

# 烟草中主要生物活性成分的研究进展

李莹<sup>1</sup>, 李钟<sup>2</sup>, 郭培国<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>广州大学生命科学学院; <sup>2</sup>广东药学院中药学院, 广州 510006

**摘要:**烟草是我国一种特殊的经济作物,也是一味历史悠久的传统中药。烟草化学成分多种多样,其中许多都是具有一定应用价值的生物活性物质。本文根据国内外相关研究资料,总结了烟草中具有的主要活性成分,包括生物碱、萜类、挥发油、酚类、活性多糖等物质,并对其主要活性、用途及利用情况进行了综述和讨论。

**关键词:**烟草;活性成分;研究进展

中图分类号: S572; Q946

文献标识码: A

DOI: 10.16333/j.1001-6880.2015.12.029

## Research Progress on the Bio-active Components of *Nicotiana tabacum* L.

LI Ying<sup>1</sup>, LI Zhong<sup>2</sup>, GUO Pei-guo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Life Sciences, Guangzhou University; <sup>2</sup>School of TCM, Guangdong Pharmaceutical University, Guangzhou 510006, China

**Abstract:** Tobacco is not only one of especially economical crops, but also one of traditional Chinese medicines with long history. There are numerous chemical components in tobacco, and many of them are valuable substances with biological activity. In this article, the major active components of alkaloids, terpenoids, flavonoid, phenols, essential oil and active polysaccharides were introduced. In addition, their functions and applications were reviewed and discussed.

**Key words:** tobacco; bio-active component; research progress

烟草(*Nicotiana tabacum* L.)为原产于美洲的茄科一年生草本植物。在我国,烟草主要作为工业原料用于卷烟生产,但随着我国禁烟措施越来越严厉,烟草种植业的发展也受到限制。因此,烟草向食品保健品、医药、饮料、化妆品等行业方向发展,有利于烟草种植业的可持续发展;另外,烟草采收过程中每年约有数十万吨废弃物不能用于卷烟生产<sup>[1]</sup>,对可利用资源造成了极大浪费。拓展烟草的有效利用途径及提高其废弃物的综合利用效率,发挥这些废弃物的潜在价值,具有十分重要的意义。

烟草也是一味具有悠久历史的传统中药。距今近600年的明代中医史书《滇南本草》中记载:“野烟,又名烟草,性温,味辛麻,有大毒。治疗毒疔疮、一切热毒疮;或吃牛马驴骡死肉,中此恶毒,唯用此物可救”<sup>[2]</sup>。中药防治疾病的物质基础是其中的有效化学成分。提取、分离和纯化中药中的有效成分是中药研究工作的关键之一。因此,从烟草中提取多种有利用价值的化学成分用于食品、医药等行业,

可以为扩大可利用资源,寻找新药源提供有效途径。

研究表明烟草含有的化学成分很复杂,目前在烟草中发现了5229种化合物<sup>[3]</sup>,包括生物碱、蛋白质、萜类、糖类、芳香类等物质,其中许多都是重要的生化医药原料,具有广泛的用途和较高的经济价值。例如烟草中的茄尼醇和烟碱可作为医药原料,而烟草蛋白和烟草果胶可作为营养物质应用于食品工业<sup>[4]</sup>。近20多年来,已有研究者针对上述物质建立了较为成熟的提取工艺,有些已进入到了工厂化生产阶段<sup>[5]</sup>。另外,烟草中还含有一些重要的活性物质,如活性多糖、黄酮类、绿原酸、香紫苏醇等,这类物质的研究也有少量报道<sup>[6,7]</sup>。本文对烟草及其废弃物中主要化学成分的生物活性及用途进行了综述与讨论,旨在为更合理的开发利用烟草及其废弃物提供参考,从而提高烟草行业的经济效益和社会效益。

### 1 烟草中生物活性成分的类型

烟叶中的化学成分是多种多样和极为复杂的,可分为有机成分和无机成分。无机成分包括水和矿物质,有机成分可分为:碳水化合物、生物碱类、芳香族化合物、萜类化合物等。目前已在烟草中发现的

生物活性成分主要有烟碱、茄尼醇、功能蛋白、活性多糖、绿原酸、芦丁等。

表 1 烟草活性成分种类

Table 1 Summary of active component in tobacco cultivars and waste

| 活性成分<br>Species            | 主要成分物质<br>Substance                          | 活性与应用<br>Activity and application   |
|----------------------------|--|---|
| 生物碱<br>Alkaloid            | 烟碱<br>Nicotine                               | 神经刺激性、杀虫<br>Neuroprotective activities, insecticide   |
| 萜类<br>Terpenoids           | 茄尼醇、香紫苏醇<br>Solanosol, sclareol              | 抗癌利胆、抗菌消炎、香料原料等<br>Anticancer, cholagogue, anti-microbial, diminish inflammation, spices material |
| 挥发油<br>Essential oil       | 新植二烯、茄酮等<br>Neophytadiene, solanone          | 抑菌、香料原料<br>Antimicrobial activity, spices material  |
| 功能蛋白<br>Functional protein | FI 蛋白、硒蛋白<br>FI protein, seleno- protein     | 抗氧化、高营养<br>Antioxidant, eutrophy  |
| 酚类<br>Phenols              | 绿原酸、芦丁<br>Chlorogenic acid, rutin            | 抗肿瘤、消炎抗病毒、抗氧化等<br>Anticancer, anti-microbial, antioxidant   |
| 多糖<br>Polysaccharide       | 活性多糖、果胶<br>Bioactive polysaccharides, pectin | 抗氧化且无毒副作用<br>Antioxidant without side effects   |

### 1.1 生物碱类化合物

烟草生物碱是烟草中的主要含氮杂环化合物。烟草中含有多种生物碱,已经得到鉴定的有 57 种<sup>[8]</sup>。绝大部分烟草生物碱是 2-吡啶基衍生物,主要以有机酸盐和无机酸盐的形式存在。目前对废弃烟叶的综合利用的主要途径之一就是从中提取分离烟碱(又称尼古丁)。烟碱是烟草中特有的一种生物碱,含量约占烟草生物碱的 95%,占烟草干重的 0.5% ~ 7%<sup>[9]</sup>。低次烟草、烟筋、烟茎、烟根、烟花

等作为废弃物均含有烟碱,含量在 1.3% ~ 5.2%<sup>[10]</sup>,因此,烟草废弃物是提取天然烟碱的丰富而廉价的原料。烟碱在医药及化工中具有重要作用,有关烟碱的用途见表 2。烟草生物碱对菜青虫 3 龄幼虫具有强烈的拒食作用和生长抑制作用;烟草生物碱作为植物农药对人畜安全,不杀伤天敌,不会破坏自然的防御系统;且烟草生物碱植物农药对作物无药害,害虫不产生抗药性<sup>[11]</sup>。

表 2 烟碱的用途

Table 2 The application of nicotine

| 应用领域<br>Application fields | 用途<br>Application  | 参考文献<br>References |
|----------------------------|--|--------------------|
| 医药 Medicine                | 修复多巴胺能神经元轴突的能力及神经元的存活能力。生理兴奋剂,提高注意力,降低焦虑感和紧张反应<br>Recovery of the dopaminergic function and the ability of neuronal survival. Biological stimulant, improvement of concentration, reducing anxiety and stress reaction | [12, 13]           |
|                            | 对帕金森氏综合症(PD)和老年痴呆症(AD)有一定预防和治理作用<br>Prevention and treatment of Parkinson's disease and Alzheimer's disease  | [14]               |
|                            | 对胃溃疡有预防和治理的作用<br>Healing and prevention of gastric mucosa damage   | [15]               |
|                            | 合成烟酸(维生素 B <sub>3</sub> )、烟酰胺,用于医药食品添加剂等<br>Synthesis of nicotinic acid (VB <sub>3</sub> ) and nicotinamide for medicine and food additives  | [16]               |
|                            | 制备尼古丁疫苗、尼古丁贴片及含片,有助于吸烟者戒烟<br>Preparation of nicotine vaccine, nicotine patch and nicotine sublingual tablet for quitting smoking   | [17-19]            |
| 农业 Agriculture             | 制备新烟碱类杀虫剂,机制独特、高效、低毒、对环境安全<br>Neonicotinoid insecticides, special mechanism, high efficiency, low toxicity and safety for environment  | [20]               |
|                            | 烟碱和过渡金属配合使用,制成微量元素肥料,兼具肥料和杀虫的双重作用<br>Trace element fertilizer made by transition metals and nicotine with the dual functions of fertilizers and pesticides   | [10]               |
| 烟草行业<br>Tobacco industry   | 卷烟中添加烟碱,提高香气<br>Addition of nicotine for improvement of the aroma in cigarettes  | [4]                |

## 1.2 萜类化合物

### 1.2.1 茄尼醇

茄尼醇是一种不饱和的聚异戊二烯伯醇,四倍半萜烯醇,不同品种烟草中茄尼醇含量在 0.5% ~ 4.0% 之间<sup>[21]</sup>。茄尼醇含有多个非共轭双键,因此具有非常强烈的吸收自由基的性能,具有抗菌、消炎和抗氧化等生物活性和药用价值;同时茄尼醇还具有较强的抗癌性,是合成辅酶 Q<sub>10</sub>、维生素 K<sub>2</sub>、抗癌增效剂 SDB 等新型药物的中间体<sup>[22,23]</sup>。我国云南陆良已建成从废弃烟草中提取茄尼醇进而生产辅酶 Q<sub>10</sub> 的工业化生产线<sup>[24]</sup>。新鲜烟叶中辅酶 Q<sub>10</sub> 的含量远远低于茄尼醇,但烟草根中辅酶 Q<sub>10</sub> 含量普遍高于烟叶<sup>[25]</sup>。另外采用烟叶组织块悬浮培养合成辅酶 Q<sub>10</sub> 的方法,在最适的培养条件下,烟草叶片组织块中辅酶 Q<sub>10</sub> 的质量分数达到 208.09 μg/g,该方法具有周期短、操作简单的特点,是一种高效生产辅酶 Q<sub>10</sub> 的方法<sup>[26,27]</sup>。

### 1.2.2 香紫苏醇

香紫苏醇(又称硬尾醇),是一种半日花烷类二萜二叔醇,具有消炎杀菌,抗癌利胆的活性,也是制备降龙涎醚的最佳原料<sup>[28]</sup>。在农业上可以防治锈病、白粉病,并可以调节植物生长活性和防御活性<sup>[29]</sup>。香紫苏醇首次在心叶烟草(*Nicotiana glutinosa*)中被分离并发现,其可能通过影响菌丝的生长调节过程来抑制真菌生长<sup>[30]</sup>,随后 Guo<sup>[31]</sup>首次报道了香紫苏醇是在心叶烟草表皮由异戊二烯焦磷酸直接环化合成。废弃烟叶中也可能含有香紫苏醇<sup>[32]</sup>。

## 1.3 挥发油

挥发油是存在于植物体中一类具有芳香气味,常温下能挥发,由多种挥发性和半挥发性小分子有机物组成。烟草挥发油相当复杂,主要成分为挥发性有机物,大部分为烟草的特征香味物质,包括萜烯类、挥发性酸、烃、酯、醛、酮、醇、芳香环类、杂环类和生物碱等化合物,其中新植二烯含量最高<sup>[33]</sup>。Alagic 等对 Otlja、Prilep 和 YaKa 烟草超临界 CO<sub>2</sub> 萃取的挥发油成分进行了分析,主要为正构烃类、agatholic acid、新植二烯、(12R,13S)-8,13-环氧-14-赖百当烯-12-醇,还检测到烟草特有的尼古丁、茄酮等物质<sup>[34]</sup>。Zhang 等联合使用溶剂萃取和蒸汽蒸馏(SE-SD)得到 3.38 ± 0.03% 的油性树脂(最后的精油产量 0.89%),并发现不同烟草中精油含量和成分均有差异,但主要香味物质相似<sup>[35]</sup>。Stojanovic 等、Palic 等、Alagic 等分别对 Otlja、Prilep、YaKa 三种

烟草精油进行了抑菌作用的研究,结果发现三种烟草精油都具有一定的大肠杆菌、金黄色葡萄球菌和绿脓杆菌的抑菌效果。不同烟草不同部位精油的抑菌活性有差异;YaKa 烟草精油抑菌活性与对照百里香酚相当<sup>[36-38]</sup>。目前,烟草精油主要作为烟用香料,以提高卷烟产品的香味质量,还有极少量的烟草精油被用作日化香精中的添加剂<sup>[39]</sup>。烟草精油是否还具有其他生物活性以及其主要生物活性成分还有待进一步研究。

## 1.4 酚类化合物

### 1.4.1 绿原酸

绿原酸是目前在烟草中发现的含量较多的鞣质单宁类活性成分。在烤烟中绿原酸含量约占 3%<sup>[40]</sup>,烤烟型卷烟的绿原酸平含量均值为 1.5%,新绿原酸平均含量 0.22%;混合型卷烟中绿原酸平均含量 0.67%,新绿原酸平均含量为 0.11%<sup>[41]</sup>。古君平等分别采用超声提取、树脂吸附等多个步骤分离到纯度 82.1% 的绿原酸产品<sup>[42,43]</sup>。绿原酸具有广泛的生物活性,除了具有抗细菌、抗真菌、抗虫、抗病毒的作用外,绿原酸也是一种有效的酸性抗氧化剂,绿原酸及其衍生物比抗坏血酸,生育酚和咖啡酸具有更强的自由基清除效果<sup>[44]</sup>。最重要的是它还具抗焦虑<sup>[45]</sup>、保肝利胆、抗肿瘤、降血糖以及降脂等药效<sup>[46]</sup>,以及抗紫外抗辐射的作用<sup>[47]</sup>。传统工艺大多是从金银花、杜仲叶中提取,金银花的绿原酸含量在 1.91% ~ 3.64% 之间<sup>[48]</sup>,虽然烟草中绿原酸含量略低于金银花等中药材,但这些药材价高且产量有限,而烟草及其烟草废弃物产生量较大,是具有极大潜力的绿原酸生产原料。

### 1.4.2 芦丁

黄酮类物质广泛存在于各种药用植物中,具有 2-苯基色原酮结构。研究表明烟草黄酮类物质在 600 μg/mL 时与抗坏血酸的抗氧化能力相当,是具有潜力的抗氧化剂<sup>[6]</sup>。目前发现烟草中有芦丁、槲皮素、芹黄素三种黄酮类物质,含量较多的为芦丁<sup>[49]</sup>。芦丁在抗炎、抑菌、抗肿瘤、平喘、抗糖尿病、降血脂、神经保护、预防和治疗心血管疾病等方面具有广谱的药理作用和生物活性,并且对细胞毒性低甚至无毒<sup>[50]</sup>。不同地区不同等级的烟叶中芦丁含量在 0.7% ~ 1.4% 之间<sup>[51]</sup>,废弃烟叶中含量为 0.6%<sup>[49]</sup>。花烟草各色花瓣均含有橙酮,且除白色花外均含有花青苷<sup>[52]</sup>。Docheva 等人从烟草以及废弃物中提取分离了高纯度的黄酮类物质并研究了其

清除自由基的能力,结果显示,其提取物中黄酮类物质含量最高为  $14.3 \pm 1.8\%$ ,并证明该提取物清除自由基的能力高,可以被视为有潜力的生物药物<sup>[53]</sup>。

芦丁也是衡量烟草品质的一个重要因素,目前烟草中芦丁的研究大多集中其含量与烟草品质和香味之间的关系。陈安飞等通过 HPLC 法比较了两种紫苏烟和普通烟草的芦丁含量差异,结果表明两中紫苏烟芦丁含量为普通烟草的 2 倍多<sup>[54]</sup>。魏克强等将紫苏 DNA 导入普通烟草后检测其芦丁含量,结果表明导入后代比普通烟草受体芦丁含量提高了 70.4%,并且比槐米的芦丁含量高 4~5 倍<sup>[55]</sup>。这些研究为寻找提取芦丁的新原料提供了参考。

### 1.5 功能蛋白

蛋白质是烟草生物体的主要营养物质之一,成熟鲜烟叶中含氮化合物占 15.5%,其中蛋白质含量约为 12.4%<sup>[56]</sup>,优质烤烟蛋白质含量水平在 7%~10%<sup>[57]</sup>。在植物蛋白质营养质量排序中,烟叶蛋白质居于首位。烟叶中蛋白质可分为可溶性蛋白和不可溶性蛋白,可溶性蛋白中约有 50% 叶绿体蛋白质(Fraction I protein, FI 蛋白)<sup>[58]</sup>。FI 蛋白中的各种必需氨基酸含量不仅均高于世界粮农组织(FAO)制定的蛋白制品中必需氨基酸含量标准,还比一些主要粮食作物如水稻、大豆蛋白质中的必需氨基酸含量都高,具有较高的营养价值和药用价值。烟叶蛋白中富含硒,以硒蛋氨酸和硒半胱氨酸或其他形式存在<sup>[59]</sup>。小鼠服用烟草硒蛋白可以防止自由基和脂质过氧化物对肝脏的破坏等作用,表明硒蛋白具有良好的生物效应<sup>[60,61]</sup>。因此,烟叶蛋白可以用于生产普通的蛋白食品、功能性食品、香精香料、转基因蛋白、医药学研究辅助材料和植物保护剂等。

### 1.6 多糖类化合物

#### 1.6.1 活性多糖

活性多糖是从生物体中提取出的一类具有生理活性的多糖类物质,一般由十个以上的同种或多种单糖缩合而成,广泛存在于自然界的植物、细菌、真菌、藻类及动物体内<sup>[62]</sup>。从高等植物中提取的多糖都具有很强活性<sup>[63]</sup>,且相对无毒,不会引起严重的副作用<sup>[64]</sup>。最早的烟草多糖报道见于 1962 年 Wright 等人从白肋烟老叶中分离的出一种水溶性多糖,该多糖是葡萄糖醛酸、半乳糖、阿拉伯糖和鼠李糖的复合酸钙镁盐,并包含了一个羟脯氨酸的小蛋白成分<sup>[65]</sup>。烤烟中的活性多糖由两种不同分子量

的多糖组成,分别命名 Fr-I、Fr-II。Fr-I 主要是由甘露糖(34.21%)、半乳糖(18.05%)、核糖(14.72%)和阿拉伯糖(10.04%)组成;而 Fr-II 主要由葡萄糖(25.76%)、阿洛糖(17.99%)、半乳糖(11.37%)和甘露糖(10.62%)组成,均可能为糖蛋白。两组分都有很高的热稳定性,可用于功能化和化学修改<sup>[66]</sup>。在低次烟叶中也同样分离出两种不同分子量的多糖<sup>[67]</sup>。虽然烟草多糖在低浓度时抗氧化性弱于抗坏血酸<sup>[6]</sup>,但较高浓度的 Fr-II 清除自由基能力与抗坏血酸相当<sup>[66]</sup>。因此,烟草多糖作为食品添加剂和药品代替品的潜力巨大。

#### 1.6.2 果胶

果胶是一种水溶性植物胶,属天然高分子多糖类化合物。果胶因有良好的乳化、增稠、稳定和胶凝作用,在国内外已广泛用于食品、医药、化妆品、纺织、印染等行业中,联合国粮农组织(CFO)和世界卫生组织(WHO)国际食品标准委员会已把果胶归于食品添加剂类中。果胶广泛存在于多种植物的细胞组织中,在烟草中果胶的含量在 10% 左右,其中烟叶中的果胶含量平均值为 8.02%<sup>[9,68]</sup>,而烟梗中的果胶含量较高,大多在 11%~12% 之间<sup>[69]</sup>。

## 2 展望

烟草资源是我国一个巨大的物质资源,除了制作卷烟外,其他应用价值也不可忽视。尽管国内外已有研究者开展了烟草生物活性成分功能性和营养性的研究,建立了一些生物活性物的提取和应用工艺,这些有利于促进烟草生物活性物在医药、保健品、食品、饮料及其它行业的推广应用;然而,笔者认为烟草生物活性物的研究和应用还需关注以下几点内容。

### 2.1 完善烟草活性成分及药用价值研究

烟草提取物的一些活性成分和潜在药用价值尚不明确,需进一步了解和认识这类活性物质。在畜禽疾病防治中,烟草的提取物对家畜癩疮、疥癣、牛瘤胃膨气以及鱼病均有治疗效果;烟草还可以驱虫解毒,制作饲料等<sup>[70]</sup>。烟草中哪些活性成分起到该疗效以及是否还有其他活性成分可用于医药行业尚不清楚。

### 2.2 完善提取纯化烟草活性成分的方法

已有一些文献报道业已建立了一些适用于工厂化制备茄尼醇等烟草活性成分的方法<sup>[4,23]</sup>,但大多活性物质的提取方法仍停留在实验室研究水平,工

业化生产的工艺尚不成熟。另外,较多的研究和专利报道的提取工艺多是从烟草中提取出一种或两种活性成分,如果建立一种能同时分离提取多种活性成分的工艺,有利于实现烟草材料的高效利用。

### 2.3 烟草活性成分的合理应用有待开发

烟草活性物质的研究对进一步开发利用烟草奠定了坚实的基础,烟碱和烟草茄尼醇作为重要的药物中间体已实现工业化生产和应用,而烟草中的绿原酸、芦丁、多糖等其他活性成分在医药、食品、化妆品等行业的应用还亟待开发。

#### 参考文献

- 1 Wang Y (王玉), *et al.* Research progress on resource utilization of tobacco waste. *Earth Environ* (地球与环境), 2013, 41:429-434.
- 2 Lan M [兰茂(明代)]. *Zhen Nan Ben Cao 2* (滇南本草, 第2卷). Yunnan; Yunnan People's Publishing House, 1977. 324.
- 3 Perfetti TA, *et al.* The complexity of tobacco and tobacco smoke. *Beitr Tabakforsch*, 2011, 24:215-232.
- 4 Rao GH (饶国华), *et al.* Comprehensive utilization of discarded tobacco leaf resources in china. *Res Sci* (资源科学), 2005, 27:120-127.
- 5 Xu YJ (徐永建), *et al.* Research progress on the comprehensive utilization of tobacco waste. *J Shaanxi Univ Sci Technol, Nat Sci Ed* (陕西科技大学学报, 自科版), 2012, 30:16-21.
- 6 Ru QM, *et al.* *In vitro* antioxidant properties of flavonoids and polysaccharides extract from tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) leaves. *Molecules*, 2012, 17:11281-11291.
- 7 Ai XL (艾心灵), *et al.* Extraction of ingredients and preliminary purification of chlorogenic acid in tobacco. *J Henan Univ Technol, Nat Sci Ed* (河南工业大学学报, 自科版), 2006, 27:39-42.
- 8 Xie JP (谢剑平). Tobacco and Flue Gas Chemical Composition. Beijing: Chemical Industry Press, 2011. 820-831.
- 9 Xiao XZ (肖协忠). Tobacco Chemistry. Beijing: Agricultural Science and Technology of China Press, 1997. 16-18.
- 10 Zhang C (张驰), *et al.* Study on nicotine from waste tobacco. *Nat Prod Res Dev* (天然产物研究与开发), 2001, 13:38-39.
- 11 Fan P (樊平), *et al.* Study of bioactivities of alkaloid of *Nicotiana glauca* to *Pieris raepae*. *Northern Hort* (北方园艺), 2010, 14:153-155.
- 12 Maggio R, *et al.* Nicotine prevents experimental parkinsonism in rodents and induces striatal increase of neurotrophic factors. *J Neurochem*, 1998, 71:2439-2446.
- 13 Zhang ZY (张洲颖), *et al.* Study on pathogenicity and medication of nicotine. *Crop Res* (作物研究), 2009, 1:177-181.
- 14 Zhao BL (赵保路). The mechanism of preventive effect of nicotine on Parkinson's disease and Alzheimer's disease. *Acta Biophys Sin* (生物物理学报), 2007, 23:81-92.
- 15 Zhang XP (张雪萍), *et al.* Effect of nicotine on drug-induced gastric ulcer. *Food Drug* (食品与药品), 2011, 13:30-32.
- 16 Lu X (陆旭). Indirect electrochemical synthesis of nicotinic acid from nicotine. *Fine Chem* (精细化工), 2000, 17:453-455.
- 17 Kitchens CM, *et al.* Nicotine conjugate vaccines; A novel approach in smoking cessation. *J Am Pharm Assoc*, 2012, 52:116-118.
- 18 Huang L (黄琳), *et al.* Clinical application and evaluation of transdermal nicotine patch. *Chin J New Drugs* (中国新药杂志), 2009, 20:1926-1929.
- 19 Guo S (郭松), *et al.* The smoking cessation efficacy of nicotine sublingual tablet; a double-blind, placebo-controlled trial. *Chin J Psychiatry* (中华精神科杂志), 2006, 39:102-105.
- 20 Wei LN (魏立娜), *et al.* Research progress of role mechanism and application and structural modification neonicotinoid insecticides. *Pestic Sci Admin* (农药科学与管理), 2013, 5:27-34.
- 21 Davis DL, Nielsen MT. Tobacco-production, Chemistry and Technology. Beijing: Chemical Industry Press, 2003. 36.
- 22 Jin L (金陵), *et al.* The progress of the research and application of solanesol from tobacco. *Bull Sci Technol* (科技通报), 2007, 23:492-497.
- 23 Chen AG (陈爱国), *et al.* Research advances and prospects of solanesol. *Chin Tob Sci* (中国烟草科学), 2008, 28:44-48.
- 24 Zhu ZQ (朱自强), *et al.* Synthesis of coenzyme Q<sub>10</sub> from the waste tobacco leaves. *CIESC J* (化工学报), 2003, 5:694.
- 25 Lv CM (吕春茂), *et al.* Comparative study on coenzyme Q<sub>10</sub> content of several tobacco varieties. *J Anhui Agric Sci* (安徽农业科学), 2007, 35:129-130.
- 26 Li CY (李春英), *et al.* Dynamic research on synthesis CoQ<sub>10</sub> from tobacco leaves' tissue pieces in suspension culture. *Orest Eng* (森林工程), 2010, 26:17-20.
- 27 Li CY (李春英), *et al.* Synthesis of coenzyme Q<sub>10</sub> from tobacco tissue pieces in suspension culture. *Chem Eng* (化学工程), 2008, 36:66-69.
- 28 Wang WJ (王文军), *et al.* The composition of ambergis and the development of the synthesis of ambrox. *Chin J Org Chem*

- (有机化学), 2001, 21:167-172.
- 29 Bai JH (白红进), *et al.* Research advance in biology activity of sclareol. *J Tarim Univ Agric Reclamat* (塔里木农垦大学学报), 2004, 16:45-48.
- 30 Bailey JA, *et al.* Diterpenes from *Nicotiana glutinosa* and their effect on fungal growth. *J Gen Appl Microbiol*, 1974, 84: 57-64.
- 31 Guo ZH, *et al.* Biosynthesis of labdenediol and sclareol in cell-free extracts from trichomes of *Nicotiana glutinosa*. *Planta*, 1995, 197:627-632.
- 32 Peng MJ (逢敏洁). Extraction, separation and content analysis of effective components in discarded tobacco. Chongqing: Northwest University (西北大学), MSc. 2008.
- 33 Zhang XZ (张献忠), *et al.* Recent progress in research and application of tobacco essential oil. *Sci Technol Food Ind* (食品工业科技), 2012, 33:395-397.
- 34 Alagic S, *et al.* Chemical composition of the supercritical CO<sub>2</sub> extracts of the Yaka, Prilep and Otlja tobaccos. *J Essent Oil Res*, 2006, 18:185-188.
- 35 Zhang XZ, *et al.* Extraction of essential oil from discarded tobacco leaves by solvent extraction and steam distillation, and identification of its chemical composition. *Ind Crop Prod*, 2012, 39:162-169.
- 36 Stojanovic G, *et al.* Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil and CO<sub>2</sub> extracts of semi-oriental tobacco, Otlja. *Flavour Frag J*, 2000, 15:335-338.
- 37 Palic R, *et al.* Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil and CO<sub>2</sub> extracts of the oriental tobacco, Prilep. *Flavour Frag J*, 2002, 17:323-326.
- 38 Alagic S, *et al.* Chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of the oriental tobacco, YaKa. *J Essent Oil Res*, 2002, 14:230-232.
- 39 Yang J (杨君), *et al.* Advance in research of aroma components and essential oils of tobacco. *Flavour Frag Cosmet* (香料香精化妆品), 2012, 3:45-49.
- 40 Zhe W (者为), *et al.* Development of study on phenolic compounds in tobacco and tobacco smoke. *Yunnan Chem Technol* (云南化工), 2010, 37:64-69.
- 41 Zhuang YD (庄亚东), *et al.* Analysis of polyphenols in cigarettes. *Tobacco Sci Tech* (烟草科技), 2004, 1:23-26.
- 42 Gu JP (古君平), *et al.* Extraction and separation of chlorogenic acid from waste and sub-standard tobacco. *Tobacco Sci Tech* (烟草科技), 2010, 2:43-47.
- 43 Gu JP (古君平), *et al.* Purification of chlorogenic acid in extracts of waste and inferior tobacco leaves. *Tobacco Sci Tech* (烟草科技), 2011, 8:52-54.
- 44 Peng XH (彭新辉), *et al.* Recent advances in research on chlorogenic acid in tobacco. *Acta Tab Sin* (中国烟草学报), 2006, 12:52-57.
- 45 Bouayed J, *et al.* Chlorogenic acid, a polyphenol from *Prunus domestica* (Mirabelle), with coupled anxiolytic and antioxidant effects. *J Neurol Sci*, 2007, 262:77-84.
- 46 Xi LS (席利莎), *et al.* Progresses in the research of chlorogenic acids. *J Nucl Agric Sci* (核农学报), 2014, 28:292-301.
- 47 Zhang Y (张英), *et al.* Studies on sunscreen efficacy of chlorogenic acid in *Flos lonicerae*. *China Surf Deterg Cosm* (日用化学工业), 2014, 44:448-451.
- 48 Shi FH (师凤华), *et al.* Determination of chlorogenic acid and luteoloside in *lonicerae flos* of different habitats and germplasm. *J Chin Med Mater* (中药材), 2014, 37:1145-1148.
- 49 Fathiazad F, *et al.* Extraction of flavonoids and quantification of rutin from waste tobacco leaves. *Iran J Pharm Res*, 2006, 3:222-227.
- 50 Chua LS. A review on plant-based rutin extraction methods and its pharmacological activities. *J Ethnopharmacol*, 2013, 150:805-817.
- 51 Li L (李力), *et al.* Study on distribution of chlorogenic acid, scopletin, and rutin in flue-cured tobacco. *Acta Tab Sin* (中国烟草学报), 2008, 14:13-17.
- 52 Cui YJ (崔亚静), *et al.* Analysis of the flavonoids in *Nicotiana glauca*. *J Northwest Forest Univ* (西北林学院学报), 2012, 27:150-154.
- 53 Docheva M, *et al.* Flavonoid content and radical scavenging potential of extracts prepared from tobacco cultivars and waste. *Nat Prod Res*, 2014, 28:1328-1334.
- 54 Chen AF (陈安飞), *et al.* Determination and comparison of rutin contents in two kinds of zisu tobaccos and ordinary tobacco. *Anal Instru* (分析仪器), 2011, 5:22-25.
- 55 Wei KQ (魏克强), *et al.* Effect of introducing *Perilla frutescens* (L.) brittdna on rutin content in tobacco leaves. *Acta Sci Nat Univ Sunyatseni* (中山大学学报, 自科版), 2011, 50:102-104.
- 56 Han JF (韩锦峰). Tobacco Cultivation Physiology (烟草栽培生理). Beijing: China Agriculture Press, 2003. 156-157.
- 57 Din R (丁冉), *et al.* Research overview of protein in tobacco. *Guangzhou Chem Ind* (广州化工), 2014, 42:5-8.
- 58 Guo PG (郭培国), *et al.* The extraction of fraction I protein from tobacco leaves and its amino acid composition analysis. *Acta Tab Sin* (中国烟草学报), 2000, 2:16-19.
- 59 Song JY (宋家永), *et al.* Research and advance in se-protein of tobacco. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), 2007, 23:159-161.

- 60 Chen CY (陈春英), *et al.* Effect of seleno-protein from tobacco leaves on carbon tetrachloride intoxicated mice. *Acta Nutri Sin* (营养学报), 1996, 18:457-460.
- 61 Chen CY (陈春英), *et al.* Effect of seleno-protein from tobacco leaves on haemolysis of Human red erythrocyte and free radical. *Chin Pharm Bull* (中国药理学通报), 1996, 12:357-359.
- 62 He YT (何余堂), *et al.* Biological activity and structure of plant polysaccharides. *Food Sci* (食品科学), 2010, 31:493-496.
- 63 An XJ (安晓娟), *et al.* Advances in structural and pharmacological activity of plant polysaccharides. *Chin Pharm J* (中国药学杂志), 2012, 16:1271-1275.
- 64 Warrand J. Healthy polysaccharides—the next chapter in food products. *Food Technol Biotech*, 2006, 44:355-370.
- 65 Wright HE, *et al.* Isolation and characterization of a complex polysaccharide from aged burley tobacco. *Phytochemistry*, 1962, 1:125-129.
- 66 Xu CP, *et al.* Fraction and chemical analysis of antioxidant active polysaccharide isolated from flue-cured tobacco leaves. *Pharmacogn Mag*, 2014, 10:66-69.
- 67 Xu CP (许春平), *et al.* Extraction and biological activity analysis of polysaccharides from low grade tobacco. *Tobacco Sci Tech* (烟草科技), 2013, 11:52-55.
- 68 Kong HH (孔浩辉), *et al.* Improvement of continuous flow method for determining pectin in tobacco. *Tobacco Sci Tech* (烟草科技), 2014, 2:57-60.
- 69 Liu YF (刘耀飞), *et al.* Enzymatic degradation of pectin in tobacco stem. *Tobacco Sci Tech* (烟草科技), 2013, 8:40-44.
- 70 Fan KF (樊克锋), *et al.* Application of waste tobacco in prevention and cure of livestock and poultry diseases. *Chin J Tradit Veterin Sci* (中兽医学杂志), 2009, Suppl:612-614.

(上接第 2108 页)

- 5 Hou M (侯敏), Sun YL (孙永林), Yu HZ (余海忠). Study on extraction and stability of red pigment from the leaves of redleaf cherry plum (*Prunus cerasifera*). *Sci Technol Inf* (科技资讯), 2011, 13:31.
- 6 Zhao YY (赵宇瑛), Wu GY (吴广宇), Li TT (李婷婷). A comparative study on the content of anthocyanidin in leaf and branches of redleaf cherry plum. *J Yangtze Univ, Nat Sci Ed* (长江大学学报, 自科版), 2011, 8:218-219.
- 7 Raghavendran HR, Sathivel A, Devaki T. Effect of *Sargassum polycystum* (Phaeophyceae)-sulphated polysaccharide extract against acetaminophen-induced hyperlipidemia during toxic hepatitis in experimental rats. *Mol Cell Biochem*, 2005, 276 (1-2):89-96.
- 8 Zong A, Liu Y, Zhang Y, *et al.* Anti-tumor activity and the mechanism of SIP-S: A sulfated polysaccharide with anti-metastatic effect. *Carbohydr Polym*, 2015, 129:50-54.
- 9 Xue M, Sun H, Cao Y, *et al.* Mulberry leaf polysaccharides modulate murine bone-marrow-derived dendritic cell maturation. *Hum Vaccin Immunother*, 2015, 11:946-950.
- 10 Hou Y, Xie G, Miao F, *et al.* Pterostilbene attenuates lipopolysaccharide-induced learning and memory impairment possibly via inhibiting microglia activation and protecting neuronal injury in mice. *Prog Neuro-psychopharmacol Biol Psychiatry*, 2014, 54:92-102.
- 11 Wang D, Li Y, Hu X, *et al.* Combined enzymatic and mechanical cell disruption and lipid extraction of green alga *Neochloris oleoabundans*. *Int J Mol Sci*, 2015, 16:7707-7722.
- 12 Zhao CZ (赵丛枝), Yuan SQ (苑社强), Wang L (王磊), *et al.* Optimization of supercritical carbon dioxide extraction of the polysaccharide from fig fruit (*Ficus Carica L.*) using response surface methodology. *J Chin Instit Food Sci Technol* (中国食品学报), 2013, 13(7):46-52.