

## 普洱茶的化学成分及生物活性研究进展

吕海鹏<sup>1</sup>, 谷记平<sup>1</sup>, 林智<sup>1,2\*</sup>, 郭丽<sup>1</sup>, 谭俊峰<sup>1</sup>, 彭群华<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院茶叶研究所/农业部茶叶化学工程重点开放实验室, 浙江 杭州 310008; 2. 中国科学院昆明植物所/植物化学与西部植物资源持续利用国家重点实验室, 云南 昆明 650204)

**摘要:** 普洱茶的抗动脉硬化、降血糖以及减肥等诸多保健功能已经引起了人们的关注。本文就普洱茶的化学成分和生物活性两个方面进行综述, 推断普洱茶生物活性的物质基础及其可能的相关机理。

**关键词:** 普洱茶; 化学成分; 生物活性

**中图分类号:** S571.1; R975<sup>+</sup>.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-369X (2007) 01-008-11

## Advance in the Study on the Chemical Composition and Biological Activity of Pu-erh Tea

LU Hai-peng<sup>1</sup>, GU Ji-ping<sup>1</sup>, LIN Zhi<sup>1,2\*</sup>, GUO Li<sup>1</sup>, TAN Jun-feng<sup>1</sup>, PENG Qun-hua<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Tea Chemical Engineering, Ministry of Agriculture; Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China; 2. State Key Laboratory of Phytochemistry and Plant Resources in West China, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Kunming 650204, China)

**Abstract:** The health function of Pu-erh tea, such as anti-atherogenic, hypolipidemic and anti-obesity effect, has attracted much attention. This paper reviews the chemical composition and biological activity of Pu-erh tea, and discusses the substance basis of biological activity as well as the possible mechanism accordingly.

**Keywords:** Pu-erh tea, chemical composition, biological activity

普洱茶是以云南特有的大叶茶[*Camellia sinensis* (Linn.) var. *assamica* (Masters) Kitamura]的晒青毛茶为原料, 经特殊后发酵工艺生产而成的。从形态特征的进化程度来看, 普洱茶比茶原始, 至于拉丁名中的“*assamica*”纯属命名问题, 与原产地无关<sup>[1~3]</sup>。普洱茶由于具有独特的风味和逐渐被人们认知的保健功效<sup>[4~6]</sup>而热销于国内外市场, 并受到了国内外越来越多学者的瞩目和认可。本文探讨普洱茶的化学成分及其生物活性等方面的研究进展。

### 1 普洱茶的化学成分研究进展

#### 1.1 普洱茶原料—晒青毛茶的化学成分

普洱茶的原料不是茶鲜叶, 而是由云南大叶茶加工制成的晒青毛茶。晒青毛茶与红茶的加工原料(茶鲜叶蒸青固样)的高效液相色谱图非常相似, 多酚类中的主要成份为 ECG、EGCG 和 C<sup>[7]</sup>; 周志宏等<sup>[8]</sup>从晒青毛茶中分离鉴定出了 21 个化合物(图 1 中的化合物 1~7, 9~10, 12~17, 19, 21~23, 28, 30); 张雯

洁等<sup>[9]</sup>从云南“生态茶”(云南大叶茶经过常规加工而制成的绿茶)分离鉴定出 11 个化合物(图 1 中的化合物 1~6, 16, 18~19, 21, 30)以及 1 个混晶体(芦丁和山奈酚-3-芸香糖甙的混合物)。以上研究从云南大叶茶中分离鉴定了一些共同的化合物,例如茶鞣素(化合物 21), 小木麻黄素(化合物 19), 简单儿茶素(化合物 1~6)等;其中茶鞣素在印度产的红茶中含量甚丰富<sup>[10]</sup>, 推断阿萨姆种茶鲜叶中的茶鞣素可能是大叶茶的一个特征<sup>[9]</sup>。云南茶树种质资源中茶多酚含量很高<sup>[11]</sup>, 云南大叶种茶树鲜叶原料的水浸出物含量、茶多酚、儿茶素、咖啡碱、茶氨酸以及多糖等生化成分都高于一般中小叶种茶树, 氧化基质十分丰富, 为后发酵过程中由微生物参与的一系列的化学反应以及特殊化学成分的形成奠定了物质基础。

## 1.2 普洱茶的化学成分

### 1.2.1 普洱茶的植物化学研究方面

到目前为止, 国内外对普洱茶的植物化学研究很少。周志宏等<sup>[12]</sup>从云县普洱茶中分离鉴定出 12 个化合物(图 1 中的化合物 2~4, 8, 11, 16, 24~27, 29~30), 其中 4 个是特征性的金鸡纳素型氧化黄烷醇类内酯化合物, 有两个为新化合物(两个新的 8-C 取代黄烷-3-醇化合物), 命名为普洱茶素(puerin)A 和 B(图 1 中的化合物 24, 25); 林智等<sup>[13]</sup>从双江县普洱茶中分离鉴定出 11 个化合物(图 1 中的化合物 1~3, 9~11, 12~14, 16, 20), 主要有简单儿茶素, 简单酚性化合物, 黄酮类化合物以及黄酮类配糖体等。从以上的研究来看, 两种普洱茶样品中分离鉴定出的化合物只有 4 个(图 1 中的化合物 2, 3, 11, 16)相同, 可见普洱茶的化学成分因产地和加工工艺不同以及其他方面因素的影响而差异比较大。

### 1.2.2 普洱茶中化合物的检测分析方面

目前, 检测分析方面的研究相对较多, 主要概括为以下四点:

①简单儿茶素化合物和黄酮类化合物: 普洱茶中含有非常少量的儿茶素<sup>[14~16]</sup>, 儿茶素含量以及总量等远远低于绿茶、乌龙茶以及红茶中对应组分, 差异达到极显著水平( $P \leq 0.001$ )<sup>[17]</sup>; 普洱茶中不含有甲基化儿茶素类化合物<sup>[18]</sup>, 但发现有杨梅素等黄酮物质的存在<sup>[19]</sup>; 普洱茶的水提取物中儿茶素成分可能以 EC 为主<sup>[20]</sup>, 其他儿茶素, 尤其是 EGCG, 含量极低或者 HPLC 基本检测不到; 但不少研究指出普洱茶中没食子酸含量相对较高, 笔者所在的实验室对云南近三十个普洱茶样品的研究分析表明, 普洱茶中的没食子酸含量一般高于其他茶类(待发表); Yuerong Liang 等<sup>[21]</sup>所分析的 7 个普洱茶样品的平均儿茶素总量只有 8.41 mg/g; 有的检测结果甚至更低<sup>[22]</sup>, 可能与贮存年限以及加工工艺有关; 但利用 LC-MS 能检测出普洱茶中一些儿茶素的单体化合物和茶黄素等化合物, 还能初步鉴定出 20 种化合物<sup>[23]</sup>; 尽管加工原料的 HPLC 图谱相似<sup>[7]</sup>, 但普洱茶不具有红茶的图谱特征<sup>[7,23]</sup>。

②微量元素: 从 CARMEN CABRERA 等<sup>[24]</sup>对普洱茶中微量元素(Cr, Mn, Se, Zn)的研究结果中可以看出, 普洱茶中的铬含量(371.4 ng/g)明显高于其他茶类的检测茶样, 而锰, 硒, 锌的含量(分别为 431.7、55.0、65.1 ng/g)总体上与其他茶类相差不大; J.CAO<sup>[25]</sup>等发现所检测的普洱茶样中水溶性氟的含量是 77 mg/kg, 并且贮藏时间至少为 25 年的普洱茶往往比那些贮藏时间短的普洱茶氟含量低。

③他汀类(Satins): L.S.Hwang 等<sup>[26]</sup>首先在普洱茶中发现有洛伐他汀(lovastatin)(化合物 31)的存在; 随后, Deng-Jye Yang 等<sup>[27]</sup>研究指出洛伐他汀是在普洱茶中发现的唯一的他汀类化合物, 它在普洱茶水提取物中有内酯环结构和羟羧酸结构两种存在形式, 而在乙酸乙酯提取物中全部以内酯环结构存在。

④挥发性成分: 晒青毛茶的主要香气成分

为芳樟醇、 $\alpha$ -松油醇和香叶醇(化合物 33~35)及其衍生物,而普洱茶香气成分的重要特色在于渥堆过程中形成了大量芳香族化合物<sup>[28]</sup>,如 1,2,3-三甲氧基苯(化合物 38 和 39)等;另外有研究指出,渥堆茶中的许多有典型霉味和陈香的物质,如 1,2-二甲氧基-4-甲基苯(化合物 40)等,可能是相应化合物通过霉菌的作用而发生甲基化反应形成的<sup>[29]</sup>。

从晒青毛茶原料到成品普洱茶的加工过程中,存在于晒青毛茶中低沸点的醛酮化合物明显减少,然而萜醇类化合物[例如芳樟醇及其氧化物(化合物 35~37)、茴香醚及其衍生物、吲哚等]含量显著增加<sup>[30]</sup>; Yuerong Liang 等<sup>[21]</sup>研究指出,在所检测的 17 个挥发性化合物中, $\beta$ -紫罗兰酮(化合物 32)和芳樟醇氧化物 II 是普洱茶中含量最丰富的挥发性成分。

### 1.3 普洱茶化学成分形成与微生物活动相关

云南普洱茶渥堆过程中主要微生物有黑曲霉(*Aspergillus niger*)、青霉属(*Penicillium*)、根霉属(*Rhizopus*)、灰绿曲霉(*Aspergillus glaucus*)、酵母属(*Saccharomyces*)、土生曲霉(*Aspergillus terreus*)、白曲霉(*Aspergillus candidus*)、细菌类(*Bacterium*),其中黑曲霉最多<sup>[31]</sup>。微生物的发酵作用在云南普洱茶品质形成中起决定性的作用<sup>[31,32]</sup>,是云南普洱茶品质形成的必要条件,离开了微生物和湿热作用,晒青毛茶难以形成普洱茶特有品质风格<sup>[33]</sup>;在渥堆过程中由于湿热和微生物生长活动引起的降解作用,产生了一些影响普洱茶品质的芳香特性化合物,而黑曲霉菌在这些化合物的形成过程中起了决定性的作用<sup>[30]</sup>;但最近陈可可等<sup>[34]</sup>从云南省易武、基诺山、普洱和昆明后发酵加工生产的普洱熟茶堆中分离到 7 种曲霉菌,并没有分离到黑曲霉,因此指出“在普洱熟茶原产地的传统加工工艺中形成的普洱熟茶特殊的品质和风味,很可能与臭曲霉和日本曲霉的作用有重要的关系”。

### 1.4 普洱茶加工和贮藏过程中的化学成分变化

普洱茶加工过程中,没食子酸含量显著增高而茶氨酸含量显著降低<sup>[35]</sup>;尤其在普洱茶渥堆结束时,茶多酚、儿茶素、茶黄素、茶红素、氨基酸以及可溶性糖等含量均剧烈地下降,而茶褐素和水不溶性茶多酚含量明显增加,但渥堆前后水浸出物含量并未明显下降,说明茶叶内含物通过氧化、降解、缩合等反应已产生新的生成物<sup>[32]</sup>。在成品普洱茶贮藏过程中,茶多酚和可溶性糖等随着时间的延长和温度的提高而有所下降,9%左右的含水量最有利于普洱茶品质风格的形成<sup>[36]</sup>。虽然普洱茶在渥堆和贮藏过程中易受微生物的污染,但在 0.5~1.0 kGy 辐照下能彻底杀灭螨虫,而对茶叶主要理化成分无不良影响<sup>[37]</sup>;辐照后普洱茶中的氨基酸、可溶性糖、茶多酚总量以及茶多酚的氧化产物,一般都有所增加,但咖啡碱、儿茶素(特别是脂型儿茶素)含量有所下降<sup>[38]</sup>。

## 2 普洱茶的生物活性研究进展

### 2.1 普洱茶的安全性评价

从急性毒性角度来看,普洱茶的急性毒性小于烘青绿茶(三个云南产代表性普洱茶样品以及一个云南大叶烘青茶样的 LD<sub>50</sub> 分别为: 9.7、11.2、12.2 g/kg 和 7.5 g/kg),普洱茶的饮用安全性是很高的,但科学的饮茶法是饮茶健身的必然要求<sup>[39]</sup>;从遗传毒性角度来看,普洱茶和烘青绿茶对原核细胞、真核细胞、生殖细胞都没有致突变性,正规厂家生产的普洱茶是安全的<sup>[40]</sup>。

有关氟含量问题。茶叶中的氟化物含量因产区,品种,加工方式等的不同而具有很大的差异<sup>[41]</sup>;普洱茶中的水溶性氟含量为 77 mg/kg,一个成年人每天饮用 30 g 普洱茶并不会引起氟中毒,并没有超过成年人每天最大的氟允许摄入量 4.0 mg<sup>[25]</sup>;反而在亚热带地区的低氟区和适氟区,就氟化物含量而言,普洱

茶不失为一种安全有效的防龋用茶品种<sup>[42]</sup>。

饮用方面, 一直有普洱茶“越陈越香”的说法, 但现在很多专家提出, 从普洱茶的功能品质来讲, 并不是越陈越好, 应有一个最佳饮用期限, 但这个最佳的时期还未被研究确定。

## 2.2 普洱茶的生物活性

①普洱茶的降血糖血脂功效是当今的研究热点问题

国内外学者做了大量的前期研究工作, 从临床等角度初步证明了普洱茶确实具有降血糖血脂功效<sup>[4-6]</sup>。早期的研究表明普洱茶能明显的降低小鼠血浆中的胆固醇酯<sup>[43]</sup>含量, 也有一定的降胆固醇<sup>[44]</sup>效果。近期不少研究已经证实普洱茶能有效的降低小鼠血浆中的甘油三酯 (TG) 以及体内总胆固醇 (TC) 的含量水平, 可以在增加 HDL-C 的含量水平的同时, 降低 LDL-C 的含量水平, 从而有效抑制小鼠血脂的升高, 起到降血脂的作用效果<sup>[45-47]</sup>; 而且普洱茶效果优于其他茶类<sup>[46]</sup>以及晒青毛茶<sup>[47]</sup>。张冬英等<sup>[48]</sup>利用高通量筛选法研究发现, 普洱茶乙醇提取物有潜在的降血糖和降血脂作用的可能性, 有必要对其有效部位进行进一步分离纯化, 最终从普洱茶中找到高活性的天然降血糖血脂作用因子。

此外, 普洱茶的减肥瘦身的功效<sup>[46]</sup>以及抗动脉硬化的功效<sup>[26]</sup>也引起了人们的关注。

②普洱茶提取物有很大的潜力作为 NO 清除剂以及抗氧化剂

Iris F. F. Benzie 等<sup>[49]</sup>研究指出, 各种茶类在体外表现出的抗氧化活性差异很明显, 茶叶的抗氧化活性与茶叶中的酚性成分总量有很强的相关性( $r=0.956$ )。尽管普洱茶的发酵过程中多酚总量显著降低, 但近年的研究表明, 普洱茶的提取物 (水提取物, 醇提取物, 乙酸乙酯提取物等) 表现出了很强的生物活性。

普洱茶能有效抑制 RAW264.7 巨噬细胞中由脂多糖 (LBP) 诱导的 NO 产生<sup>[20,22,50]</sup>, 而且效果优于红茶、绿茶和乌龙茶提取物<sup>[22]</sup>; 另一方面, 普洱茶的水提取物也表现出了明显

的抗氧化活性, 能有效抑制脂质体和非脂质体的氧化损伤<sup>[20,51]</sup>。

普洱茶乙酸乙酯萃取物和正丁醇萃取物对 DPPH 和羟基自由基都有较强的清除能力<sup>[13,52,53]</sup>; 令人鼓舞的发现是其中乙酸乙酯萃取物的第 8 组分, 在分析中没有发现简单儿茶素、茶黄素以及没食子酸等成分, 但它比典型的绿茶儿茶素 EGCG 的抗氧化活性还要强, 另外它对过氧化氢在 HPF-1 细胞中诱导的损伤具有保护作用以及在正常条件下增加细胞活性的作用<sup>[53]</sup>。

③普洱茶提取物具有抗基因毒性、抗病毒以及抗菌活性

普洱茶提取物能有效的抑制由硝基芳烃引起的基因毒性<sup>[54]</sup>, 能够保护质粒 DNA 免受 Fenton 反应引起的损伤<sup>[22]</sup>; 它比绿茶、红茶和乌龙茶的提取物更能有效的抑制 SARS 病毒的 3CL 蛋白酶的活性, 具有比较强的抗 SARS 病毒作用<sup>[55]</sup>; 此外, 普洱茶提取物还有一定的抗突变作用, 对革兰氏阳性葡萄状球菌和杆状菌有潜在的抗菌活性<sup>[56]</sup>。

## 3 普洱茶生物活性的物质基础和可能的相关机理

### 3.1 普洱茶中的化学成分作为酶活性的抑制剂或者激活剂以及酶的组分影响机体代谢

①他汀类药物对 HMG-CoA 的竞争性抑制作用

普洱茶中已经证明有洛伐他汀的存在。已知洛伐他汀 (lovastatin) 对胆固醇合成中的限速酶 HMG-CoA(3-羟基-3-甲基戊二酸单酰辅酶 A) 还原酶有竞争性抑制作用, 从而使人体胆固醇合成的速度降低, 可以调节胆固醇, 降血脂。

②普洱茶提取物抑制 SARS 病毒的 3CL 蛋白酶活性

Chia-Nan Chen 等<sup>[55]</sup>的研究结果表明, 普洱茶和红茶的提取物比绿茶和乌龙茶的提取物更能有效的抑制 SARS 病毒的 3CL 蛋白酶的

活性。

### ③普洱茶对过氧化物酶体增殖物激活受体(PPAR)的作用

过氧化物酶体增殖物激活受体(PPAR)具有改善糖脂代谢的作用<sup>[57]</sup>；其中亚型之一的PPAR $\delta$ <sup>[58]</sup>与脂肪酸氧化有关，能减少血液中的脂肪酸含量；而普洱茶醇提物基本上认为对PPAR $\delta$ 受体有激活作用，有潜在的降血糖血脂作用的可能<sup>[48]</sup>。

### ④普洱茶中的微量元素影响酶的活性。

普洱茶中存在的铬、锰、硒、锌等微量元素与机体的糖、脂肪以及胆固醇等代谢紧密相关。铬与糖类和脂类代谢有密切联系，能增加人体内胆固醇的分解和排泄；锰能激活糖基转移酶的活性；硒作为谷胱甘肽过氧化酶的成分，使脂肪酸按正常 $\beta$ -氧化渠道氧化下去；锌酶参与了体内包括碳水化合物、脂质以及蛋白质的合成和降解一系列的代谢过程，被认为是超氧化物歧化酶(SOD)的辅助因子。

从以上几点可以看出，普洱茶中的化学成分能影响到肌体代谢中某些酶的活性，从而产生了相应的生理功能。当然，普洱茶的化学成分还能影响到更多酶的活性，还需要进一步的深入研究。至少，影响代谢酶的活性是普洱茶生理活性的可能机理之一。

## 3.2 普洱茶中的化合物本身具有生物活性

普洱茶中已经证实有黄酮以及黄酮配糖体等黄酮类化合物的存在<sup>[12,13]</sup>；黄酮类化合物是很强的抗氧化剂<sup>[59]</sup>；同时，黄酮苷又具有维生素P样的作用，可防止人体血管的硬化，维持毛细血管的正常通透性，能够防治心脑血管疾病；以往的研究<sup>[60,61]</sup>也早已证实了茶叶中的咖啡碱、表儿茶素以及黄酮都具有比较强的生物活性（没食子酸的作用在后文讨论）。

茶叶提取物中的酚性化合物可以和金属离子结合成联合体<sup>[62]</sup>；同时，茶提取物对过渡态金属离子的螯合作用能够抑制金属离子介导的自由基产物的生成<sup>[63]</sup>。从这个意义上讲，普洱茶具有显著的螯合铁离子的能力

<sup>[20]</sup>，是能够有效抑制铁离子通过Fenton反应引起脂质过氧化的。

## 3.3 普洱茶中未知化合物可能起关键作用

### ①高分子量的聚合化合物以及其他儿茶素衍生物

普洱茶比其他茶类在某些方面表现出了更强的生物活性，可能在普洱茶的发酵过程中产生了一些未被确认的新的多酚类化合物。这些化合物可能是通过儿茶素衍生或者聚合而产生较高分子量化合物，可以相当甚至超越儿茶素单体的活性；例如，它们在体内清除活性氧的能力甚至比EGCG还要强<sup>[46]</sup>；令人鼓舞的是，已经有研究<sup>[53]</sup>发现普洱茶提取物的某些组分清除活性氧自由基的能力比EGCG强。此外有研究发现，这些高分子量的化合物也可能具有引起细胞凋亡的活性<sup>[64]</sup>。

不少研究已经证实，儿茶素类化合物形成的某些氧化聚合产物比儿茶素单体具有更优异的生物活性，例如茶黄素单酯和茶黄素双酯对脂肪氧合酶的抑制作用明显的强于EGCG等儿茶素<sup>[65]</sup>。儿茶素轻度的氧化聚合可能提高其抗氧化能力<sup>[66]</sup>，并且儿茶素的抗氧化活性随着聚合度而递增，对自由基的清除能力随单体<二聚体<三聚体<四聚体而递增，还发现五、六聚体具有最强的抗氧化活性<sup>[67]</sup>。

### ②普洱茶中的特殊成分

一方面，红茶中的茶黄素和绿茶中的儿茶素都是有效的抗氧化剂<sup>[68]</sup>；普洱茶不像红茶富含茶黄素以及绿茶富含儿茶素，却也同样表现出了很强的羟基自由基清除能力以及抑制NO合成作用，可能普洱茶中存在某种化合物是很强的NO抑制剂，而这种化合物不存在于绿茶和红茶中<sup>[22]</sup>。

另一方面，儿茶素类化合物并非是抑制硝基芳烃诱导产生突变的主要成分<sup>[54]</sup>，普洱中茶多酚含量不高，但是能有效的抑制硝基芳烃引起的基因毒性；正如绿茶的非酚性成分脱镁叶绿素a和b对某些基因的表达有很强的抑制作用<sup>[69]</sup>一样，推测普洱茶中可能存在某些未

知的具有很强生物活性的非多酚性成分。

可见,普洱茶中这些高分子量的聚合物以及特殊成分应该引起研究的重视。

## 4 问题和展望

### 4.1 普洱茶的进一步分类问题

普洱茶可以进一步分为普洱生茶和普洱熟茶两类。两者在品质特征上有明显的差异<sup>[70]</sup>,内含物的化学成分更是差异悬殊<sup>[71,72]</sup>,以普洱茶素(puerin)为代表的新类型的儿茶素衍生物成为普洱熟茶的特征性成分<sup>[71]</sup>。从内含物差异的角度上可以推断出两类普洱茶的生物活性也应有所差异。

近年,人们对普洱茶的定义形成了不同的观点,众说纷纭,争论颇多,使人们对普洱茶的认识产生了混乱<sup>[71]</sup>,导致目前很多研究中并没有明确研究对象属于普洱生茶还是普洱熟茶。因此,今后应给予明确的区分,尤其是目前市场上消费普洱熟茶比较普遍的情况下更要注意区别两种茶的异同。

### 4.2 普洱茶植物化学研究上的困难

天然酚类化合物因其分子中含有较多的酚性羟基,性质活泼,不稳定,容易氧化,形成极性更大,聚合度更高的复杂多聚体,与其他天然产物相比,分离鉴定均有很大的困难。这类结构十分复杂的产物在普洱茶的渥堆过程中大量增加,可能是普洱茶生物活性的基础物质,很可能是高活性的天然降血糖血脂作用因子,但它们的结构和组成鲜为人知。这些复杂化合物的分离纯化以及结构鉴定工作是普洱茶化学研究不可回避的难点。目前国内外从事普洱茶植物化学研究的单位和个人相对较少,中国科学院昆明植物所杨崇仁教授和他所领导的科研小组成员对普洱茶化学等方面的研究做出了卓越的贡献<sup>[8,9,12,13,28,34,35,71]</sup>。

### 4.3 微生物参与的后发酵过程的复杂性

微生物与普洱茶品质的形成休戚相关。在

微生物的参与下,晒青毛茶的化学成分在高温高湿环境中发生了剧烈的改变。发酵过程中,微生物利用晒青毛茶丰富的内含物质,进行生长繁殖,产生了一系列的复杂的中间代谢产物,这些中间代谢产物应该具有研究价值;同时,晒青毛茶丰富的内含物质,在微生物本身存在的胞内酶或者分泌的胞外酶的作用下发生一系列复杂的化学变化。有研究表明,有些曲霉菌能有效的降解水解单宁,促进没食子酸的生成<sup>[73,74]</sup>。微生物参与后发酵的作用机理仍需要进一步的深入研究。

### 4.4 普洱茶中的可能生理活性成分

从目前的研究来看,存在于普洱茶中的可能的生理活性成分是没食子酸及其衍生物、儿茶素的某种衍生物或者是高分子量的儿茶素的复杂聚合物等,也可能是几种成分的协同作用。

没食子酸在云南普洱茶中的含量比较高<sup>[35,75]</sup>,又具有显著的抗氧化活性<sup>[13,76]</sup>,以及抗菌、抗炎、抗肿瘤、抗突变等生理活性<sup>[77-81]</sup>,是普洱茶的一个特征性、具生理活性的简单酚类化合物<sup>[35]</sup>。另外,在普洱茶中也可能存在一些没食子酸的衍生物,已经有研究证明没食子酸衍生物也具有比较强的生物活性<sup>[82]</sup>。没食子酸及其衍生物可能是普洱茶中的主要生理活性成分之一,还需要进一步的研究和证实。

### 4.5 展望

经现代医学临床验证,普洱茶对人体确有保健作用。普洱茶的膳食纤维含量较其他茶叶高<sup>[83]</sup>,并且含有大量维生素,氨基酸种类较齐全<sup>[84]</sup>。随着人们膳食结构的改变,高脂高蛋白类食物量的增加,普洱茶被誉为“减肥茶”、“窈窕茶”、“美容茶”以及“益寿茶”等,受到越来越多人的青睐。随着植物化学研究水平以及现代分析检测水平的不断提高,普洱茶的生理活性作用因子会被逐渐的揭示,普洱茶中高活性的降血糖血脂成分会更有效被

人们利用。

致谢:在论文的撰写过程中曾得到浙江大学何普明教授以及浙江大学博士生揭国良的帮助,谨致谢意。

## 参考文献

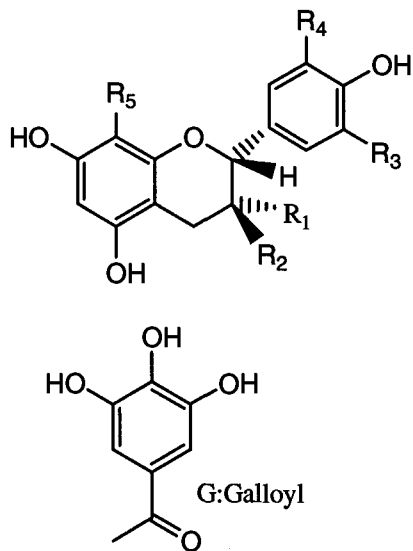
- [1] 闵天禄. 山茶属茶组植物的订正[J]. 云南植物研究, 1992, 14(2): 115~132.
- [2] 闵天禄. 山茶属的系统大纲[J]. 云南植物研究, 1999, 21(2): 149~159.
- [3] 虞富莲. 关于普洱茶种名[J]. 茶叶, 2003, 29(3): 163.
- [4] 周红杰, 秘鸣, 韩俊, 等. 普洱茶的功效及品质形成机理研究进展[J]. 茶叶, 2003, 29(2): 75~77.
- [5] 赵龙飞, 周红杰, 安文杰. 云南普洱茶保健功效的研究[J]. 食品研究与开发, 2005, 26(2): 114~118.
- [6] 张冬英, 施兆鹏, 刘亚林. 普洱茶药理作用研究进展[J]. 福建茶叶, 2005(1): 43~44.
- [7] 邵宛芳, M N Clifford, C Powell. 红茶及普洱茶主要成分差异的初步研究[J]. 云南农业大学学报, 1995, 10(4): 285~291.
- [8] 周志宏, 杨崇仁. 云南普洱茶原料晒青毛茶的化学成分[J]. 云南植物研究, 2000, 22(3): 343~350.
- [9] 张雯洁, 刘玉清, 李兴从, 等. 云南“生态茶”的化学成分[J]. 云南植物研究, 1995, 17(2): 204~208.
- [10] Hashimoto F, Nonaka G-I, Nishioka I. Tannins and related compounds, CXIV. Structures of novel fermentation products, theogallinin, theaflavinin and desgalloyl theaflavinin from black tea, and changes of tea leaf polyphenols during fermentation[J]. *Chem. Pharm. Bull.*, 1992, 40(6): 1383~1389.
- [11] 陈亮, 杨亚军, 虞富莲. 中国茶树种质资源研究的主要进展和展望[J]. 植物遗传资源学报, 2004, 5(4): 389~392.
- [12] ZHI-HONG ZHOU, YING-JUN ZHANG, MIN XU, *et al.* Puerins A and B, Two New 8-C Substituted Flavan-3-ols from Pu-er Tea[J]. *J Agric Food Chem*, 2005(53): 8614~8617.
- [13] 林智, 吕海鹏, 崔文锐, 等. 普洱茶的抗氧化酚类化学成分的研究[J]. 茶叶科学, 2006, 26(2): 112~116.
- [14] Jen-Kun Lin, Chih-Li Lin, Yu-Chih Liang, *et al.* Survey of Catechins, Gallic Acid, and Methylxanthines in Green, Oolong, Pu-erh, and Black Teas[J]. *J Agric Food Chem*, 1998(46): 3635~3642.
- [15] Yuegang Zuo, Hao Chen, Yiwei Deng. Simultaneous determination of catechins, caffeine and gallic acids in green, Oolong, black and pu-erh teas using HPLC with a photodiode array detector[J]. *Talanta*, 2002(57): 307~316.
- [16] PEDRO L FERNAÄ NDEZ, FERNANDO PABLOS, MARIÄA J MARTIÄN, *et al.* Study of Catechin and Xanthine Tea Profiles as Geographical Tracers[J]. *J Agric Food Chem*, 2002(50): 1833~1839.
- [17] J Petersona, J Dwyera, S Bhagwat, *et al.* Major flavonoids in dry tea[J]. *J Food Comp Anal*, 2005(18): 487~501.
- [18] FENG-LAN CHIU, JEN-KUN LIN. HPLC Analysis of Naturally Occurring Methylated Catechins, 3,7- and 4,7-Methyl-epigallocatechin Gallate, in Various Fresh Tea Leaves and Commercial Teas and Their Potent Inhibitory Effects on Inducible Nitric Oxide Synthase in Macrophages[J]. *J Agric Food Chem*, 2005(53): 7035~7042.
- [19] Masatake Toyoda, Keiko Tanaka, Kaori Hoshino, *et al.* Profiles of Potentially Antiallergic Flavonoids in 27 Kinds of Health Tea and Green Tea Infusions[J]. *J Agric Food Chem*, 1997(45): 2561~2564.
- [20] PIN-DER DUH, GOW-CHIN YEN, WEN-JYE YEN, *et al.* Effects of Pu-erh Tea on Oxidative Damage and Nitric Oxide Scavenging[J]. *J Agric Food Chem*, 2004(52): 8169~8176.
- [21] Yuerong Liang, Lingyun Zhang, Jianliang Lu. A study on chemical estimation of pu-erh tea quality[J]. *J Sci Food Agric*. 2005(85): 381~390.
- [22] YUNG-SHENG LIN, YAO-JEN TSAI, JYH-SHYAN TSAY, *et al.* Factors Affecting the Levels of Tea Polyphenols and Caffeine in Tea Leaves[J]. *J Agric Food Chem*, 2003(51): 1864~1873.
- [23] 朱旗, M N Clifford, 毛清黎, 等. LC-MS 分析普洱茶和茯砖茶与红茶成分的比较研究[J]. 茶叶科学, 2006, 26(3): 191~194.
- [24] CARMEN CABRERA, RAFAEL GIMEÄ NEZ, M. CARMEN LOÄ PEZ. Determination of Tea Components with Antioxidant Activity[J]. *J Agric Food Chem*, 2003(51): 4427~4435.
- [25] J CAO, Y ZHAO, J W LIU. Safety Evaluation and Fluorine Concentration of Pu'er Brick Tea and Bianxiao Brick Tea[J]. *Food and Chemical Toxicology*, 1998(36): 1061~1063.
- [26] L S Hwang, L C Lin, N T Chen, *et al.* Hypolipidemic effect and antiatherogenic potential of Pu-Erh tea[J]. *ACS Symp, Ser*, 2003(859): 87~103.
- [27] Deng-Jye Yang, Lucy Sun Hwang. Study on the conversion of three natural statins from lactone forms to their corresponding hydroxy acid forms and their determination in

- Pu-Erh tea[J]. *J Chromatography A*, 2006(1119): 277~284.
- [28] 周志宏, 折改梅, 张颖君, 等. 普洱茶的香气成分[J]. 天然产物研究与开发, 2006, 18(Supp1): 5~8.
- [29] 川上美智子, 小林彰夫, 山西贞, 等. 堆积茶中国产砖茶七黑茶的香气特性[J]. 日本农芸化学会志, 1987, 61(4): 457~465.
- [30] X Xu, M Yan, Y Zhu. Influence of Fungal Fermentation on the Development of Volatile Compounds in the Puer Tea Manufacturing Process[J]. *Engineering in Life Sciences*, 2005, 5(4): 382~386.
- [31] 周红杰, 李家华, 赵龙飞, 等. 渥堆过程中主要微生物对云南普洱茶品质形成的研究[J]. 茶叶科学, 2004, 24(3): 212~218.
- [32] 罗龙新, 吴小崇, 邓余良, 等. 云南普洱茶渥堆过程中生化成分的变化及其与品质形成的关系[J]. 茶叶科学, 1998, 18(1): 58~60.
- [33] 龚加顺, 周红杰, 张新富, 等. 云南晒青绿毛茶的微生物固态发酵及成分变化研究[J]. 茶叶科学, 2005, 25(4): 300~306.
- [34] 陈可可, 朱宏涛, 王东. 普洱熟茶后发酵加工过程中曲霉菌的分离和鉴定[J]. 云南植物研究, 2006, 28(2): 123~126.
- [35] 折改梅, 张香兰, 陈可可, 等. 茶氨酸和没食子酸在普洱茶中的含量变化[J]. 云南植物研究, 2005, 27(5): 572~576.
- [36] 龚淑英, 周树红. 普洱茶贮藏过程中主要化学成分含量及感官品质变化的研究[J]. 茶叶科学, 2002, 22(1): 51~56.
- [37] 罗雪梅, 余勤, 邓志群, 等. 普洱茶辐射杀螨效果研究[J]. 华南农业大学学报, 1996, 17(2): 93~97.
- [38] 周树红, 龚淑英. 不同辐照处理对普洱茶主要化学成分及感官品质的影响[J]. 茶叶科学, 2003, 23(1): 51~56.
- [39] 刘勤晋, 陈文品, 白文祥, 等. 普洱茶急性毒性安全性评价研究报告[J]. 茶叶科学, 2003, 23(2): 141~145.
- [40] 陈文品, 刘勤晋, 白文祥, 等. 普洱茶遗传毒性安全性评价研究[J]. 茶叶科学, 2005, 25(3): 208~212.
- [41] Cao Jin. Quantification of Fluoride Contents in Xiang Yin Tea and its Signification in Prventing Caries[J]. *Journal of Dental Health*. 1989(3): 290~293.
- [42] 赵燕. 普洱茶抗龋作用的研究(1)-氟, 茶多酚含量的动态观察[J]. 牙病防治杂志, 1993, 1(1): 17~19.
- [43] Sano, M Takenaka, Y Kojima, R, *et al*. Effects of Pu-erh tea on lipid metabolism in rats[J]. *Chem. Pharm. Bull.* 1986, 34(1): 221~228.
- [44] T T C YANG, M W L KOOU. HYPOCHOLESTEROLEMIC EFFECTS OF CHINESE TEA[J]. *Pharmacological Research*, 1997, 35(6): 505~512.
- [45] Lan-Chi Lin, Huei-Chiuan Liuchang, Lucy Sun Hwang, *et al*. The hypolipidemic and antioxidative effects of pu-erh tea[J]. *Atherosclerosis*[J], 1998, 136(增 1):44~44(1).
- [46] KUAN-LI KUO, MENG-SHIH WENG, CHUN-TE CHIANG, *et al*. Comparative Studies on the Hypolipidemic and Growth Suppressive Effects of Oolong, Black, Pu-erh, and Green Tea Leaves in Rats[J]. *J Agric Food Chem*. 2005(53): 480~489.
- [47] 吴文华. 晒青毛茶和普洱茶降血脂作用比较试验[J]. 中国茶叶, 2005(1): 15.
- [48] 张冬英, 刘仲华, 施兆鹏, 等. 高通量筛选法对普洱茶降血糖血脂作用的研究[J]. 茶叶科学, 2005, 26(1): 49~53.
- [49] Iris F F Benzie, Y T Szeto. Total Antioxidant Capacity of Teas by the Ferric Reducing/ Antioxidant Power Assay[J]. *J Agric Food Chem*. 1999(47): 633~636.
- [50] YUNG-SHENG LIN, SANG-SHUNG WU, AND JEN-KUN LIN. Determination of Tea Polyphenols and Caffeine in Tea Flowers (*Camellia sinensis*) and Their Hydroxyl Radical Scavenging and Nitric Oxide Suppressing Effects[J]. *J Agric Food Chem*. 2003(51): 975~980.
- [51] Luis Martínez, Irene Cilla, José A Beltrán, Pedro Roncalés. Antioxidant effect of rosemary, borage, green tea, pu-erh tea and ascorbic acid on fresh pork sausages packaged in a modified atmosphere: influence of the presence of sodium chloride[J]. *J Sci Food and Agric*, 2006, 86(9): 1298~1307.
- [52] 揭国良, 何普明, 丁仁凤. 普洱茶抗氧化特性的初步研究[J]. 茶叶, 2005, 31(3): 162~165.
- [53] Guoliang Jie, Zhi Lin, Longze Zhang, *et al*. Free radicals scavenging and protective effect of Pu-erh tea extracts on the oxidative damage in the HPF-1 cell[J]. *J Agric Food Chem*, 2006, 54(21): 8058~8064.
- [54] Takeshi Ohe, Kumiko Marutani, Shiho Nakase. Catechins are not major components responsible for anti-genotoxic effects of tea extracts against nitroarenes[J]. *Mutation Research*, 2001, 496: 75~81.
- [55] Chia-Nan Chen, Coney P C Lin1, Kuo-Kuei Huang, *et al*. Inhibition of SARS-CoV 3C-like Protease Activity by Theaflavin-3,3--digallate (TF3) [J]. *Evid Based Complement Alternat Med* 2005; 2 (2): 209~215.
- [56] She-Ching Wu, Gow-Chin Yen, Bor-Sen Wang. *et al*. Antimutagenic and antimicrobial activities of pu-erh tea. LWT - Food Science and Technology, 2007, (40): 506~512.
- [57] Braissant O, Foufelle F, Scotto C, *et al*. Differential expression of peroxisome proliferators-activated receptors(PPARs): tissue distribution of PPAR $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$  in the adult rat[J]. *J.Endocrinology*, 1996, 137 (1):



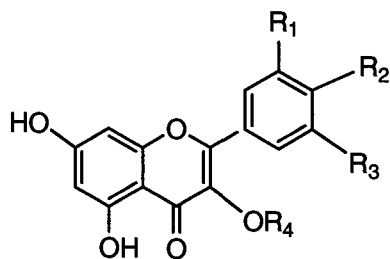
- 354~366.
- [58] Okuno A, Tamemoto H, Tobe K, *et al.* Troglitazone increases the number of small adipocytes without the change of white adipose tissue mass in obese Zucker rats[J]. *J Clin Invest*, 1998, 101 (6): 1354~1361.
- [59] Hertog M G L, Fesken E J M, Hollman P C H, *et al.* Dietary antioxidant flavonoids and risk of coronary heart disease: The Zutphen elderly study[J]. *Lancet*, 1993(342): 1007~1011.
- [60] Batchelder R J, Calder R J, Thomas, C P, *et al.* In vitro transdermal delivery of the major catechins and caffeine from extract of *Camellia sinensis*[J]. *International Journal of Pharmaceutics*, 2004 (283), 45~51.
- [61] Grunhage D, Edenharder R. Free radical scavenging abilities of flavonoids as mechanism of protection against mutagenicity induced by tert-butyl hydroperoxide in *Salmonella typhimurium* TA102[J]. *Mutation Research*, 2003(540): 1~18.
- [62] Guo B Y, Cheng Q K. Reaction of tea infusion components with metal ions and its application to preparation of pure polyphenols. In *Proceedings of the International Symposium on Tea Science*; Kurofune Printing: Shizuoka, Japan, 1991: 86~89.
- [63] Pannala A, Rice-Evans C A, Halliwell B, *et al.* Inhibition of peroxynitrite-mediated tyrosine nitration by catechin polyphenols[J]. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 1997(232): 164~168.
- [64] Hayakawa S, Kimura T, Saeki K, *et al.* Apoptosis-inducing activity of high molecular weight fractions of tea extracts[J]. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2001(65): 459~462.
- [65] 谢笔钧, 石焯, 胡慰望, 等. 绿茶, 乌龙茶, 红茶中的主要组分和酚类化合物抑制脂肪氧合酶和抗油脂自动氧化特性的研究[J]. *天然产物研究与开发*, 1994, 6(4): 19~25.
- [66] 李春美, 孙颀, 谢笔钧. 茶儿茶素氧化聚合物抗油脂自动氧化作用的研究[J]. *精细化工*, 2001, 18(11): 656~658.
- [67] Uchida S, Ohta H, Edamatsu R, *et al.* Active oxygen free radicals are scavenged by condensed tannins[J]. *Prog Clin Biol Res*, 1988, 280: 135~138.
- [68] Leung L K, Su Y, Chen, R, *et al.* Theaflavins in black tea and catechins in green tea are equally effective antioxidants[J]. *J Nutr*, 2001(131): 2248~2251.
- [69] Y Okai, K Higashi-Okai. Potent suppressive activity of the non-polyphenolic fraction of green tea (*Camellia sinensis*) against genotoxin-induced umuC gene expression in *Salmonella typhimurium* (TA1535/pSK1002), association with pheophytins a and b[J]. *Cancer Lett*, 1997(120): 117~123.
- [70] 崔文锐. 普洱茶的品质特点及鉴赏[J]. *茶苑*, 2005(2): 22~23.
- [71] 杨崇仁, 陈可可, 张颖君. 茶叶的分类与普洱茶的定义[J]. *茶叶科学技术*, 2006, 2: 37~38.
- [72] 宛晓春. 茶叶生物化学[M]. 中国农业出版社, 2003(第三版): 275~278.
- [73] Mukherjee G, Banerjee R. Biosynthesis of tannase and gallic acid from tannin rich substrates by *Rhizopus oryzae* and *Aspergillus foetidus*[J]. *J Basic Microbiol*, 2004, 44 (1): 42~48.
- [74] Van Diepeningen AD, Debets A J, Varga J, *et al.* Efficient degradation of tannic acid by black *Aspergillus* species[J]. *J Mycol Res.* 2004, 108(8): 919~925.
- [75] SHAO W, POWELL C, CLIFFORD M N. The analysis by HPLC of green, black and pu'er teas produced in Yunnan[J]. *J Sci Food Agric*, 1995(69): 535~540.
- [76] Sakagami H, Satch K. Prooxidant: ascorbic acid and gallic acid[J]. *J Anticancer Res*, 1997, 17(1A): 221~224.
- [77] Inoue M, Suzuki R, Sakaguchi N, *et al.* Selective induction of cell death in cancer cells by gallic acid[J]. *J Biol Pharm Bull*, 1995, 18(11): 1526~1530.
- [78] Inoue M, Suzuki R, Koide T, *et al.* Antioxidant, gallic acid, induces apoptosis in HL-60RG cells[J]. *J Biochem Biophys Res Commun*, 1994, 204(2): 898~904.
- [79] Inoue M, Sakaguchi N, Isuzugawa K, *et al.* Role of reactive oxygen species in gallic acid-induced apoptosis[J]. *J Biol Pharm Bull*, 2000, 23(10): 1153~1157.
- [80] Yoshioka K, Kataoka T, Hayashi T, *et al.* Induction of apoptosis by gallic acid in human stomach cancer KATO III and colon adenocarcinoma COLO 205 cell lines[J]. *J Oncol Rep*, 2000, 7(6): 1221~1223.
- [81] Ohno T, Inoue M, Ogihara Y. Cytotoxic activity of gallic acid against liver metastasis of mastocytoma cells P815[J]. *J Anticancer Res*, 2001, 21(6A): 3875~3880.
- [82] Zhongbing Lu, Guangjun Nie, Peter S Belton, *et al.* Structure-activity relationship analysis of antioxidant ability and neuroprotective effect of gallic acid derivatives[J]. *Neurochem Int*, 2006, 48(4): 263~274.
- [83] 中国预防医学科学院营养与食品研究所. 食物成分表[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1995: 156~157.
- [84] 吴少雄, 郭祀远, 李琳, 等. 普洱茶营养成分分析和营养学评价[J]. *中国公共卫生*, 2006, 22(7): 826.

黄烷醇类 (Flavanol)



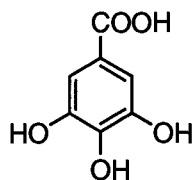
1. 儿茶素:  $R_1=H, R_2=OH, R_3=H, R_4=OH, R_5=H$   
Catechin
2. 表儿茶素:  $R_1=OH, R_2=H, R_3=H, R_4=OH, R_5=H$   
Epicatechin
3. 没食子儿茶素:  $R_1=H, R_2=OH, R_3=OH, R_4=OH, R_5=H$   
Gallocatechin
4. 表没食子儿茶素:  $R_1=OH, R_2=H, R_3=OH, R_4=OH, R_5=H$   
Epigallocatechin
5. 表儿茶素没食子酸酯:  $R_1=OG, R_2=H, R_3=H, R_4=OH, R_5=H$   
Epicatechin-3-O-gllate
6. 表没食子儿茶素没食子酸酯:  $R_1=OG, R_2=H, R_3=OH, R_4=OH, R_5=H$   
Epigallocatechin-3-O-gllate
7. 表阿福豆素没食子酸酯:  $R_1=OG, R_2=H, R_3=H, R_4=H, R_5=H$   
Epiarfazelechin-3-O-gllate
8. 表儿茶素-8-C-β-D-葡萄糖甙:  $R_1=OH, R_2=H, R_3=OH, R_4=H, R_5=Glu$   
Epicatechin-8-C-β-D-glucopyranoside

黄酮类化合物 (Flavonoids)

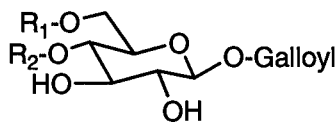


9. 山奈酚 (Kaempferol):  $R_1=H, R_2=OH, R_3=H, R_4=H$
10. 槲皮素 (Quercetin):  $R_1=OH, R_2=OH, R_3=H, R_4=H$
11. 杨梅素 (Myricetin):  $R_1=H, R_2=OH, R_3=OH, R_4=H$
12. 山奈酚-3-O-β-D-葡萄糖甙:  $R_1=H, R_2=OH, R_3=H, R_4=Glu$   
Kaempferol-3-O-β-D-glucopyranoside
13. 山奈酚-3-O-芦丁糖甙:  $R_1=H, R_2=OH, R_3=H, R_4=Glu(6-1)Rha$   
Kaempferol-3-O-rutinoside
14. 槲皮素-3-O-β-D-葡萄糖甙:  $R_1=OH, R_2=OH, R_3=H, R_4=Glu$   
Quercetin-3-O-β-D-glucopyranoside
15. 芦丁 (Rutin):  $R_1=OH, R_2=OH, R_3=H, R_4=Glu(6-1)Rha$

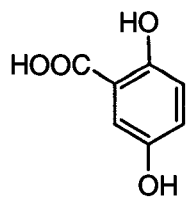
酚酸类 (Phenolic acid)



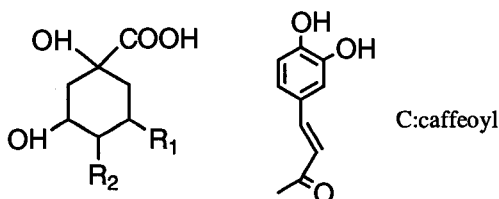
16. 没食子酸  
Gallic acid



17. 1,6-O-二没食子酰基-β-D-葡萄糖:  $R_1=Galloyl, R_2=H$   
1,6-O-digalloyl-β-D-glucopyranose
18. 1,4,6-三没食子酰基-β-D-葡萄糖:  $R_1=R_2=Galloyl$   
1,4,6-tri-O-galloyl-β-D-glucose
19. 小木麻黄素 (Strictinin):  $R_1+R_2=HHDP$  (六羟基联苯基)

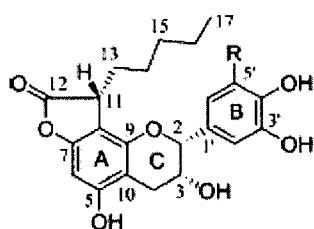


20. 2,5-二羟基苯甲酸  
2,5-dihydroxy-benzoic acid

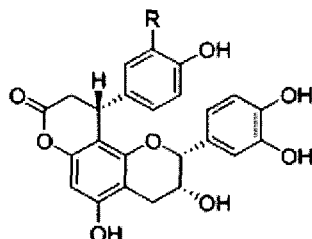


21. 茶槲素 (Theogallin):  $R_1=OG, R_2=OH$
22. 绿原酸 (Chlorogenic acid):  $R_1=OC, R_2=OH$
23. 3a,5a-二羟基-4-a-O-咖啡酰基金鸡纳酸:  $R_1=OH, R_2=OC$   
3a,5a-dihydroxy-4-a-caffeoyl-quinic acid

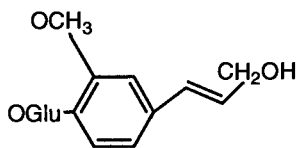
其他的一些化合物 (Others compounds)



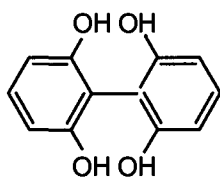
24. 普洱素A (Puerins A) :R=H  
25. 普洱素B (Puerins B) :R=OH



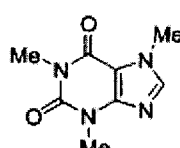
26. Epicatechin-[7,8-bc]-4a-(4-hydroxyphenyl)-dihydro-2(3H)-pyranone:R=H  
27. Cinchonain 1b:R=OH



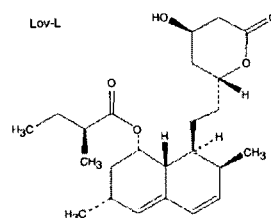
28. 松柏醇甙  
Coniferin



29. 2,2',6,6'-四羟基联苯  
2,2',6,6'-tetrahydroxydiphenyl

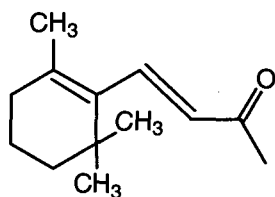


30. 咖啡碱  
Caffeine

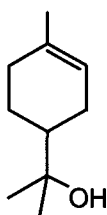


31. 洛伐他汀  
lovastatin

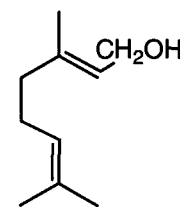
芳香性化合物 (Volatile compounds)



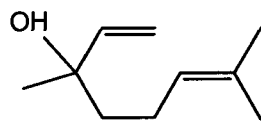
32. β-紫罗兰酮  
β-ionone



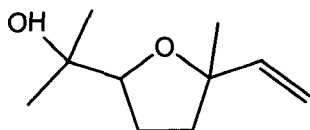
33. α-松油醇  
α-terpineol



34. 香叶醇  
geraniol

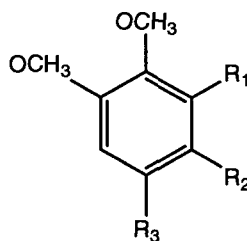


35. 芳樟醇  
Linalool



36. 芳樟醇氧化物I  
LinalooloxideI:trans-Linalool 3,6- oxide

37. 芳樟醇氧化物II  
LinalooloxideII:cis-Linalool 3,6- oxide



38. 1,2,3-三甲基苯:R<sub>1</sub>=OCH<sub>3</sub>,R<sub>2</sub>=H;R<sub>3</sub>=H  
1,2,3-trimethoxybenzene

39. 1,2,4-三甲基苯:R<sub>1</sub>=H,R<sub>2</sub>=OCH<sub>3</sub>;R<sub>3</sub>=H  
1,2,4-trimethoxybenzene

40. 4-甲基-1,2-二甲氧基苯:R<sub>1</sub>=H,R<sub>2</sub>=CH<sub>3</sub>;R<sub>3</sub>=H  
4-methyl-1,2-dimethoxybenzene

41. 5-甲基-1,2,3-三甲氧基苯:R<sub>1</sub>=OCH<sub>3</sub>,R<sub>2</sub>=H;R<sub>3</sub>=CH<sub>3</sub>  
5-methyl-1,2,3-trimethoxybenzene

图 1 普洱茶与其加工原料(晒青毛茶)中的化合物

Fig. 1 Compounds in Puer-h tea and its crude material(Crude Green Tea)