

## 综述

亚贡及同属植物化学成分研究进展<sup>△</sup>丘鹰昆<sup>1,2</sup>, 窦德强<sup>1\*</sup>, 康廷国<sup>1</sup>

(1. 辽宁中医药大学药学院, 辽宁 大连 116620;

2. 厦门大学药学院, 福建 厦门 361005)

[摘要] 亚贡 *Smallanthus sonchifolius* 产于南美安第斯地区, 是当地印第安人的传统水果。该植物具有抗糖尿病、抗氧化、抗衰老、促进肠蠕动、防止便秘等多方面的保健功能。近年来, 亚贡在我国成功引种, 为了更好地解并开发这一植物资源, 对该属植物的化学成分研究作一综述。

[关键词] 亚贡; 化学成分

亚贡 *Smallanthus sonchifolius*, 原名 *Polymnia sonchifolia*, 为菊科 (Compositae) *Smallanthus* 属植物<sup>[1]</sup>, 日本名为“ヤーコン”, 其根茎在国内被称为菊薯、雅龙果, 我国台湾地区则称之为高山雪莲果。亚贡最早在 1933 年被归为紫堇目 (Asteraceae) 管状花亚科 (Heliantheae) 杯苞菊属 (*Polymnia*) 植物<sup>[2-5]</sup>, 但在 1978 年 Robinson<sup>[6]</sup> 将亚贡和其他相关的 21 种植物重新归属在 *Smallanthus* 属下。先前的分类名称为 *Polymnia sonchifolia* Piepp. & Endl, 而现在首选的名称为 *Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson<sup>[4,7]</sup>, 故在一些文献中仍然会出现 *Polymnia sonchifolia*。亚贡生长于海拔 880 ~ 3500m 的安第斯山脉, 从委内瑞拉延伸到阿根廷的东北部, 其根茎味甜, 可以作为水果生吃, 是当地印第安人传统的块根食品。亚贡种植现已遍布其他各洲, 最先在美国的几个州有小范围种植<sup>[8]</sup>, 后在新西兰作为一种特殊的蔬菜在超市出售<sup>[9]</sup>, 20 世纪 80 年代亚贡从新西兰引种到了亚洲的日本, 进而引种到意大利、德国、法国、捷克共和国、韩国、巴西、俄罗斯等国, 近期又被引种到中国, 在台湾、云南、海南、湖南、辽宁等地现已引种成功<sup>[10]</sup>。

亚贡是多年生植物, 常为 20 多株丛生<sup>[11-12]</sup>。地下根茎肥大, 重量为 100 ~ 500 g, 有些甚至可以超过 1 kg<sup>[2]</sup>。它们的形状和大小取决于其独特的无性繁殖, 其形状多为不规则的纺锤形, 有时为球形。新鲜采割的根茎为透明的淡黄色, 表皮下的皮层组织略带油脂, 在空气中暴露一段时间表皮迅速变为黑色<sup>[13]</sup>。除了块根, 亚贡在其主茎上长着较短的茎

干, 这些茎干用来进行亚贡的无性繁殖, 这是由于在漫长的进化过程中, 亚贡失去了有性繁殖的能力<sup>[4]</sup>。通过叶的薄层组织进行培养繁殖的亚贡茎可以长到 2 m 高, 并长有覆着紫罗兰色香毛簇的深绿色的叶子<sup>[14]</sup>。花序小, 直径约为 30 mm, 黄或橙黄色, 生长在主茎顶或其他茎的结芽处。亚贡的花很少, 果为黑色, 种子大小为 2 mm 左右, 瘦果。亚贡的形态学特征如图 1 所示<sup>[1]</sup>。

图1 亚贡的形态学特征<sup>[1]</sup>

亚贡作为一种可供食用并具有药用价值的植物引起了国内外学者的关注, 人们对其化学成分、药理活性开展了一系列的研究。到目前为止, 人们已经从亚贡及同属其他植物中获得了 100 多种结构各异的化学成分, 其中最为主要的是各种单萜、倍半萜和二萜: 包括多种挥发油, 以及对于该类植物发挥抗虫害、抗菌、抗真菌等生理功能具有重要意义

<sup>△</sup>[基金项目] 2005 辽宁省企业博士后基金项目

[通讯作者] \* 窦德强, Tel: (0411) 87586078, E-mail: doudeqiang2003@yahoo.com.cn

的贝壳杉烯衍生物、无柄锈交酯<sup>[15-16]</sup>两类二萜类成分。该属植物中具有抗菌作用的活性成分还有苯乙酮衍生物。研究数据还显示,亚贡中含有较多的营养功能性成分,其根茎中还含有大量具有抗氧化作用的多酚类成分<sup>[7,17-18]</sup>,以及大量适合糖尿病人及减肥者食用的果寡糖<sup>[19]</sup>,这也正是亚贡受到人们重视的原因之一。作者将对上述成分进行总结。

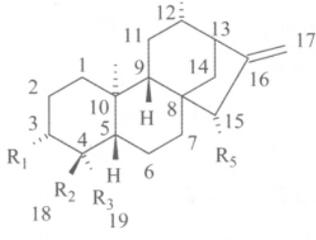
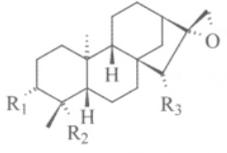
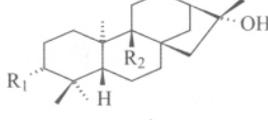
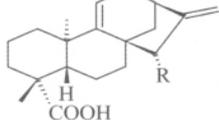
1 化学成分研究

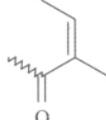
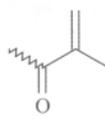
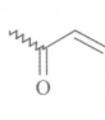
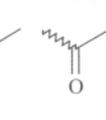
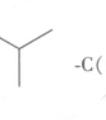
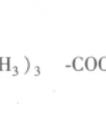
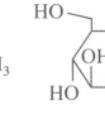
1.1 贝壳杉烯衍生物(Kaurene derivatives)

贝壳杉烯类成分存在于 *Smalanthus* 属植物的最

早报道见于 Bohlmann 等的研究<sup>[20]</sup>,他们对 *S. reparius*, *S. Siegesbeckia* 根、地上部分的成分进行了研究并发现其中均含有3种贝壳杉烯类成分,之后又有更多的贝壳杉烯成分被分离和鉴定。1992年,日本 Yasuyuki 研究小组<sup>[15]</sup>对亚贡植物的抗虫害活性成分进行研究,发现其腺毛分泌物及叶提取物中含有大量具有很强抗虫害活性的对映-贝壳杉烯酸(*ent*-kaurenic acid),由此认为它是亚贡发挥抗虫害能力重要的生理活性物质之一。到目前为止,人们已经从该属植物的不同部位中获得21种具有该类结构类型的化学成分,如表1所示。

表1 *Smalanthus* 属植物中的贝壳杉烷类成分

母体结构	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	植物	分离部位	文献	
	H	CH <sub>3</sub>	COOH	H	H	<i>S. reparius</i>	根、地上部分	20	
							<i>S. siegesbeckia</i>	根	20
							<i>S. uedalia</i>	根	35
							<i>S. fruticosus</i>	根、地上部分	36
							<i>Polymnia sonchifolia</i>	腺毛渗出液、叶	15
							<i>S. macvaughu</i>	地上部分	38
	H	CH <sub>3</sub>	COOH	OH	H		<i>S. uedalia</i>	地上部分	35
	H	CH <sub>2</sub> OAng*	COOH	H	H		<i>S. reparius</i>	根	20
							<i>S. siegesbeckia</i>	根	20
							<i>S. uedalia</i>	根、地上部分	35
						<i>S. fruticosus</i>	根、地上部分	36	
						<i>Polymnia sonchifolia</i>	腺毛渗出液、叶	15	
	H	CH <sub>2</sub> OSen*	COOH	H	H	<i>S. uedalia</i>	根、地上部分	35	
						<i>S. fruticosus</i>	根、地上部分	36	
	H	CH <sub>2</sub> OiVal*	COOH	H	H	<i>S. uedalia</i>	根、地上部分	35	
	OAng*	CH <sub>3</sub>	COOH	H	H	<i>S. uedalia</i>	根	35	
	OSen*	CH <sub>3</sub>	COOH	H	H	<i>S. uedalia</i>	根	35	
	OiVal*	CH <sub>3</sub>	COOH	H	H	<i>S. uedalia</i>	根	35	
	H	CH <sub>3</sub>	CH <sub>2</sub> OH	H	H	<i>S. fruticosus</i>	根	36	
	H	CH <sub>3</sub>	CHO	H	H	<i>S. fruticosus</i>	根	36	
	H	CH <sub>3</sub>	COOH	H	OAng	<i>S. reparius</i>	根、地上部分	20	
						<i>S. siegesbeckia</i>	根	20	
						<i>S. fruticosus</i>	根、地上部分	36	
						<i>Polymnia sonchifolia</i>	腺毛渗出液、叶	15	
	H	CH <sub>2</sub> OAng*	H			<i>S. uedalia</i>	根	35	
	OAng*	CH <sub>3</sub>	H			<i>S. uedalia</i>	根	35	
	OAng*	CHO	H			<i>S. uedalia</i>	根	35	
	H	COOH	OAng*			<i>S. fruticosus</i>	根	36	
		β-OGlc	H			<i>S. macvaughu</i>	地上部分	38	
		β-OH	OH			<i>S. macvaughu</i>	地上部分	38	
		=O	OH			<i>S. macvaughu</i>	地上部分	38	
						<i>S. fruticosus</i>	根、地上部分	36	
						<i>S. macvaughu</i>	地上部分	38	
						<i>S. fruticosus</i>	根	36	

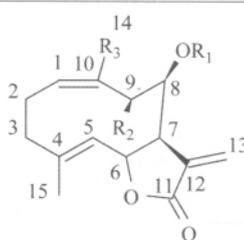
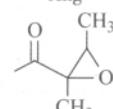
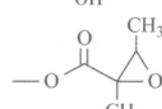
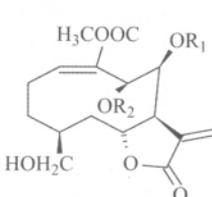
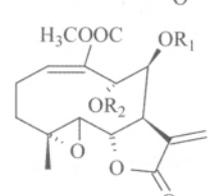
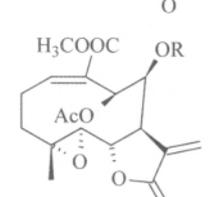
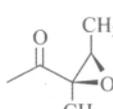
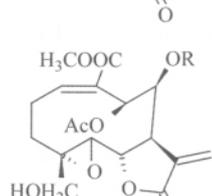
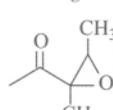
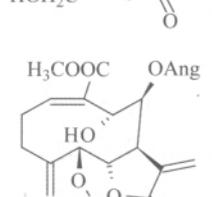
注: Ang  MeAcr  Sen  iVal  tBu  Ac  Gle  , 下同

## 1.2 无柄锈交酯类(Melampolides)

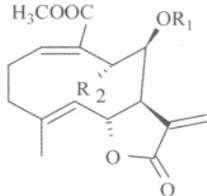
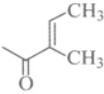
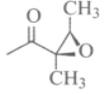
另一类对该属植物发挥杀虫、抗病害生理功能具有重要意义的化学成分为倍半萜类的无柄锈交酯类成分,人们已经从该属植物中获得了30种该结构类型的化学成分,如表2所示。其中,1995年,Yasuyuki研究小组<sup>[16]</sup>在进一步对亚贡植物的抗病害活性成分进行研究时发现一个新的无柄锈交酯类化

合物,并命名为 Sonchifolin,该化合物具有很强的抗真菌活性,对引起作物稻瘟病的真菌 *Pyricularia oryzae* 的抑制活性  $ED_{50}$  值为  $22 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ 。2003年,Lin等<sup>[21]</sup>对亚贡叶进行了研究,发现了一个新化合物  $8\beta$ -methacryloyloxymelampolid-14-oic acid methyl ester,它对 *Bacillus subtilis* 和 *Pyricularia oryzae* 菌株具有很好的抑制活性。

表2 *Smallanthus* 属植物中的无柄锈交酯类成分

母体结构	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	植物	分离部位	文献
	Ang	OAc	COOCH <sub>3</sub>	<i>S. wedalia</i>	地上部分	35
	Ang	OAc	CHO	<i>S. fruticosus</i>	地上部分	36
	Ang	H	CHO	<i>S. glabratus</i>	地上部分	37
		OAc	COOCH <sub>3</sub>	<i>S. wedalia</i>	地上部分	35
		OAc	COOCH <sub>3</sub>	<i>S. fruticosus</i>	地上部分	36
	Ang	OH	COOCH <sub>3</sub>	<i>S. macvaughu</i>	地上部分	38
	<i>t</i> Bu	OH	COOCH <sub>3</sub>	<i>S. macvaughu</i>	地上部分	38
		Ac	COOCH <sub>3</sub>	<i>S. wedalia</i>	地上部分	35
		Ac	COOCH <sub>3</sub>	<i>S. wedalia</i>	地上部分	35
		Ang	H	<i>S. wedalia</i>	地上部分	35
Ang		OH	<i>S. wedalia</i>	地上部分	35	
<i>i</i> Val		OH	<i>S. wedalia</i>	地上部分	35	
		MeAcr	H	<i>S. macroscyphus</i>	地上(花、叶)	39
	Ang	H	<i>S. macroscyphus</i>	地上(花、叶)	39	
	H	MeAcr	<i>S. macroscyphus</i>	地上(花、叶)	39	
	H	Ang	<i>S. macroscyphus</i>	地上(花、叶)	39	
			<i>S. sonchifolius</i>	叶	16 21	
		Ang	<i>S. sonchifolius</i>	叶	21	
		Ang	<i>S. fruticosus</i>	地上部分	36	
		H	<i>S. fruticosus</i>	地上部分	36	
		H	<i>S. macvaughu</i>	地上部分	38	
		OAng	<i>S. macvaughu</i>	地上部分	38	

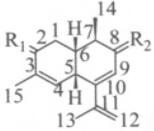
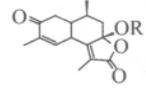
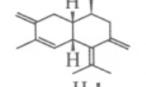
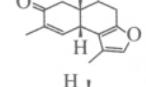
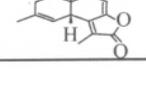
续表 2

母体结构	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	植物	分离部位	文献	
	Ang	OH		<i>S. reparius</i>	地上部分	20	
				<i>S. siegesbeckia</i>	地上部分	20	
				<i>S. macvaughu</i>	地上部分	38	
				<i>S. macrocyphus</i>	地上(花、叶)	39	
	Ang	H		<i>S. sonchifolius</i>	叶	16	
				<i>S. sonchifolius</i>	叶	21	
	MeAcr	H		<i>S. sonchifolius</i>	叶	21	
	Ang	OAc		<i>S. sonchifolius</i>	叶	16	
			H		<i>S. sonchifolius</i>	叶	21
			OAc		<i>S. sonchifolius</i>	叶	16
				<i>S. sonchifolius</i>	叶	21	
tBu	OH			<i>S. macvaughu</i>	地上部分	38	
MeAcr	OH			<i>S. macrocyphus</i>	地上(花、叶)	39	
H	OMeAcr			<i>S. macrocyphus</i>	地上(花、叶)	39	
H	OAng			<i>S. macrocyphus</i>	地上(花、叶)	39	

1.3 挥发油类(Essential oils)

挥发油成分中以单萜或倍半萜类成分多见, 另外, 尚含有小分子脂肪族化合物和小分子芳香族化合物, 表3所示的是存在于该属植物中的挥发油类

表3 *Smallanthus* 属植物中的挥发油类成分

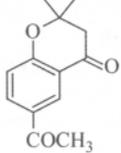
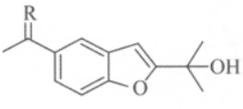
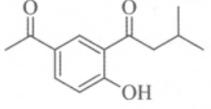
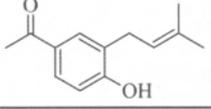
结构/名称	植物	分离部位	文献
α-蒎烯	<i>S. fruticosus</i>	根	36
水芹烯			
莜烯			
α- and β-檀香烯	<i>S. uedalia</i>	地上部分	33
α-佛手柑油烯			
α-没药烯			
蛇麻烯			
β-法呢烯			
吉马烯 D			
丁香烯			
杜松烯			
姜黄烯	<i>S. macvaughu</i>	地上部分	38
石竹烯酸			
γ-姜黄烯环内过氧化物			
β-羟基吉马-4(15), 5E, 10(14)-三烯-4-羟基香芹酮			
	R <sub>1</sub> = H <sub>2</sub> ; R <sub>2</sub> = O	<i>S. uedalia</i>	地上部分 33
	R <sub>1</sub> = O; R <sub>2</sub> = H <sub>2</sub>	<i>S. uedalia</i>	地上部分 33
	R = H	<i>S. uedalia</i>	地上部分 33
	R = CH <sub>3</sub>	<i>S. uedalia</i>	地上部分 33
		<i>S. uedalia</i>	地上部分 33
		<i>S. uedalia</i>	地上部分 33
		<i>S. uedalia</i>	地上部分 33

成分, 包括杜松烯(cadinene)及其衍生物、单萜牛儿基香橙醇(homogeranyl nerol)衍生物等结构类型。

1.4 苯乙酮类(Acetophenones)

Takasugi<sup>[22]</sup>等将 *Pseudomonas cichorii* 接种于亚贡的块根上, 从中分离得到了3个具有抗真菌活性的4'-羟基苯乙酮类植物抗毒素(phytoalexin)成分, 如表4所示。

表4 *Smallanthus* 属植物中的苯乙酮类成分

结构	R	植物	分离部位	文献
		<i>S. reparius</i>	根、地上部分	20
	O	<i>S. fruticosus</i>	根	36
	H, OH	<i>Polymnia sonchifolia</i>	根茎	22
		<i>S. fruticosus</i>	根茎	36
		<i>Polymnia sonchifolia</i>	根茎	22
		<i>Polymnia sonchifolia</i>	根茎	22

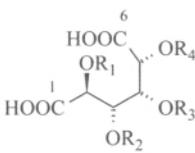
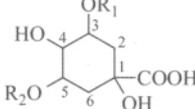
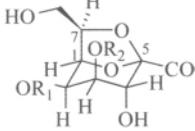
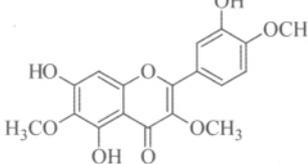
1.5 多酚类(Polyphenols)

Yan等<sup>[23]</sup>采用Folin-Denis法, 以绿原酸为标准物, 测得亚贡中的酚类成分占植物干重的3.8%, 根液汁中含有850 μg·g<sup>-1</sup>的多酚成分。其他的含量测定数据则表明亚贡根中总酚酸含量为203 mg·

(100g)<sup>-1</sup>[24], 绿原酸含量为(48.5 ± 12.9) μg · g<sup>-1</sup>[7]。其酚性成分主要包括: 原儿茶酸(protocatechuic acid)、绿原酸(chlorogenic acid)、阿魏酸(ferulic acid), 咖啡酸(caffeic acid) 及其衍生

物[17, 18, 25], 结构如表5所示。此外, 人们还通过HPLC/MS从 *Polymnia fruticosa* 中分离鉴定了一个具有细胞毒作用的黄酮类化合物——矢车菊黄素(centaureidin)[26]。

表5 *Smallanthus* 属植物中的多酚类成分

结构	R	植物	分离部位	文献
	R <sub>2</sub> , R <sub>4</sub> = Caffoyl, R <sub>1</sub> , R <sub>3</sub> = H, or R <sub>2</sub> , R <sub>4</sub> = H, R <sub>1</sub> , R <sub>3</sub> = Caffoyl	<i>S. sonchifolius</i>	根	18
	R <sub>1</sub> , R <sub>4</sub> = Caffoyl, R <sub>2</sub> , R <sub>3</sub> = H	<i>S. sonchifolius</i>	根	18
	R <sub>1</sub> , R <sub>2</sub> , R <sub>4</sub> = Caffoyl, R <sub>3</sub> = H, or R <sub>1</sub> , R <sub>3</sub> , R <sub>4</sub> = Caffoyl, R <sub>2</sub> = H	<i>S. sonchifolius</i>	根	18
	Caffoyl	<i>S. sonchifolius</i>	根	7 18
	Caffoyl	<i>S. sonchifolius</i>	根	18
	H	<i>S. sonchifolius</i>	根	17
	Caffeoyl	<i>S. sonchifolius</i>	根	17
		<i>Polymnia fruticosa</i>	叶	26

## 1.6 糖类(Saccharides)

亚贡根中含有大量的糖类成分, 主要为果聚糖, 还有少量的葡萄糖[27], 见表6。

表6 亚贡根茎的糖组成[27]

化学成分	含量/mg · g <sup>-1</sup> DW
Fructose	350.1 ± 4.02
Glucose	158.3 ± 28.6
Sucrose	74.5 ± 19.0
GF <sub>2</sub>	60.1 ± 12.6
GF <sub>3</sub>	47.4 ± 8.2
GF <sub>4</sub>	33.6 ± 9.3
GF <sub>5</sub>	20.6 ± 5.2
GF <sub>6</sub>	15.8 ± 4.0
GF <sub>7</sub>	12.7 ± 4.0
GF <sub>8</sub>	9.6 ± 7.2
GF <sub>9</sub>	6.6 ± 2.3
inulin	13.5 ± 0.4

注: G = glucose, F = fructose, GF<sub>n</sub> = glukosylfructose

亚贡根中的果寡糖(fructooligosaccharide, FOS)经分离纯化后鉴定为β-(2→1)-fructooligosaccharide-sucrose(菊糖型果寡糖), 其结构与其他菊科植物(如耶路撒冷朝鲜蓟)所含相同[19]。由于含有大量的

FOS, 亚贡作为含有丰富 FOS 资源的一种植物, 引起了人们极大的兴趣, 亚贡根中的果寡糖(聚合度 DP 值约为 4.3)的含量可达干重的 20% ~ 67%, 并主要与种植时间长短、贮存有关[2-3]。研究表明, 亚贡中的糖和相关酶的含量随着种植和储存条件的变化而不同[14]; 果聚糖的聚合程度随种植的时间而增加, 随储藏的时间而减少[28], 但果糖、葡萄糖和蔗糖的含量会相应的增加[21], 这与目前最大的果糖、菊糖来源植物耶路撒冷朝鲜蓟所发生的含量变化相同, 参与低聚果糖和低聚糖新陈代谢的酶近来从不同采收期的亚贡中提取并鉴定出来。还有研究表明, 在热带亚贡的最佳采收期是 8 月[30]。

β-(2→1) 果聚糖与广泛运用在免疫缺陷、传染病、过敏症、慢性心智衰竭、高胆固醇、胃病等的治疗, 与肿瘤辅助治疗[31]的β-葡聚糖一样, 是来自酵母和真菌的多糖, 它们都是广泛的免疫刺激剂, 它们被特定地绑定在巨噬细胞上以激发它们的免疫串联作用。人类没有可以水解β(2→1)糖苷键的酶[8], 菊糖型β-(2→1)果聚糖因此成为人类饮食中以植物原型存在不被消化的部分[32]。它们不能在人体肠道被消化吸收, 而被运送到结肠, 在那里被两种选择性的肠内菌发酵, 这两类菌分别为

*Bifidobacterium* 和乳酸菌, 都是肠内菌群平衡的指示菌。肠内菌群的构成和新陈代谢活动, 很有可能与油脂的代谢过程、钙质吸收和儿童免疫系统有关, 而亚贡根提取物对 *Lactobacillus plantarum*, *L. acidophilus* 和 *Bifidobacterium bifidum* 几种普通菌群的发酵作用均有影响<sup>[14]</sup>。因此, 亚贡中的果聚糖被当作具有食疗作用的蔗糖替代品, 对人肠内菌群具有有益的作用并且改善高脂血症<sup>[33]</sup>。

### 1.7 功能性成分

人们对亚贡中的营养、功能性成分进行了一系列测定, 如表 7 所示。亚贡叶中粗蛋白质、脂肪、纤维及总糖的含量均较高, 其中粗蛋白质含量达 14.533%, 高于常用作冲饮的菊花(6%), 花茶(10.5%), 低于绿茶(34.2%), 但脂肪与纤维的含量较上述饮品高<sup>[24, 34]</sup>。亚贡叶中硒含量较高, 铜、锌含量超过一般叶类蔬菜和水果, 镉含量达到  $40.6 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ 。另外亚贡叶中含  $V_E 0.0041 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,  $V_{B2} 0.0017 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ,  $V_{B6} 0.0063 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 尼克酸  $0.0284 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。亚贡叶中含有 18 种氨基酸, 含量丰富, 必需氨基酸组分齐全。其中必需氨基酸占氨基酸总量的 40%, 达到 FAO/WHO 提出的蛋白质中的 E/T 比 40% 的要求, 营养价值高。

综合上述实验结果, 亚贡叶中粗蛋白质含量高, 富含多种氨基酸和矿物质元素, 不含胆固醇, 是畜禽的优良饲料, 也是人类膳食中蛋白质的重要补充来源, 在保健、功能食品领域具有广阔的应用前景。

表 7 亚贡根茎、叶、茎的营养成分组成<sup>[24, 26]</sup>

	茎 /%	叶 /%	根茎 /%
水分		10.47	93~70
多糖			12.5
脂质	1.98	4.2	0.1~0.3
灰分	9.60	12.52	0.3~2.0
纤维素	23.82	11.63	0.3~1.7
钙	967	1805	23
磷	415	543	21
铁	7.29	10.82	0.3
铜	<0.5	<0.5	0.963
锰	<0.5	3.067	0.541
锌	2.93	6.20	0.674

注: 钙、磷、铁、铜、锰、锌的含量单位为  $\text{mg}\cdot(100\text{g})^{-1}$

## 2 展望

亚贡作为一种可供食用并具有药用价值的植物引起了国内外学者的关注。研究表明, 亚贡具有降血糖、降血压、抗氧化等多方面的药理活性。

随着人们生活水平的提高、饮食品种日益丰富, 糖尿病、肥胖症、高血压、高血脂症以及由此引起

的心脑血管疾病等日渐增多。由于亚贡中富含萜类、寡糖、多酚等多种活性、营养成分, 是低热量、安全的具有保健功能的食品。21 世纪被称作是食用天然药物的时代, 随着亚贡在我国的种植成功, 通过进一步的研究从中又发现新的生物活性物质, 必将使亚贡的应用前景更加宽广。TCM

### 参考文献

- [1] Lion J. Plantas alimenticias andinas [M]. Penu: Boletin Tecnico No. 6, Insitituto Interamericano de Ciencias Agricolas, 1964: 255.
- [2] Asami T, Kubota M, Minamisawa K, et al. Chemical composition of yacon, a new root crop from the Andean Highlands [J]. Jpn Soil Sci Plant Nutr, 1989, 60(2): 122-126.
- [3] Ohyama T, Ito O, Yasuyoshi S, et al. Composition of storage carbohydrate in tubers of yacon (*Polymnia sonchifolia*) [J]. Soil Sci Plant Nutr, 1990, 36(1): 167-171.
- [4] Grau A, Rea J. Yacon. *Smallanthus sonchifolius* (Poep. & Endl.) H. Robinson [M]//Hermann M, Heller J, editors. Andean roots and tubers: Ahipa, arracacha, maca and yacon. Rome: IPGRI, 1997: 199-242.
- [5] Wells JR. A taxonomic study of *Polymnia* (Compositae) [J]. Brittonia, 1965, 17(1): 144-159.
- [6] Robinson H. Studies in the Heliantheae (Asteraceae). XII. Re-establishment of the genus *Smallanthus* [J]. Phytologia, 1978, 39(1): 47-53.
- [7] Yan XJ, Suzuki M, Ohnishi-Kameyama M, et al. Extraction and Identification of Antioxidants in the Roots of Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) [J]. J Agric Food Chem, 1999, 47(11): 4711-4713.
- [8] National Research Council. Lost crops of the Incas. Little-known plants of the Andes with promise for worldwide cultivation [M]. Washington, DC: National Academy Press, 1989: 211.
- [9] Grau A. Yacon: A high productive root crop. New plants Dossier No. 9 Crop & Food Research Institute Internal Report [R]. New Zealand: Biodiversity Programme, Invermay, 1993.
- [10] 金文闻, 余龙江, 孟思进, 等. 亚贡的植物学及其药理作用研究概况 [J]. 中草药, 2006, 37(4): 633-636.
- [11] Lachman J, Fernández EC, Orsák M. Yacon [*Smallanthus sonchifolia* (Poepp. Et Endl.) H. Robinson] chemical composition and use - a review [J]. Plant Soil Environ, 2003, 49(6): 283-290.
- [12] Zardini E. Ethnobotanical notes on "yacon", *Polymnia sonchifolia* (Asteraceae) [J]. Econ Bot, 1991, 45(1): 72-85.
- [13] Valentová K, Frček J, Ulrichová J. Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) and Maca (*Lepidium meyenii*), Traditional Andean Crops as New Functional Foods on the European

- Market [J]. Chem Listy ,2001 ,95( 10) : 594-601.
- [14] Pedreschi R , Campos D , Noratto G , et al. Andea yacon root ( *Smallanthus sonchifolius* Poepp. Endl). Fructooligosaccharides as a potential novel source of prebiotics [J]. J Agric Food Chem ,2003 ,51( 18) : 5278-5284.
- [15] Hideo K , Takuhilo S , Yasuyuki H , et al. Ent-kaurenic acid and its related compounds from glandular trichome exudates and leaf extracts of *Polymnia sonchifolia* [J]. Biosci Biotechnol Biochem ,1992 ,56( 10) : 1562-1564.
- [16] Inoue A , Tamogami S , Kato H , et al. Antifungal melampolides from leaf extracts of *Smallanthus sonchifolius* [J]. Phytochem ,1995 ,39 ( 4) : 845-848.
- [17] Takenaka M , Ono H. Novel octulosonic acid derivatives in the composite *Smallanthus sonchifolius* [J]. Tetrahedron Letters ,2003 ,44( 5) : 999-1002.
- [18] Takenaka M , Yan XJ , Ono H , et al. Caffeic acid derivatives in the roots of Yacon ( *Smallanthus sonchifolius*) [J]. J Agric Food Chem ,2003 ,51( 3) : 793-796.
- [19] Goto K , Fukai K , Hikida J , et al. Isolation and structural analysis of oligosaccharide from yacon ( *Polymnia Sonchifolia*) [J]. Biosci Biotechnol Biochem ,1995 ,59 ( 12) : 2346-2347.
- [20] Bohlmann F , Jakupovic J , Zdero C , et al. Neue nelampolide und cis , cis-germacranolide aus vertretern der subtribus melampodiinae [J]. Phytochem ,1979 ,18( 4) : 625-630.
- [21] Lin FQ , Hasegawa M , Kodama O. Purification and identification of antimicrobial sesquiterpene lactones from Yacon ( *Smallanthus sonchifolius*) [J]. Biosci Biotechnol Biochem ,2003 ,67( 10) : 2154-2159.
- [22] Takasugi M , Masuda T. Three 4'-hydroxyacetophenone-related phytoalexins from *Polymnia sonchifolia* [J]. Phytochem ,1996 ,43 ( 5) : 1019-1021.
- [23] Hondo M , Nakano A , Olcumura Y , et al. Effects of activated carbon powder treatment on clarification , decolorization , deodorization and fructooligosaccharide 71 content of yacon juice [J]. Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi ,2000 ,47( 2) : 148-154.
- [24] 马挺军 , 吕飞杰 , 台建详 , 等. 亚贡叶中营养成分和功能性成分分析 [J]. 植物资源与环境学报 ,2004 ,13( 1) : 56-57.
- [25] Simonovska B , Vovk I , Andresek S , et al. Investigation of phenolic acids in yacon ( *Smallanthus sonchifolius*) leaves and tubers [J]. J Chromatography A ,2003 ,1016( 1) : 89-98.
- [26] Nieto C. Agronomical and bromatological studies in jicama [J]. Arch Latinoam Nutr ,1991 ,41( 2) : 213-221.
- [27] Itaya NM , Cavalho MAM , Figueiredo-Ribeiro RCL. Fructosyl transferase and hydrolase activities in rhizophores and tuberous roots upon growth of *Polymnia sonchifolia* ( Asteraceae) [J]. Physiologia Plantarum ,2002 ,116( 4) : 451-459.
- [28] Asami T , Minasawa K , Tsuchiya T , et al. Fluctuation of oligofructan contents in tubers of yacon ( *Polymnia sonchifolia*) during growth and storage [J]. Jpn J Soil Sci Plant Nutr ,1991 ,62( 6) : 621-627.
- [29] Fukai K , Ohno S , Goto K , et al. Seasonal fluctuations in fructan content and related enzyme activities in yacon ( *Polymnia sonchifolia*) [J]. Soil Sci Plant Nutr ,1997 ,43 ( 1) : 171-177.
- [30] Bencheekroun M , Amzile J , El Yachioui M , et al. Utilisation du topinambour pour la production de fructose et teneurs en fonction de la taille des tubercules [J]. Belg Journ Bot ,1995 ,128( 1) : 90-94.
- [31] Mertens G. From Quackery to Credibility [M]. London: Financial Times Business ,2000: 15.
- [32] Andrieux C. Prebiotics and health [J]. Eltville ,2002 ,14 ( 6) : 34.
- [33] Dominguez XA , Hafez S , Sanchez HV , et al. Cadinene derivatives from *Smallanthus wedalia* [J]. Phytochemistry ,1988 ,27 ( 6) : 1863-1865.
- [34] 中国预防医学科学院营养卫生研究所. 食物成分表 [M]. 北京: 人民卫生出版社 ,1991: 50-59.
- [35] Bohlmann F , Knoll KH , Robinson H , et al. Neue kaurenderivate und melampolide aus *Smallanthus wedalia* [J]. Phytochemistry ,1980 ,19( 1) : 107-110.
- [36] Bohlmann F , Ziesche J , King RM , et al. Neue melampolide aus *Smallanthus fruitcosus* [J]. Phytochem ,1980 ,19( 5) : 973-974.
- [37] Bohlmann F , Jakupovic J , Schuster A , et al. Homogeranyl nerol derivatives and a melampolide from *Smallanthus glabratus* [J]. Phytochem ,1985 ,24 ( 6) : 1309-1313.
- [38] Castro V , Jakupovic J , Dominguez XA. Melampolides from *Melampodium* and *Smallanthus* species [J]. Phytochem ,1989 ,28 ( 10) : 2727-2729.
- [39] Pedro A , Cuenca MR , Grau A , et al. Melampolides from *Smallanthus macroscyphus* [J]. Biochem Syst Ecol ,2003 ,31( 9) : 1067-1071.

( 收稿日期 2010-05-15)

( 上接第44页)

**Methods:** Enzymatic hydrolysis processes were developed by determination the concentration of the polysaccharides from *Pleurotus ferulae* by using UV spectrophotometry method. **Results:** The enzyme concentration ( 8 mg•g<sup>-1</sup>) , time ( 60 ℃ ) , pH 5.0 , and temperature ( 120 min) of hydrolysis processes , was developed. **Conclusion:** Enzymatic hydrolysis is powerful for extracting the polysaccharide from *Pleurotus ferulae*.

**[Key words]** Enzymatic hydrolysis; *Pleurotus ferulae* polysaccharide; Extraction processes