

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2020.04.025

基于百度搜索引擎的马铃薯糖苷生物碱研究态势分析

聂绪恒¹, 杨水艳¹, 王春艳², 陈国艳¹, 文韵漫¹, 张文彦¹, 孙婧涵¹

(1. 云南省粮油科学研究院, 云南 昆明 650033;

2 贵州省粮油产品质量监督检验站, 贵州 贵阳 550003)

摘要: 在茄科 (*Solanum*) 和一些百合科 (*Liliaceae*) 植物中存在着一类天然次生代谢产物糖苷生物碱 (steroidal glycoalkaloids, SGAs), 对于植物体来说, 该物质具有抗拒病原微生物侵袭、昆虫采食以及化感效应等, 但对于人畜来说, 虽然该物质具有抑制癌细胞增长和调节风味等作用, 但在马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 块茎中含量较高时可导致人畜中毒、甚至死亡。研究分析近年来的马铃薯 SGAs 研究态势, 结果表明, 相关发文量总体呈逐渐增加的趋势, 关于马铃薯 SGAs 的研究已渗透到许多学科, 并随之形成了多个交叉学科, 通过统计分析, 总结出在该领域核心的相关研究人员和研究机构。因此, 掌握马铃薯 SGAs 研究态势, 对研究马铃薯 SGAs 以及其在马铃薯块及其制品中食用安全性具有重要意义。

关键词: 马铃薯; 糖苷生物碱; 文献计量; 研究态势; 龙葵素

中图分类号: TS218 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2020)04-0159-07

网络首发时间: 2020-06-17 13:33:25

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.TS.20200617.1026.008.html>

Research situation analysis of potato glycosides alkaloid based on Baidu academic search engine

NIE Xu-heng¹, YANG Shui-yan¹, WANG Chun-yan², CHEN Guo-yan¹,
WEN Yun-man¹, ZHANG Wen-yan¹, SUN Jing-han¹

(1. Yunnan Provincial Academy of Food and Oil Science, Kunming, Yunnan 650033, China; 2. Guizhou Grain and Oils Products Quality Supervision and Inspection Station, Guiyang, Guizhou 550003, China)

Abstract: Steroidal glycoalkaloids (SGAs) are secondary metabolites in *solanaceae* and some *liliaceae* plants. SGAs have resistance against pathogen, pest attacks and allelopathic effect for the plants themselves. Although SGAs can inhibit the growth of cancer cells and influence the food favor, accumulation of the high SGA level in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers may cause poisoning for human and livestock to consume, even lead to death. Therefore, it is very important that SGAs content among potato cultivar tuber are determined accurately and its dynamic changes is understood for consumption. For these reasons, the research trend of SGAs content, in this section, was analyzed, and the results showed that the quantity of publications in the field of SGAs increased steadily year by year. The study scope in this yield had being spanned across a wide range of disciplines, which became a trend. The relevant researchers and research institutions are summarized in this field via statistical analysis.

收稿日期: 2020-05-09

基金项目: 云南省科技计划青年项目 (2019FD007)

作者简介: 聂绪恒, 男, 1987 年出生, 博士, 工程师, 研究方向为食品安全研究.

通讯作者: 孙婧涵, 女, 1988 年出生, 工程师, 研究方向为粮油质量检测.

Key words: potato; steroidal glycoalkaloids; bibliometrics; research status; solanine

马铃薯 SGAs 是一种甾体皂苷, 呈弱碱性, 固体状态, 难溶于水和乙醇, 易溶于吡啶、甲醇等有机溶剂, 可与无机酸或有机酸结合生成易溶于水的盐。还可与曼德琳试剂、费洛德试剂、马奎斯试剂、浓碘酸、浓硝酸等产生颜色反应^[1]。薄层色谱中, 常用碘化铋钾试剂、碘-碘化钾试剂、碘化汞钾试剂和硅钨酸试剂等作为显色剂^[2]。

SGAs 是存在于马铃薯中的天然物质, 和甾族生物碱是含氮有毒化合物, 主要存在于茄科 (*Solanaceae*) 和某些百合科 (*Liliaceae*) 植物中^[3-5], 其在植株生长过程或者在马铃薯储藏过程中具有抵御病虫害的入侵和调节植物生长发育的作用^[6-7]。1826 年, 在马铃薯中发现了第一个天然 SGA 成分 α -茄碱 (α -solanine), 当时被认为是 SGA 中唯一的天然成分, 然而, 此后在 1954 年发现 α -卡茄碱 (α -chaconine)。目前, 马铃薯中已确定的 SGAs 超过 80 种^[8], 但大部分 (约 95%)^[9-10] 是 α -卡茄碱和 α -茄碱, 其共同的结构特征是有一个甾环 (环戊烷多氢非) 和一个含氮 (中氮茛) 构成的糖苷配基茄啶 (solanidine)。茄啶于 1820 年被法国科学家从马铃薯中分离出, 后来才被证明是 SGAs 的配糖体, 大概 100 年后才被证明是 α -卡茄碱和 α -茄碱两种化合物的配糖体。茄啶的 3 号碳位上羟基中的氢原子分别被三糖、双糖和单糖所取代, 可构成 8 种不同的 SGAs。其它常见的 SGAs 有番茄碱、脱氢番茄碱、边缘茄碱和澳洲茄碱等^[11]。

为了解马铃薯 SGAs 的研究布局和发展情况, 本研究采用文献计量学 (bibliometrics) 的方法对该领域的研究论文进行计量学统计, 对马铃薯 SGAs 领域的研究现状、研究重点以及发展趋势进行分析, 为相关工作者的研究和决策提供理论依据。

文献计量学 (bibliometrics) 是用数学和统计学方法, 定量分析一切知识载体的交叉科学^[12], 它已被许多学科用来定量的反映学科宏观发展态势^[13]。因而, 从文献计量学角度分析相关科学研究的布局和发展是一种有效的途径^[14-15]。

1 数据来源与分析方法

随着百度系统的优化与完善, 百度学术搜索给相关科研人员搜索文献资料带来了一定的优

势, 而相对其它搜索引擎, 百度学术搜索具有全面、准确、快捷和新颖等优势特色。本文数据基于百度学术搜索引擎, 利用主题词 (potatoes、马铃薯、龙葵素、糖苷生物碱、glycoalkaloids、 α -chaconine 和 α -solanine) 检索 2016 年以前发表的马铃薯 SGAs 相关研究论文, 以这些论文为分析基础, 对马铃薯 SGAs 领域发文量、关联研究、学科渗透、相关学者、相关机构等进行分析。

2 结果与分析

2.1 马铃薯 SGAs 的研究发文量及年度变化

学术论文是科学研究的重要成果之一, 学术论文的发文量可反映相关学者对该领域的关注程度, 也可反映该领域的发展速度和发展程度。通过对 2016 年之前的论文检索, 马铃薯与 SGAs 方面的研究论文共 28 321 篇, 其中 potatoes 12 227 篇, 马铃薯 15 357 篇, 龙葵素 169 篇, 糖苷生物碱 62 篇, glycoalkaloids 418 篇, α -chaconine 43 篇, α -solanine 45 篇 (图 1)。

论文分布结果显示, 马铃薯 SGAs 的研究总体呈上升趋势, 近年来的关注有所下降, 但随着科学研究的发展, 测序技术的成熟, 近年来有关马铃薯方面的研究正向纵深发展, 在转录组水平、全基因组水平、关键基因操作上的研究取得了较大突破^[16-22], 如当马铃薯受到光照和创伤时, 在其 SGAs 合成通路上的关键基因表达量的确定等, 这些研究成果进一步阐明了马铃薯 SGAs 合成的分子机制与调控机理。

2.2 马铃薯 SGAs 关联研究

随着对马铃薯 SGAs 研究不断深入, 出现越来越多与马铃薯 SGAs 相关研究, 形成了庞大研究网络。根据对马铃薯与 SGAs 2016 年前发表的学术论文可知, 马铃薯相关研究共涉及 10 个领域, 根据发文量, 前 3 个主要分布在栽培技术、种植面积和晚疫病; 龙葵素相关研究共涉及 8 个领域, 前 3 个主要分布在营养价值、食物中毒和临床症状; 糖苷生物碱相关研究共涉及 9 个领域, 前 3 个主要分布在马铃薯、生物活性和构效关系; glycoalkaloids 相关研究共涉及 6 个领域, 前 3 个主要分布在 potatoes、chemical composition 和 potato (表 1)。

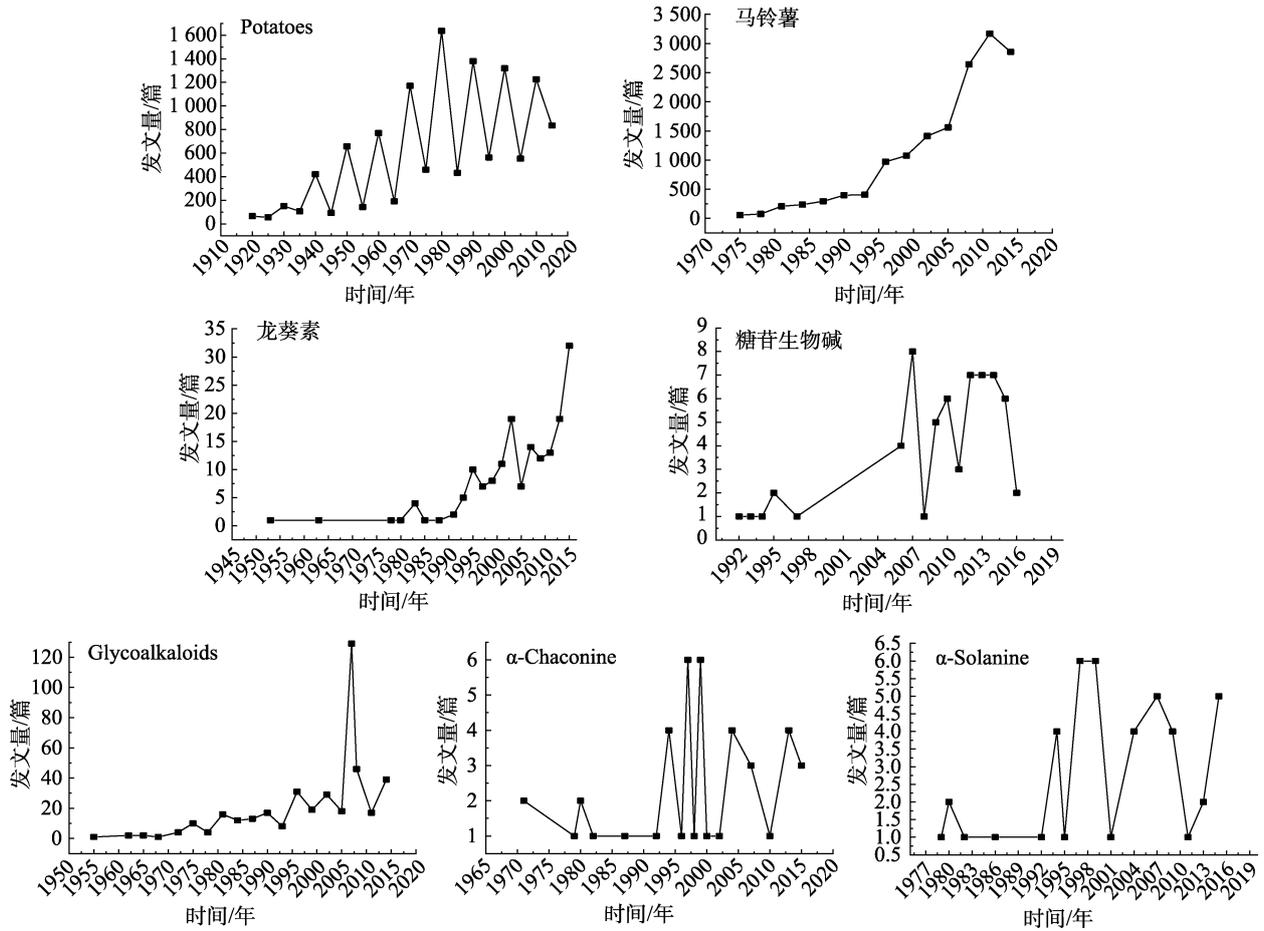


图 1 马铃薯及其 SGAs 相关研究发文量

表 1 马铃薯与 SGAs 关联研究发文量

项目	相关领域	发文量/篇	相关领域	发文量/篇
马铃薯	栽培技术	174 676	马铃薯晚疫病	2 290
	马铃薯产业	3 124	种植面积	26 136
	脱毒种薯	1 775	马铃薯品种	1 781
	脱毒马铃薯	2 271	马铃薯产量	1 604
	晚疫病	3 737	马铃薯种薯	1 363
龙葵素	有毒物质	5 955	食物中毒	18 422
	生物碱	14 389	临床症状	54 132
	中毒症状	6 460	未成熟	3 979
	营养价值	39 109	秋水鲜素	2 678
糖苷生物碱	马铃薯	49 501	生物活性	37 846
	化感作用	3 221	化学生态学	247
	抗真菌活性	1 394	野生种	1 875
	构效关系	5 996	灰葡萄孢菌	223
	酸水解	1 986		
Glycoalkaloids	Potatoes	34 403	Chemical composition	99 013
	Potato	107 287	Solanine	455
	<i>Solanum tuberosum</i>	5 782	Plant composition	21 412

2.3 马铃薯 SGAs 研究的学科渗透

随着科学技术的高速发展,使得学科内部的分支更加精细,从而出现了众多学科分支,此外,也使得学科之间广泛渗透,从而交叉学科层出不

穷。马铃薯及其 SGAs 的跨学科研究已深入到生物学、化学、植物保护、食品科学与工程、药学以及临床医学等多个学科,并出现了多个交叉学科的主题(表 2)。

表 2 马铃薯 SGAs 研究主题

项目	学 科	研究主题
马铃薯	植物保护	晚疫病、马铃薯晚疫病、农作物、病虫害、防治效果、病毒病
	园艺学	培养基、有机肥、试管苗、优良品种、栽培模式、早熟品种
	林学	栽培技术、地膜覆盖、增产效果、种植技术、稻草覆盖、定西市
	食品科学与工程	马铃薯淀粉、胡萝卜、营养成分、马铃薯片、淀粉加工、马铃薯渣
	应用经济学	发展现状、云南省、内蒙古、甘肃省、黑龙江省、经济效益
	作物学	马铃薯产业、脱毒种薯、脱毒马铃薯、种植面积、马铃薯品种、马铃薯产量
龙葵素	公共卫生与预防医学	有毒物质、中毒症状、鲜黄花菜、维生素、急性中毒、毒性物质
	食品科学与工程	营养成分、土豆片、贮存时间、降血压、可食用、黄曲霉素
	畜牧学	亚硝酸盐中毒、青绿饲料、消化吸收、育肥猪、采食量、氢氰酸中毒
	园艺学	四季豆、营养丰富、贮藏温度、贮藏条件、黄花菜、贮藏期间
	兽医学	发病情况、鸡白痢、每公斤体重、中毒性疾、出血性炎症、临床症状
	临床医学	食物中毒、秋水素、神经症状、呼吸困难、中枢神经系统、蛋白质
糖苷生物碱	作物学	马铃薯、马铃薯糖苷生物碱、野生种、马铃薯块茎、双标图、盐胁迫
	食品科学与工程	酸水解、提取工艺、提取效果、植物乳杆菌、生理活性、竹叶抗氧化物
	化学	生物活性、高效液相色谱、定量测定方法、溶剂系统、酚类化合物、相对含量
	中药学	茄科植物、甙体皂苷、薯蓣皂苷、薄层层析、毛状根、生物碱含量
	药 学	抗真菌活性、协同作用、抗疟活性、抗肿瘤活性、抗肿瘤、蛋白酶抑制剂
	生物学	构效关系、番茄碱、分子调控、基因表达、实时定量 PCR、糖基化
Glycoalkaloids	生物学	Carotenoids、enzymes、animals、mass spectro、analysis、breeding
	食品科学与工程	Glycoalkaloids、potatoes、chemical composition、solanine alpha-solanine、alpha-chaconine
	化学	Alkaloids、glycosides、tomatidine、nitrates、sugars、extraction
	临床医学	Resistance、humans、steroids、metabolism、peeling、vitamin C
	药 学	Toxicology、cholinesterase、antiparasitic、toxicity、cytotoxicity、hplc
	植物保护	Potato、solanum tube、plant composition、solanaceae、insect pests、solanum

2.4 马铃薯 SGAs 研究的相关学者

为促进相关领域深入研究及学术交流,对核心研究者分析和把握具有重要作用。根据结果,马铃薯、龙葵素研究发文量最高作者是熊兴耀,其发文量均为 445 篇;糖苷生物碱研究发文量最高的作者是王蒂,其发文量为 274 篇(表 3)。根据普赖斯定律^[23]可知,发文量 4 篇及以上的作者构成了马铃薯及其 SGAs 研究领域的核心作者群。同时,文献被引频率是评价相关学术论文的质量和影响力的重要指标,被引频次越高,

其学术价值越大^[24]。根据分析结果,马铃薯研究发文被引最高的作者是黄高宝;龙葵素研究发文被引最高的作者是熊兴耀;糖苷生物碱发文被引最高的作者是王蒂; α -chaconine、 α -solanin 研究发文被引最高的作者是 Kamata K(表 3)。这些结果表明,相关学者对此十分关注,同时形成了如王蒂等核心作者对马铃薯 SGAs 进行跟踪研究与实践,在一定程度上说明了在马铃薯及其 SGAs 研究领域已形成了比较完备的科研体系和人才队伍。

表 3 马铃薯与 SGAs 相关研究作者及成果

项目	作者	发文数/篇	被引数/次	H 指数	项目	作者	发文数/篇	被引数/次	H 指数
马铃薯	王蒂	274	3 156	27	糖苷生物碱	杨雨虹	60	321	9
	刘大群	309	3 183	26		张志军	60	592	10
	方知远	243	2 777	27		张俊莲	140	1 302	16
	黄高宝	273	6 574	35		刘翔	19	184	5
	王晓武	173	2 741	34		白江平	21	73	5
	熊兴耀	445	4 230	26		张金文	131	1 530	18
	王桂玲	5	160	33		段光明	21	360	10
	苏少泉	198	2 827	26		Kunihiko Kamata	/	49	438
	尹春芹	3	78	27		Lynch B	/	141	2 914
	朱国仁	138	2 791	29		Rasooly R	/	57	2 058
	田波	299	3 453	28		Alfredo Usabillaga	/	103	574
	谢丙炎	255	3 745	31		Kamata K	/	737	19 507
	吴青君	170	3 104	35		Kazuo Yasuda	/	152	1 845
	陈勇胜	5	165	34		α -Chaconine	Mendel Friedman	/	619
龙葵素	王树坤	97	330	8	Mitsuru Yoshida	/	220	3 664	
	李康	47	392	11	Ushiyama H	/	41	1 337	
	熊兴耀	445	4 230	26	Katsuichi Saito	/	66	1 335	
	曹兵海	98	694	12	O'Brien N	/	144	3 847	
	颀敏华	61	625	10	Rodney J. Bushway	/	45	1 190	
	吴一飞	33	292	6	Morten Poulsen	/	76	1 567	
	周兴	17	49	4	O'Brien N	/	144	3 847	
	倪士峰	321	3 270	11	Rodney J. Bushway	/	45	1 190	
	骆蓉芳	62	707	8	Morten Poulsen	/	76	1 567	
	赵昶灵	93	994	14	Hansen TH	/	210	10 309	
	任志远	5	9	2	Kunihiko Kamata	/	49	438	
	宣尧仙	123	391	10	Kamata K	/	737	19 507	
	仝 璞	26	251	6	Rong Zhao	/	425	7 869	
	林党柒	19	50	3	α -Solanine	Mitsuru Yoshida	/	220	3 664
糖苷生物碱	王蒂	274	3 156	27	Mendel Friedman	/	400	21 047	
	刘大森	124	639	10	Alfredo Usabillaga	/	103	574	
	张雄杰	39	236	7	Lynch B	/	141	2 914	
	王旺田	39	308	10	Zhang Xiaoyi	/	68	99	
	吴兵	17	85	5	Kazuo Yasuda	/	152	1 845	
	季彦林	4	47	12	Shindo T	/	369	10 929	
	徐文静	55	427	11					

注：H 指数是一个混合量化指标，量化科研人员作为独立个体的研究成果。简单的表述为：“有 H 篇论文被引用了不少于 H 次”。

2.5 马铃薯 SGAs 研究的相关机构

通过对论文第一作者和通信作者所在机构进行梳理，2016 年前在马铃薯及其 SGAs 领域，马铃薯领域发文量排第一的机构为中国农业科学院蔬菜花卉研究所；龙葵素领域发文量排第一的机构为西北大学生命科学学院；糖苷生物碱领域发文量排第一的机构为东北师范大学生命科学学院；glycoalkaloids 领域发文量排第一的机构为

U.S. Department of Agriculture (表 4)。这些机构在马铃薯及其 SGAs 研究领域的研发和应用上发挥了积极的作用。

3 结论

马铃薯 SGAs 相关研究发文量总体呈上升趋势，在转录组水平、全基因组水平、关键基因操作上的研究重视程度越来越高，这些研究成果进一步阐明了马铃薯 SGAs 合成的分子机制与调控机理。

表 4 主要研究机构及成果

项目	机构	发文量 (/篇)
马铃薯	中国农业科学院蔬菜花卉研究所	542
	内蒙古农业大学农学院	370
	东北农业大学农学院	354
	黑龙江省农业科学院马铃薯研究所	312
	山西省农业科学院高寒区作物研究所	309
	贵州省马铃薯研究所	307
	中国南方马铃薯研究中心	303
	固原市农业拉学研究所	279
	甘肃省天水市农业科学研究所	279
	甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室	256
龙葵素	西北大学生命科学学院	6
	湖南农业大学理学院	5
	甘肃省农业科学院农产品贮藏加工研究所	5
	云南农业大学农学与生物技术学院	4
	齐齐哈尔大学生命科学与工程学院	4
	广东药学院药科学院	3
	澄江县凤麓镇兽医站	3
	湖南农业大学园艺园林学院	3
	云南省玉溪市疾病预防控制中心	3
	山东省威海市环翠区兽医站	3
糖苷生物碱	东北师范大学生命科学学院	16
	甘肃省作物遗传改良与种质创新重点实验室	9
	甘肃农业大学农学院	8
	山西大学生物系	5
	甘肃农业大学作物遗传改良与种质创新重点实验室甘肃农业大学甘肃省旱生境作物重点实验室	4
	甘肃农业大学生命科学技术学院	3
	天津大学农业与生物工程学院	3
	东北农业大学动物科学技术学院	3
	中国农业大学食品科学与营养工程学院	3
国家农产品保鲜工程技术研究中心	3	
glycoalkaloids	U.S. Department of Agriculture	20
	Cátedra de Farmacognosia y Productos Naturales	13
	Unidade de Biotecnologia, Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), Av. Costábile Romano, 2.201 Ribeirania, Ribeirão Preto, CEP14096-900, Brazil	8
	Swedish University of Agricultural Sciences	8
	ARC Food Research Institute, Colney Lane, Norwich NR4 7UA	7
	Plant Science Institute, Vegetable Laboratory	7
	Dipartimento di Chimica Organica e Industriale, Università di Parma, Parma, Italy	6
	Cátedra de Microbiología Industrial, Departamento de Química Orgánica and Cátedra de Química-Física II, Facultad de Química, Bioquímica y Farmacia, Universidad Nacional de San Luis, 5700 San Luis, Argentina	6
	Faculty of Pharmaceutical Science of Ribeirão Preto, University of São Paulo, Ribeirão Preto, Brazil	6
	University of Alberta	6

马铃薯相关研究领域主要分布在栽培技术、种植面积和晚疫病；龙葵素相关研究领域主要分布在营养价值、食物中毒和临床症状；糖苷生物碱相关研究领域主要分布在马铃薯、生物活性和

构效关系；glycoalkaloids 相关研究领域主要分布在 potatoes、chemical composition 和 potato。

马铃薯 SGAs 研究的学科渗透已深入到生物学、化学、植物保护、食品科学与工程、药学以

及临床医学等多个学科,通过对马铃薯 SGAs 研究的相关学者分析统计,主要的研究科研人员是熊兴耀、王蒂、黄高宝、Kamata K 等。

对马铃薯 SGAs 研究的相关机构做出较大贡献的是:中国农业科学院蔬菜花卉研究所、西北大学生命科学学院、东北师范大学生命科学院、U.S. Department of Agriculture 等。

参考文献:

- [1] 王积涛. 有机化学[M]. 天津: 南开大学出版社, 2003.
- [2] 吴立军. 刺五加茎叶化学成分的研究[J]. 中国自然资源学会全国天然药物资源学术研讨会, 1998: 114-117.
- [3] HEFTMANN E. Biogenesis of steroids in solanaceae[J]. *Phytochemistry*, 1983. 22(9): 1843-1860.
- [4] 段光明, 冯彩萍. 马铃薯糖苷生物碱[J]. *植物生理学报*, 1992(6): 457-461.
- [5] LOREY S, PORZEL A, H RIPPERGER. Steroid alkaloid glycosides from *Solanum cocineum*[J]. *Phytochemistry*, 1996. 41(6): 1633-5.
- [6] FRIEDMAN M. Potato glycoalkaloids and metabolites: roles in the plant and in the diet[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2006. 54(23): 8655-81.
- [7] OHNISHI T, YOKOTA T, MIZUTANI M. Insights into the function and evolution of P450s in plant steroid metabolism[J]. *Phytochemistry*, 2009. 70(17-18): 1918-1929.
- [8] GINZBERG I, TOKUHISA J G, VEILLEUX R E. Potato steroidal glycoalkaloids: biosynthesis and genetic manipulation[J]. *Potato research*, 2009. 52(1): 1-15.
- [9] SHAKYA R, NAVARRE D A. LC-MS analysis of solanidane glycoalkaloid diversity among tubers of four wild potato species and three cultivars (*Solanum tuberosum*)[J]. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2008. 56(16): 6949-6958.
- [10] ITKIN M, AHARONI A. Biosynthesis of antinutritional alkaloids in solanaceous crops is mediated by clustered genes[J]. *Science*, 2013. 341(6142): 175.
- [11] 余静. 马铃薯糖苷生物碱的提取与纯化[D]. 华中农业大学, 2010.
- [12] 串丽敏. 基于 Web of Science 数据库的土壤污染修复领域发展态势分析[J]. *农业环境科学学报*, 2016. 35(1): 12-20.
- [13] 邱均平, 段宇锋, 陈敬全, 等. 我国文献计量学发展的回顾与展望[J]. *科学学研究*, 2003. 21(2): 143-148.
- [14] ZHOU P, BORNMANN L. An overview of academic publishing and collaboration between China and Germany[J]. *Scientometrics*, 2015. 102(2): 1781-1793.
- [15] ZHU Q L, KONG X S, HONG S, et al. Global ontology research progress: a bibliometric analysis[J]. *Aslib Journal of Information Management*, 2015. 67(1): 27-54.
- [16] UMEMOTO N, NAKAYASU M, OHYAMA K, et al. Two cytochrome p450 monooxygenases catalyze early hydroxylation steps in the potato steroid glycoalkaloid biosynthetic pathway[J]. *Plant Physiology*, 2016. 171(4): 2458.
- [17] MEKAPOGU M, SOHN H B, KIM S J, et al. Effect of light quality on the expression of glycoalkaloid biosynthetic genes contributing to steroidal glycoalkaloid accumulation in potato[J]. *American Journal of Potato Research*, 2016, 93: 264-277.
- [18] ITKIN M, HEINIG U, TZFADIA O, et al. Biosynthesis of antinutritional alkaloids in solanaceous crops is mediated by clustered genes[J]. *Science*, 2013. 341(6142): 175-179.
- [19] QIAO Y, ZHANG J, ZHANG J, et al. Integrated RNA-seq and sRNA-seq analysis reveals miRNA effects on secondary metabolism in *Solanum tuberosum* L[J]. *MGG Molecular & General Genetics*, 2016, 292(1):1-16.
- [20] KUMAR A, FOGELMAN E, WEISSBERG M, et al. Lanosterol synthase-like is involved with differential accumulation of steroidal glycoalkaloids in potato[J]. *Planta*, 2017. 246(6): 1189-1202.
- [21] NAHAR N, WESTERBERG E, ARIF U, et al. Transcript profiling of two potato cultivars during glycoalkaloid-inducing treatments shows differential expression of genes in sterol and glycoalkaloid metabolism[J]. *Scientific Reports*, 2017. 7:43268.
- [22] NAKAYASU M, UMEMOTO N, OHYAMA K, et al. A dioxygenase catalyzes steroid 16 α -hydroxylation in steroidal glycoalkaloid biosynthesis[J]. *Plant Physiology*, 2017, 175: 120-133.
- [23] 普赖斯, 张季娅. 洛特卡定律与普赖斯定律[J]. *科学学与科学技术管理*, 1984(9): 17-22.
- [24] 付中静. WoS 数据库收录论文文献级别用量指标与被引频次的相关性[J]. *中国科技期刊研究*, 2017. 28(1): 68-73. 