑龙江境内、北京与河北的燕山山脉地区、陕西秦岭山区、山西太行山脉等地区^[11]。沈亮等2016年采用GMPGIS对世界范围内的人参适宜产区进行分析,结果表明亚洲东部、北美洲东部、欧洲南部及澳洲东南地区适宜人参生长^[12]。以上研究均表明,从生态相似性角度,山西长治地区是人参生态适宜产区,符合《本草纲目》记载“人参生上党及辽东”,而事实上由于气候的变化,目前该地区已没有大规模的人参种植面积。究其原因首先是先前研究以当前气候指标为条件,通过产区预测模型对其在世界范围内的适宜区域进行分析,未涉及全球气候动态变化对其生态适宜性区域的影响。

本研究依据“药用植物全球产地生态适宜性区划信息系统”(Global Geographic Information System for Medicinal Plant, GMPGIS)^[12],提取人参主产区各样点在全球基础地理信息数据库、全球气候因子数

据库和土壤数据库的数据,并结合全球气候变化规律,人参全球潜在生态适宜区域进行分析,对未来100年人参潜在生态适宜区域动态变化趋势开展预测。可为人参生产规划布局提供科学理论依据,对其他中药材区划和保护也有借鉴意义。

1 材料与方法

1.1 人参分布数据的收集与处理 本研究在全球范围内分别对中国、韩国、日本、朝鲜及俄罗斯远东地区等人参分布区进行选点。通过实地调研、查阅相关文献及网站,选择人参药材道地产区、主产区及野生分布区的271个样点进行人参产地生态适宜性分析^[13-24]。见表1。

1.2 GMPGIS环境因子数据来源 GMPGIS是由中国中医科学院中药研究所于2015年自主研发的药用植物产地预测系统。该系统气候数据主要来源于WorldClim全球气候数据库(WorldClim-global Climate Data)^[25]和CliMond全球生物气候学建模数据库(CliMond:Global Climatologies for Bioclimatic Modelling)^[26],土壤数据来源于全球土壤数据库(Harmonized World Soil Database, HWSD)。本研究使用的环境因子数据来自GMPGIS系统数据库,各指标因子如下表所示。见表2。其中全球气候因子数据来自2050年和2100年2种温室气体排放情景模型A1b(能源需求较低)和A2a(能源需求较高),且该类预测的环境数据会随着时间和环境变化得到逐步更新,能够较好的预测未来气候变化^[27]。

1.3 GMPGIS分析方法 通过实地调查、世界植物分布数据库提取及文献调研得到人参分析样点,通过GPS经纬度定位网站(<http://www.earthol.com/>),将样点经纬度坐标值求出,将该数据导入GMPGIS系统,提取各样点环境变量,利用欧氏距离法建立预测模型,再根据模型求出人参全球生态适宜产区分布图。其中人参建模及预测分析步骤主要有数据标准化、相似性聚类分析、栅格重分类及得出人参最大生态相似度区域图^[12]。采用SPSS 20.0对人参生态因子数值进行单因素方差分析(ANOVA)。

表1 人参全球范围内选点位置及数量

国家	样点	数量
中国	吉林省白山市抚松县、靖宇县、长白县;辽宁省本溪市桓仁县,抚顺市新宾县,丹东市宽甸县;黑龙江省黑河市、伊春市嘉荫县,牡丹江市东宁县;山西省长治市长子县、黎城县等地	163
韩国	京畿道、江原道、忠清北道、忠清南道、全罗南道、全罗北道、庆尚北道、首尔、仁川等地	42
朝鲜	开城、金川、平山、瑞兴、凤山、平壤、金化、新溪、楚山、朔州等地	26
俄罗斯	哈巴罗夫斯克、符拉迪沃斯克、锡霍特山脉、伊曼河、乌拉河、阿诺钦克等地	22
日本	长野、岛根、福岛、北海道等地	18

表2 环境变量

数据类型	生态因子	单位
气候因子	年均温	×℃
	最热季均温	×℃
	最冷季均温	×℃
	年均降水	mm
	年均辐射	W/m ²
	相对湿度	%
土壤因子	土壤中砂砾比例	%
	土壤中沙子比例	%
	土壤中泥沙比例	%
	土壤中黏土比例	%
	土壤质地	%
	土壤的容积密度	%
	土壤中有有机碳比例	%
	土壤酸碱度	1
	土壤中黏粒组的阳离子交换能力	%
	土壤的阳离子交换能力	%
	土壤基础饱和度	%
	土壤中碳酸钙含量	%
	土壤中可交换钠离子	%
	土壤导电率	dS/m
	阳离子交换总量	cmol/kg

2 结果

2.1 GMPGIS 生态因子值分析 基于人参全球分布区样点信息,在 A1b 和 A2a 模型下,经 GMPGIS 分析得到 2050 年及 2100 年人参主要生长区域生态因子值。见表 3。由图可知:除降水因子外,2050 年及 2100 年的其他气候因子与当前产区气候因子相比差异有统计学意义。研究得出适宜人参生长的土壤类型有暗色土、始成土、冲击土、潜育土、有机土、淋溶土等。

2.2 2050 年气候变暖情况下人参最大生态相似区域变化 人参 2050 年最大生态相似区域全球分布。见图 1、图 2。由图可知:人参全球最大生态相似区域(生态相似度 99.9%~100%)主要分布在亚洲的中国、日本、韩国、朝鲜、土耳其等国;欧洲的俄罗斯、法国、意大利、乌克兰、塞尔维亚等国,北美洲的美国、加拿大等国。见图 3。考虑 2050 年气候变暖,于 A1b 模型时,人参最大生态相似度潜在

适宜区域有扩大趋势,其全球适宜面积约为 $9\,578.55 \times 10^3 \text{ km}^2$,占全球面积的 7.12%,比当前人参适宜产区面积增加了 11.09%。见表 4。其扩大范围主要分布在亚洲的中国北部地区和欧洲的波兰、法国、德国等国家;其次北美洲美国地区适宜区域略有扩大,主要为美国西海岸地区。于 A2a 模型时,人参最大生态相似度区域其潜在区域扩大范围较 A1b 模型时略有减小,其全球适宜面积约为 $9\,486.00 \times 10^3 \text{ km}^2$,占全球面积的 7.05%,比当前人参适宜产区面积增加了 10.02%(表 4),其扩大范围主要分布在中国大兴安岭地区和欧洲适宜产区北部,其次为北美洲美国西部地区,其潜在区域缩小范围主要存在于中国北部与美国西部地区。由图 3 所知:2 种模型下各国家的适宜产区面积较为相似,其中美国、加拿大、中国、俄罗斯、法国等国家适宜人参栽培面积较大,其面积均大于 $500 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。

2.3 2100 年气候变暖情况下人参最大生态相似区域变化 人参 2100 年最大生态相似区域全球分布图如图 4、图 5 所示。由图可知:于 A1b 模型下,2100 年人参最大生态相似度潜在区域有进一步扩大趋势,其全球适宜面积约为 $10\,595.47 \times 10^3 \text{ km}^2$,占全球面积的 7.87%,比当前人参适宜产区面积增加了 22.89%。亚洲地区扩大范围主要位于中国西部与中部地区,欧洲适宜产区扩大范围主要分布在法国、德国、波兰、立陶宛等地,北美洲扩大范围主要位于美国西部与加拿大东南部地区。于 A2a 模型时,人参最大生态相似度潜在区域扩大范围较 A1b 模型略有增加,其全球适宜面积约为 $10\,985.41 \times 10^3 \text{ km}^2$,占全球面积的 8.16%。见表 4。比当前人参适宜产区面积增加了 27.41%,其扩大范围主要分布在亚洲的中国北部地区和欧洲的北部地区,北美洲的美国西部地区、加拿大南部地区。由图 6 所知:2 种模型下各国家适宜产区面积差异较为明显,A2a 模型下的加拿大、中国、俄罗斯及德国等地面积极显著大于 A1b 模型,其中美国、加拿大、中国、俄罗斯等国家适宜人参栽培面积较大,其面积均大于 $800 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。

表3 A1b 和 A2a 能源利用模型下 2050 和 2100 年人参生态因子数值范围($n=271$)

变量	1990	A1b 模型		A2a 模型	
		2050	2100	2050	2100
年均温度(℃)	6.01 ± 4.23	8.15 ± 4.11	10.15 ± 4.01	7.99 ± 4.13	11.24 ± 3.95
最热季均温(℃)	20.03 ± 2.46	21.99 ± 2.45	23.81 ± 2.45	21.84 ± 2.45	24.82 ± 2.45
最冷季均温(℃)	-9.62 ± 7.02	-7.31 ± 6.81	-5.16 ± 6.62	-7.49 ± 6.82	-3.99 ± 6.52
降水量(mm)	962.47 ± 320.10	964.57 ± 328.56	966.60 ± 339.39	964.49 ± 327.67	967.68 ± 346.68
光照辐射(W/m ²)	143.54 ± 9.79	146.31 ± 11.76	148.89 ± 13.65	146.10 ± 11.60	150.30 ± 14.70
相对湿度(%)	81.31 ± 16.04	77.02 ± 16.73	72.70 ± 17.32	77.37 ± 16.66	70.37 ± 17.56

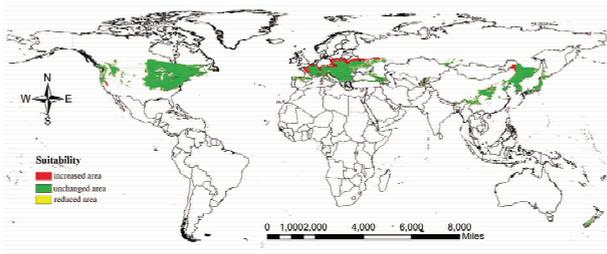


图1 A1b 能源利用模型下 2050 年人参最大生态相似度区域预测图 (n = 271) [审图号:GS(2016)1766 号]

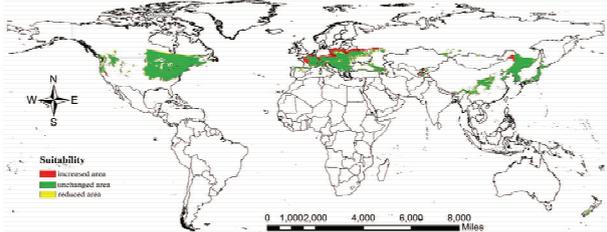


图2 A2a 能源利用模型下 2050 年人参最大生态相似度区域预测图 (n = 271) [审图号:GS(2016)1766 号]

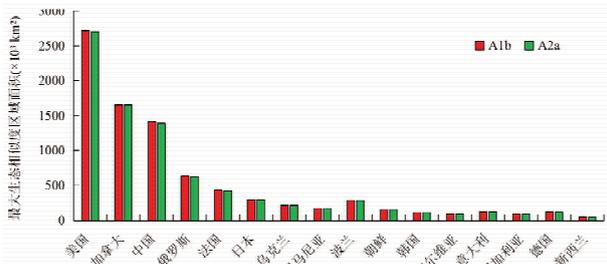


图3 A1b 和 A2a 模型下 2050 年不同国家人参适生区变化

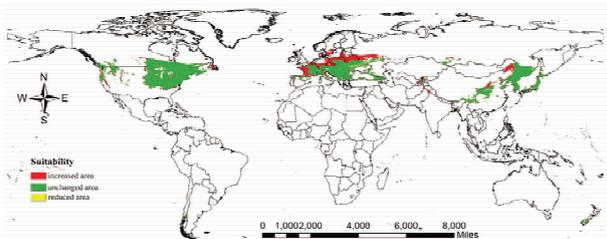


图4 A1b 能源利用模型下 2100 年人参最大生态相似度区域预测图 (n = 271) [审图号:GS(2016)1766 号]

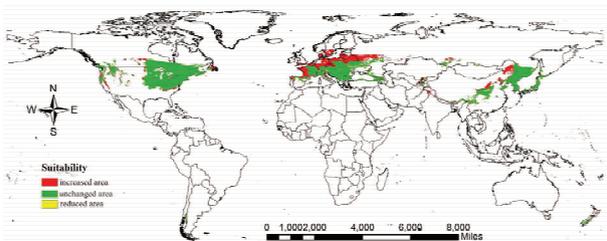


图5 A2a 能源利用模型下 2100 年人参最大生态相似度区域预测图 (n = 271) [审图号:GS(2016)1766 号]

3 讨论

随着可用林地资源的不断减少,平地栽参模式已经成为伐林栽参后的主要发展方向。由于农田和撂荒地等平地面积广阔,各地区环境因子差异巨大,

开展栽培选地已成为平地栽参种植产业发展的重要环节。沈亮等基于 GMPGIS 系统得出了当前时期全球范围内适宜人参生长的地区主要包括亚洲东北部、欧洲南部及北美洲东部地区,在此基础上,又制定了农田栽参选地标准^[12],其研究结果可以较好的指导农田栽参产业的发展。随着全球气候不断变暖,生物栖息地范围与分布区也将发生变化,物种分布向高海拔和高纬度地区迁移的现象已在全球范围被观测证实^[9-10],人参是世界上需求量较大的物种,开展人参未来潜在适宜产区分析具有重要意义。本研究在沈亮等人研究基础上,依据 2050 年和 2100 年 2 种温室气体排放情景模型的数据,预测了未来人参生态适宜产区。结果表明人参生态适宜产区主要分布在亚洲东北部、欧洲南部及北美洲东部地区,这些适宜区域对未来人参平地规模化种植、引种栽培及未来资源保护提供科学依据。同时本研究预测区域覆盖了目前已知人参主要分布区^[13-24,28],这进一步说明 GMPGIS 模型预测结果的准确性,在未来产区种植区划中具有较好指导作用。

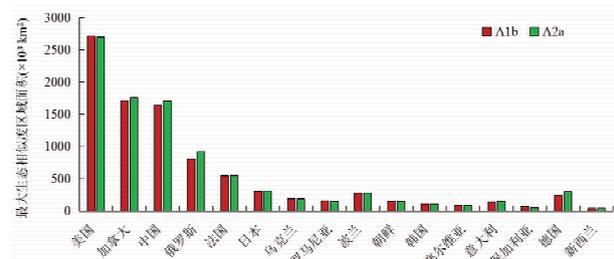


图6 A1b 和 A2a 模型下 2100 年不同国家人参适生区变化

表4 基于 GMPGIS 不同时间下人参全球生态适宜产区的预测面积及比例

数据模型	1990	2050	2100
A1b	8 622.35 (6.40%)	9 578.55 (7.12%)	10 595.47 (7.87%)
A2a	8 622.35 (6.40%)	9 486.00 (7.05%)	10 985.41 (8.16%)

注:% 代表预测产区占全球土壤面积的比例(× 10³ km²)

通过 GMPGIS 分析,本研究首次预测了未来人参适生区域向北移动的变化趋势。与当前人参适宜产区面积相比,2100 年人参适宜产区增长了 22.89% ~ 27.41%^[12]。人参适宜生境范围由当前适宜区域逐步向欧洲北部、亚洲东北部兴安岭等北部地区移动。据前期调查得知,随着气候变暖,兴安岭地区近年来已开展人参栽培种植,并且长势良好,这也证明了本研究预测结果的可靠性。气温升高导致人参适宜产区北移,说明低温可能是限制人参适宜产区变化的重要因子,这与徐克章得出温度是影响人参光合作用的重要因子结论较为相似^[29]。因此,人参在栽培种植过程中,合理调节温度变化幅

度,可以有效促进人参生长发育。另外,温度上升易导致人参根腐病、锈腐病等病虫害的频繁发生^[30],未来人参种植产业发展中需要注意加强防治,培育抗病虫害新品种是未来人参栽培产业发展重点。

人参是连作障碍比较严重的药用植物,其种植后的老参地通常需要30年左右时间进行修复才能再度进行栽培利用。本研究得出气候变暖可以增加人参生态适宜产区面积,研究结果有利于未来人参的栽培选地。除气候因素外,影响物种分布的因素还有很多。如未来几十年间物种进化而带来的其对环境因子适应性改变、人参病虫害种类变化、人类活动范围及排放的温室气体变化等因素均对物种分布产生一定影响,其他影响人参产区分布的因素在后续研究中还需进一步进行深入分析。

参考文献

- [1] 吴征镒. 论中国植物区系的分区问题[J]. 云南植物研究, 1979, 1(1): 1-23.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典(一部)[S]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 8.
- [3] 周跃华. 关于《国家重点保护野生药材物种名录》修订之探讨[J]. 中国现代中药, 2012, 14(9): 1-12.
- [4] 沈亮, 徐江, 董林林, 等. 人参栽培种植体系及研究策略[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(17): 3367-3373.
- [5] 谢彩香, 宋经元, 韩建萍, 等. 中药材道地性评价与区划研究[J]. 世界科学技术-中医药现代化, 2016, 18(6): 950-958.
- [6] 任继周, 梁天刚, 林慧龙, 等. 草地对全球气候变化的响应及其碳汇趋势研究[J]. 草业学报, 2011, 20(2): 1-22.
- [7] IPCC-Work Group I. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Technical Summary [R/OL]. Http://www.ipcc.ch/, 2007.
- [8] Parmesan C, Yohe G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems [J]. Nature, 2003, 421(6918): 37-42.
- [9] Lenoir J, Gégout JC, Marquet PA, et al. A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century [J]. Science, 2008, 320(5884): 1768-1771.
- [10] Bertrand R, Lenoir J, Piedallu C, et al. Changes in plant community composition lag behind climate warming in lowland forests [J]. Nature, 2011, 479, 517-520.
- [11] 王珺, 魏建和, 陈士林, 等. 应用TCMGIS-I分析人参的适宜产地[J]. 亚太传统中医药, 2006, 2(6): 73-78.
- [12] 沈亮, 吴杰, 李西文, 等. 人参全球产地生态适宜性分析及农田栽培选地规范[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(18): 3314-3322.
- [13] 王铁生. 日本人参栽培概述(一)[J]. 特产研究, 1980, 19(1): 46-51.
- [14] 今井俊司, 后藤实, 孙禄. 日本人参栽培近况[J]. 特产研究, 1983, 21(3): 9-10.
- [15] 王铁生. 朝鲜人参栽培技术考察见闻和体会(一)[J]. 特产科学实验, 1985, 24(1): 29-31.
- [16] 陈士林. 中国药材产地生态适宜性区划(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 2017: 17-22.
- [17] 陈士林, 魏建和, 黄林芳, 等. 中药材野生抚育的理论与实践探讨[J]. 中国中药杂志, 2004, 29(12): 1123-1126.
- [18] 陈晓林, 冯鑫, 许永华, 等. 中韩人参产业的对比及其竞争策略[J]. 中药材, 2009, 32(8): 1181-1184.
- [19] Baeg IH, So SH. The world ginseng market and the ginseng(Korea) [J]. J Ginseng Res, 2013, 37(1): 1-7.
- [20] 王铁生. 朝鲜人参栽培技术考察见闻和体会(二)[J]. 特产研究, 1985, 24(2): 26-31.
- [21] Baranov AI. Medicinal uses of ginseng and related plants in the Soviet Union; recent trends in the soviet literature [J]. J Ethnopharmacol, 1982, 6(3): 339-353.
- [22] Zhuravlev YN, Koren OG, Reunova GD, et al. Ginseng conservation program in Russian primorye; genetic structure of wild and cultivated populations [J]. J Ginseng Res, 2004, 28(1): 60-66.
- [23] Zhuravlev YN, Reunova GD, Kats IL, et al. Genetic variability and population structure of endangered Panax ginseng in the Russian Primorye [J]. Chinese Medicine, 2010, 5(21): 1-9.
- [24] 陈士林, 索风梅, 韩建萍, 等. 中国药材生态适宜性分析及生产区划[J]. 中草药, 2007, 38(4): 481-487.
- [25] Hijmans RJ, Cameron SE, Parra JL, et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas [J]. International Journal of Climatology, 2005, 25(15): 1965-1978.
- [26] Kriticos DJ, Webber BL, Leriche A, et al. CliMond: global high resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling [J]. Methods Ecol Evol, 2012, 3(1): 53-64.
- [27] Kriticos D, Webber BL, Leriche A, et al. CliMond: global high-resolution historical and future scenario climate surfaces for bioclimatic modelling [J]. Methods Ecol Evol, 2012, 3(1): 53-64.
- [28] Yun T K. Brief Introduction of Panax ginseng C. A. Meyer [J]. J Korean Med Sci, 2001, 16(1): S3-S5.
- [29] 徐克章, 武志海, 张美善, 等. 人参、西洋参叶片光合作用的温度特性[J]. 吉林农业大学学报, 2002, 24(3): 7-10.
- [30] 王瑞, 董林林, 徐江, 等. 农田栽参模式中人参根腐病原菌鉴定与防治[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(10): 1787-1791.

(2017-04-10 收稿 责任编辑:徐颖)