

紧压**绿**茶

的加工工艺与标准

胡一鸿 许素文 张博学 张雪娇 著



西南交通大学出版社

湖南省农田杂草防控技术与应用协同创新中心
湖南省农学与生物科学类专业校企合作人才培养示范基地
湖南省现代农业与生物工程虚拟仿真实验教学中心
农药学湖南省重点学科
农药无害化应用湖南省高校重点实验室
湖南省高校产业化培育项目（13CY030）
湖南省高校创新平台开放基金（16K047，15K066）
湖南省教育厅科学研究项目（15C0721）
湖南省科技计划项目（2016NK3090，2016NK3093）
湖南人文科技学院校企合作人才培养及社会服务项目（7411620）

联合资助

紧压绿茶的加工工艺与标准

胡一鸿 许素文 张博学 张雪娇 著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

我国是茶叶生产大国，其中绿茶制品的产量居全世界之首。绿茶属于非发酵茶，其制作工艺主要包括摊青、杀青、揉捻、干燥等工序。以绿茶为原料进行再加工，有利于充分利用绿茶原料，提升茶制品的品质与品味。本书以贵州绿茶为原料，进行紧压茶的压制研究，筛选出紧压茶加工的最佳配方，并对其品质进行分析，以期茶制品加工企业工艺改进提供参考依据。

本书可供茶叶加工生产企业技术开发人员、农业科技特派员、农业“三区”人才、驻厂驻村帮扶人员和大中专院校相关专业师生参考。

图书在版编目（CIP）数据

紧压绿茶的加工工艺与标准 / 胡一鸿等著. — 成都：
西南交通大学出版社，2018.11
ISBN 978-7-5643-6602-5

I. ①紧… II. ①胡… III. ①绿茶—加工 IV.
①TS272

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 261726 号

紧压绿茶的加工工艺与标准

胡一鸿 许素文 张博学 张雪娇 著

责任编辑	罗爱林
封面设计	墨创文化
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网址	http://www.xnjdcbs.com
印刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成品尺寸	170 mm × 230 mm
印张	6.75
字数	152 千
版次	2018 年 11 月第 1 版
印次	2018 年 11 月第 1 次
书号	ISBN 978-7-5643-6602-5
定价	48.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话：028-87600562

前 言

我国是茶叶生产和消费大国，茶叶产量居世界第一，茶叶出口量居世界前列。按照我国现行国家标准，以茶叶的产品加工工艺和产品特性，将茶叶制品分为绿茶、红茶、黄茶、白茶、乌龙茶、黑茶和再加工茶七大类，其中绿茶产品的产量最高。

贵州省属于山地和丘陵地貌，属亚热带湿润季风气候，四季分明，雨量充沛，土壤有机质厚。得天独厚的地理环境和适宜气候，使贵州成为我国最大的茶叶生产大省。仅位于黔东南苗族侗族自治州的黎平县的茶叶种植面积就超过 50.8 万亩（1 亩 $\approx$ 666.67 平方米），该县素有茶叶之乡的美誉，但目前其茶叶制品的加工深度不够，以出产茶叶原料为主，没有形成大的品牌影响力，严重制约了该行业的发展。

2016 年以来，以金晨钟研究员为首席科学家的湖南人文科技学院社会服务专家团队与黎平博远生态农业科技有限公司开展了深度产学研合作，双方联合开展了茶制品的开发与研究工作。两年多来，企业科研人员与在读的研究生、本科生进行了复合紧压茶制品、茶叶护发素和蕻藜茶制品等一系列茶叶深加工产品的开发与研制工作。在农产品深加工的科研实践中，培养和锻炼了学生的创新能力，取得了一系列成果，并应用于生产实践。

本书介绍了紧压绿茶制茶工艺的研究方法与最佳配方，对产品的理化指标进行了分析测定，包括感官评价和色谱检测，建立了符合生产规程的加工标准，以期茶叶加工的产业升级和规模化生产紧压茶提供一定的技术支撑和理论依据。

试验期间，黎平博远生态农业科技有限公司给予了大力支持，为试验提供了原料和设备，公司技术人员并给予大力指导。湖南省农田杂草防控技术与应用协同创新中心首席专家金晨钟研究员、湖南人文科技学院质量监控与规划处陈勇处长审读了全书并提出了宝贵意见，一并表示感谢！

由于作者水平有限，书中难免存在不足之处，恳请广大读者和同行专家批评指正。

胡一鸿

2018 年 7 月于湖南省娄底市

目 录

1 绪 论	1
1.1 茶叶概况	1
1.1.1 茶叶的分类	1
1.1.2 茶叶的分布	2
1.1.3 茶叶的功效	3
1.2 茶制品的深加工	5
1.2.1 茶制品深加工的主要技术手段	5
1.2.2 茶制品深加工的关键技术	6
1.2.3 常见的深加工茶制品	6
1.3 绿茶的研究现状	7
1.3.1 绿茶的加工工艺研究	7
1.3.2 绿茶的香气成分研究	8
1.3.3 绿茶加工过程香气的形成机理	10
1.3.4 绿茶香气成分化合物的提取和分析方法	12
1.4 紧压茶的研究现状	14
1.5 开展紧压绿茶的加工与品质分析研究的意义	15
1.6 本研究的主要内容	16
1.7 本研究的技术路线	17
2 绿茶紧压茶的加工工艺研究	18
2.1 材料与方法	19
2.1.1 试验材料	19
2.1.2 供试试剂及仪器	20
2.1.3 试验方法	20
2.2 结果与分析	23
2.2.1 绿茶吸湿性测试	23
2.2.2 单因素试验结果分析	23
2.2.3 正交试验结果分析	29

2.3	讨 论	31
3	绿茶紧压茶的理化性质分析	33
3.1	材料与方法	33
3.1.1	试验材料	33
3.1.2	供试试剂及仪器	34
3.1.3	试验方法	34
3.2	结果与分析	37
3.2.1	绿茶紧压茶水分测定	37
3.2.2	绿茶紧压茶总灰分测定	38
3.2.3	绿茶紧压茶水浸出物测定	38
3.2.4	绿茶紧压茶茶梗测定	38
3.2.5	绿茶紧压茶非茶类夹杂物测定	39
3.3	讨 论	39
4	绿茶紧压茶的品质分析	41
4.1	材料与方法	41
4.1.1	试验材料	41
4.1.2	供试试剂及仪器	41
4.1.3	试验方法	42
4.2	结果与分析	45
4.2.1	绿茶加工过程中感官品质评价的变化	45
4.2.2	绿茶紧压茶不同干燥时间的感官评价变化	45
4.2.3	绿茶和绿茶紧压茶的香气成分化合物的比较分析	48
4.3	讨 论	51
5	绿茶紧压茶的茶多酚含量分析	53
5.1	材料与方法	53
5.1.1	试验材料	53
5.1.2	供试试剂及仪器	53
5.1.3	试验方法	54
5.2	试验结果	54
5.2.1	标准曲线	54
5.2.2	茶叶总酚含量	55
5.3	小 结	55

6 主要研究结论与后续研究设想	57
6.1 主要结论	57
6.2 后续研究设想	58
附录	59
附录 A 缩略词表	59
附录 B GC-MS 技术介绍	61
附录 C 压茶装置与设备	68
附录 D 茶叶产品加工相关的现行国家标准节选	76
附录 E 博远茶制品	83
附录 F 茶多酚检测方法	85
参考文献	89

1 绪 论

1.1 茶叶概况

1.1.1 茶叶的分类

茶 (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze), 又称檳、茗、茶树、茶叶、元茶, 植物界被子植物门, 双子叶植物纲, 侧膜胎座目, 山茶科。山茶属茶种, 遍见于中国长江以南的山区, 多为灌木或小乔木状。

欧洲等西方国家根据茶叶生产工艺和茶产品的商品特性, 简单地将茶叶分为三种类型: 未发酵的绿茶、部分发酵茶如乌龙茶、完全发酵茶如红茶和普洱茶等。日本则按发酵程度将茶叶分为不发酵茶、半发酵茶、全发酵茶、后发酵茶四类。日本学者的分类方法简单明了, 认为茶叶变色是微生物发酵的结果, 这种分类方法虽然简单适用, 但并不十分科学合理。而我国是茶叶之乡, 由于茶类产品极其丰富、齐全, 国际上这些简单的分类方法不能完全反映出我国茶叶加工的特点及茶叶品质的系统性, 所以按照中华人民共和国现行国家标准《茶叶分类》(GB/T 30766—2014), 将茶叶以加工工艺、产品特性为主, 结合茶树品种、鲜叶原料、生产地域进行分类, 具体分为绿茶、红茶、黄茶、白茶、乌龙茶、黑茶、再加工茶七大类。国外的茶叶分类比较简单, 而我国的茶叶分类方法综合考虑了茶品质、茶制作法和茶内含物变化的系统性, 相比而言较为科学合理。目前, 由于茶叶品种和茶制品的种类丰富, 加工工艺各有不同, 茶叶的内含物与次生代谢产物的测定方法复杂, 各种测定方法均有一定缺陷, 因而目前世界上还没有统一的茶叶分类标准。

绿茶属于不发酵茶, 其色泽和汤底呈绿色, 是我国种植面积、产量和出口量最多的一类茶叶。其制茶原理是将新鲜的叶子进行干燥和蒸烘, 使多元酚氧化酶失活进而阻碍茶叶的氧化作用。

绿茶的制茶工艺包括摊青、杀青、揉捻、干燥等工序。其中, 杀青方式一般有两种, 即加热杀青和蒸汽杀青, 如我国名优绿茶雨露以及日本绿茶煎

茶都是使用蒸汽杀青方式制成。绿茶干燥方式又分为炒干、烘干和晒干三种工艺。如我国龙井、珠茶等属于炒青绿茶，黄山毛峰、闽烘青等属于烘青绿茶，滇青、川青等属于晒青绿茶。

红茶属于完全发酵茶，其色泽和汤底呈红色，是消费者最喜爱的茶类。制茶时以鲜叶为原料，然后经过萎凋、揉捻、发酵和干燥等步骤制作而成。红茶根据原料原产地和制作手法的不同可以分为小种红茶、工夫红茶和红碎茶等，如以滇红和祁红为代表的工夫红茶。

黄茶属于轻微发酵茶，其色泽以黄色为主调。制茶时以芽叶为原料，发酵时使茶叶稍稍发黄。一般依据芽叶的嫩度和大小分为黄芽茶、黄小茶和黄大茶。

白茶近似黄茶，同属轻微发酵茶，但不经过杀青、揉捻和闷黄，只需采摘后干燥即可。根据原料将其分为白毫银针、白牡丹和寿眉。

乌龙茶属于局部发酵茶，又称青茶，干茶呈青褐色，是独具中国特色的茶叶品种。其制茶工艺分为萎凋、做青、半发酵、杀青、包揉、烘焙等工序，如闽北的大红袍、闽南的铁观音、广东的凤凰水仙、台湾的冻顶乌龙和包种。

黑茶属于后发酵茶，成品茶呈黑褐色，是我国特有的茶叶品种，大部分在我国南方地区种植，同时也是紧压茶最常见的原料。黑茶的制茶工序是以粗老的叶子为原料，在绿茶工序的基础上增加渥堆这一步骤。渥堆的时间和紧实程度决定了发酵的效果，是决定黑茶品质的关键工序，如湖南的安化黑茶、云南的普洱茶等均属黑茶。云南的普洱茶和湖南安化黑茶属于国家地理标志产品。湖南安化是中国黑茶的始祖。云南的普洱茶按生产工艺而言应属于黑茶，但究其原料而言，与传统黑茶有明显区别，因此也有学者认为普洱茶是不属于红茶和黑茶的一个独立茶类。

再加工茶是以以上六种茶叶品种为原料根据生产需求进一步加工所得的产品，如速溶茶、砖茶、苦丁茶等。

1.1.2 茶叶的分布

全球约有 50 多个国家种植茶树，2016 年全球茶叶产量约 546 万吨，全球出口量约 177 万吨。80% 的茶叶产于亚洲，160 多个国家和地区有茶叶消费习惯。到目前为止，世界上茶生产和消费 76%~78% 的是红茶，20%~22% 的是绿茶，而乌龙茶等不足 2%。红茶的主消费区在欧洲、北美和北非，绿茶的主消费区在中国、日本、韩国和摩洛哥等国，乌龙茶的主消费区在中国内地。

我国素有茶叶之乡的美称，是世界上最早发现和利用茶树的国家，也是茶品种最丰富、最齐全的国家，有着 4 000 多年的饮茶历史。我国茶叶生产和贸易自西汉时期就在国际贸易中占有重要的地位。数据显示，2016 年中国茶叶产量 243 万吨，产能居世界第一，茶叶出口数量 32.9 万吨，出口金额达 14.8 亿美元，位居世界第二，仅次于肯尼亚；我国出口绿茶 27.1 万吨，占国际绿茶市场总额的 75%，是世界最大的绿茶生产与出口国家。

随着国际市场的打开和世界产茶国家的兴起，国际贸易中茶叶贸易市场的竞争日益激烈，农药残留标准、重金属含量标准等质量安全标准也相继提出，茶叶的价格已不再成为茶叶出口的单一决定性因素。在全球茶叶市场的全面竞争中，茶叶品质和质量逐渐扮演着越来越重要的角色。

中国茶叶出口量虽高居世界第二，但目前仍然是以散装茶和原材料供给为主，处于全球茶叶产业链的最低端，产品附加值低导致出口价格低于世界平均水平。而我国国内茶叶市场从清朝到改革开放时期一直处于低迷状态。近 10 年来，在中国的茶叶出口贸易中，绿茶是唯一呈稳步增长态势的茶类，其余种类均有所下降。因此，中国茶叶行业正面临严重挑战和重大机遇，产业结构需要重大转型，应以技术为支撑，品质为保障，生产多元化深精加工产品，推动茶叶产品的升级换代。

1.1.3 茶叶的功效

茶叶的功能成分源于茶叶中的次生代谢产物。茶树代谢最为旺盛的部位在新梢，其次是老叶、茎以及根。其中，起关键作用的成分主要是茶多酚（Tea polyphenols, TP）、咖啡碱（Caffeine）和茶氨酸（Theanine）等特征次生代谢物。

茶多酚是茶叶中多酚类活性物质的总称，又称“茶鞣质”“茶单宁”等，包括儿茶素类、花色苷类、黄酮类和酚酸类等。其中，儿茶素类（Catechins, C）是茶多酚的主要活性成分，属于还原性多酚类物质，占茶多酚总量的 50%~70%，占茶叶干重的 12%~24%。儿茶素的化学式为 $C_{15}H_{14}O_6 \cdot H_2O$ ，基本结构为 2-苯基苯并吡喃环，化学名为黄烷-3-醇，具有抗菌、延缓衰老、除臭等功能。

儿茶素的主要作用是在茶树呼吸过程中起到传递氢的作用，因此儿茶素在呼吸作用最为旺盛的新梢部位含量最高。儿茶素类物质由草莽酸途径合成而来，其合成代谢是茶次级代谢研究的重点。儿茶素主要有四种，分别是表儿茶素（EC）、表没食子儿茶素（EGC）、表没食子儿茶素没食子酸

酯（EGCG）和表儿茶素酸酯（ECG）。绿茶中儿茶素的含量显著高于其他茶种的含量。

花色苷类又称花青素，是苯并吡喃（Penotyriiun）的衍生物，是一大类水溶性植物天然色素，也是水果、蔬菜和花卉中的主要呈色物质，以糖苷形式存在，具有自由基清除能力和抗氧化能力。

黄酮类物质分为黄酮类和黄酮苷类，基本结构是苯环和 γ -吡喃酮合成的色原酮衍生物，约占茶叶干重的 2%~5%。黄酮类物质具有抗氧化、消炎、抗衰老、抗癌、抗糖尿病等功效，也是弱雌性激素，在治疗妇女更年期综合征方面具有较好的应用前景。

酚酸类物质是合成酯型儿茶素（CG、GCG）的必需物质，主要包括没食子酸、没食子素、绿原酸、香豆酸和咖啡碱等。

咖啡碱，也称咖啡因，是一种具有兴奋作用的黄嘌呤生物碱化合物，其化学式为 $C_8H_{10}N_4O_2$ 。茶叶中的类似咖啡因成分叫茶碱，为二氧二甲基嘌呤（ $C_7H_8N_4O_2$ ），具有强心、利尿、扩张冠状动脉、兴奋中枢神经等功能，对胃黏膜有刺激作用，主要在茶树中的嫩叶和茶花部位进行生物合成。其合成途径与腺嘌呤核苷酸代谢密切相关，在制茶过程中能和酚类及其氧化物结合进而阻止酚类与蛋白质结合，产生局部抑制蛋白质凝固的效果，从而保持茶汤滋味芬芳馥郁。

茶氨酸的化学名为 N-乙基- γ -L-谷氨酰胺，由谷氨酸和乙胺生物合成而来，大约占茶叶干重的 1%~2%，占总自由氨基酸的 50%，是茶树中特有的非蛋白质游离氨基酸，也是茶叶具有甘甜味的主要原因。茶氨酸能够降低血压、促进脑中中枢多巴胺分泌等功能。

茶在降低毒性和预防流行性疾病等方面的功能已被大众普遍认同，茶叶的多种有效成分已作为药物使用，如心健脑片、茶碱释放片等。目前大家对茶功效的关注点集中于防治心血管疾病以及增强免疫功能等方面的研究。茶多酚是茶叶中含量最高的次生代谢产物，已被证实具有提高机体的免疫力、抗氧化、抗过敏、抗衰老、降低“三高”和调节糖脂代谢等多种生理活性的功能。茶黄素是茶多酚类物质及其衍生物氧化聚合形成的具有苯骈卓酚酮结构的化合物，可有效清除活性氧自由基以及恶臭气味主要成分甲硫醇。儿茶素无毒副作用。Murase 等和 Suzuki 等提出，长期摄入儿茶素可以减少内脏的脂肪积累，尤其是能够减少脂肪肝的脂肪积累，还可以调节高胰岛素血症和血浆高瘦素血症。张静等发现，茶叶中儿茶素、茶黄素等功能成分可抑制蛋白质聚集和蛋白质的折叠错误，从而达到防治阿尔茨海默病、帕金森、糖尿病等疾病的效果。

近年来的研究也表明，绿茶不仅在保护口腔健康、降低心血管疾病和预防癌症方面有着重要的作用，同时还具有其他功能，如抗高血压、抗菌、抗病毒、抗纤维化、紫外线防护、降低骨密度、神经保护等效果。Siddiqui 等还提出，绿茶有化学预防前列腺癌的特殊功效。

1.2 茶制品的深加工

深加工茶制品是以茶叶原料、茶叶成品或等外品、残次品、茶加工过程中的下脚料等为原料开发出的产品，其产品可以以茶的成分为主，也可以以其他成分为主，充分利用了茶叶资源和残次原料，丰富了茶叶制品的产品线，也为企业带来了更大的经济效益。茶叶的深加工还能解决一些有效成分通过传统的冲泡方式饮用难以得到有效利用的问题。一般而言，茶制品的深加工常以绿茶原料为主。

1.2.1 茶制品深加工的主要技术手段

茶制品的深加工包括四个方面的技术，分别是机械加工、物理加工、化学和生物化学加工、综合技术加工。

（1）机械加工。

机械加工是指只用机械的方法改变茶叶产品的外形，以达到方便使用的效果。典型产品如紧压茶饼，又如袋泡茶，一般采用等外品或茶沫制成，从而实现茶叶资源的综合利用，显著提高经济效益。

（2）物理加工。

物理加工是指改变了茶叶的形态，用物理方法提取茶叶的内含物质，并不改变茶叶成分，典型产品有速溶茶、饮料茶等。

（3）化学和生物化学加工。

化学和生物化学加工是指通过化学和生物化学的原理和相应的技术手段，提取茶叶中的有效成分加以利用，如提取和纯化茶叶中的茶多酚、茶色素、茶氨酸、咖啡因、维生素等次生代谢产物。

（4）综合技术加工。

综合技术加工是指采用机械、物理、化学、发酵工程等技术手段，开发生产新的茶叶制品，应用于开发保健、医药、化妆品、肥料等产品。综合技术的关键在于各种技术手段的应用与集成。

1.2.2 茶制品深加工的关键技术

茶叶深加工领域的关键技术是分离纯化提取技术的创新突破与集成，常用的技术有微波消解、超声波提取、超临界提取、大孔树脂提取、逆流色谱分离提取、超滤膜分离、喷雾干燥、冷冻干燥等现代分离技术。采用这些技术能够高效分离提取茶叶中的有效成分，如咖啡因，化学名为 1, 3, 7-三甲基黄嘌呤。传统的提取方法一般为树脂色谱法和升华法，提取效率较低。由于咖啡因极性很低，在加入夹带剂的情况下能够采用超临界 CO₂ 技术高效提取，能够快速、安全提取茶叶中的咖啡因成分，而且同时还能够通过 CO₂ 的超临界流体清洗茶叶，制备出脱咖啡因茶，达到一举两得的效果。

1.2.3 常见的深加工茶制品

(1) 速溶茶。

速溶茶是指能溶解于水的固体茶饮料，在我国起步较晚，20 世纪 70 年代才最先由上海微生物所开发成功。美国的速溶茶产量最大，70 年代的年产量就达到 7500 吨，第一大速溶茶生产公司为雀巢（Nestea）公司。印度、斯里兰卡、肯尼亚等国也是速溶茶的生产大国。速溶茶具有安全、方便、营养卫生等特点，其生产应用了饮料技术和制茶技术的成熟经验，产品标准化程度高，产品市场前景广阔。目前，随着人们生活水平的提高，速溶茶已经逐渐得到国人的认可。

速溶茶的制备是以生物化学理论和化工原理为原则制定生产工艺流程，其主要流程包括原理处理、浸提、净化、浓缩、干燥、增香、包装等工艺程序。

(2) 饮料茶。

饮料茶是以茶的萃取液、茶粉、浓缩液等为原料，加入水、糖分、酸等调制加工而成。我国的饮料茶生产开始于 20 世纪 80 年代末期，主要有凉茶、茶可乐等产品。由于当时的技术与工艺水平所限，产品开发并不十分成功，市场接受度不高。饮料茶由于其中的营养成分十分复杂，其主要技术难点在于解决茶的浑浊度、茶的自然香气度保持和维持饮料茶的色泽度稳定等问题。

饮料茶的加工流程主要为茶叶预处理、浸提、过滤、离心、调和、灭菌等工艺程序。

(3) 茶色素产品。

茶色素产品如茶色素胶囊，是从绿茶中提取的一类水溶性色素，具有保

健品价值，具有抗氧化的作用，对人体无任何毒副作用，我国从 20 世纪 90 年代开始研发该产品。

茶色素的主要制备工艺流程包括水浸提、过滤、减压浓缩、溶剂萃取、乙醇回流、保留液冷冻干燥等。

（4）茶多酚产品。

茶多酚是茶叶中主要的保健功能成分之一，可用作食品添加剂，如添加至油脂酱料、蛋白粉、植物蛋白奶中。

茶多酚的制备工艺主要包括热水浸提、减压浓缩、氯仿萃取、乙酸乙酯浓缩、喷雾干燥等流程。

1.3 绿茶的研究现状

1.3.1 绿茶的加工工艺研究

绿茶的加工是指将新鲜的叶子进行一系列干燥和蒸烘工艺，使多元酚氧化酶失活，进而阻碍氧化作用的过程。我国名优绿茶按外形基本分为五类：扁形、条形、圆形、针形和卷曲形。

不同企业对绿茶的加工工艺各不相同，绿茶原茶的品质和加工工艺决定了绿茶产品的优劣。

目前，国内绿茶制作工艺流程大致可以分为如下四个步骤：

（1）摊青。

摊青是指以鲜叶为原料，置于萎凋槽中，25℃~28℃下摊放 10~15 h 的过程。此过程是绿茶加工过程的第一道工序。此时鲜叶中低沸点的芳香物质大部分挥发，随着水分的散失，部分蛋白质、类脂、色素、多糖、糖苷等物质开始水解生成氨基酸和水溶性糖等简单物质，多酚类化合物发生轻度氧化降解反应产生芳香物质。有研究表明，适当时间的摊放有利于制茶品质的提高。

（2）杀青。

杀青是指将摊青后的鲜叶进行高温处理，使之破坏茶叶中氧化酶的活性，抑制茶多酚的酶促氧化反应的过程，是绿茶种类增加和芳香物质转化的重要步骤。茶叶在加热条件下，带着青草气味的低沸点挥发物质彻底散失，高沸点物质发生异构化，糖类和氨基酸脱水，蛋白质和甲基蛋氨酸硫盐等物质水解，最后转变为茶叶的特征香气，同时还保留了鲜叶的色泽。另外，根据绿

茶不同的工艺条件，杀青方式又可分为炒青、蒸青、烘青、泡青以及辐射杀青。其中，炒青绿茶是国内绿茶消费市场主要的品种类型。

(3) 揉捻。

揉捻是指茶叶杀青摊晾至常温后揉捻成形的过程，根据工艺流程又将揉捻分为初揉和复揉。复揉则是在初揉完成后高温烘二青至五成干，再以揉捻机施中压揉捻成形。揉捻塑形是绿茶优美外形的关键工序，在该过程中鲜叶细胞组织破损、茶汁大量外溢，大大提高了茶叶浸出率，但十分不利于香气的形成。因此，工艺简单、轻压短时的扁形或毛峰形绿茶的香气更加浓郁鲜爽，备受青睐。

(4) 干燥。

干燥是指将揉捻后的茶叶进行解块筛分，然后利用烘干机蒸干水分制成毛茶的过程。在干燥阶段，茶叶中茶多酚、氨基酸、可溶性糖、叶绿素均呈下降趋势，其中一部分的氨基酸与可溶性糖逐渐转变为高沸点芳香物质。目前，一些研究者发现，微波加热技术在茶叶加工中的应用日益受到重视。

1.3.2 绿茶的香气成分研究

茶叶香气是衡量茶叶风味的重要指标，不仅是茶叶等级评价的标准，也是消费者追求茶叶品质的参考依据。迄今为止，国内外已报道的茶叶香气成分有 700 余种，绿茶香气成分大约有 300 种。

绿茶香气的主体是芳香物质，一部分来源于鲜叶中的固有香气，约 80 种，但其香味淡且种类少，芳樟醇、香叶醇等醇类物质占 70% 左右；绝大部分香气来源于加工过程中一系列的酶促反应和热化学作用，使风味发生变化从而产生独特的茶香。根据化合物生物合成途径，可以将香气挥发物分为如下六类：

(1) 苯丙素类 (Phenylpropanoids)。

苯丙素类是一类基本母核具有一个或多个苯丙烷 (C_6-C_3) 结构单位的天然有机化合物。按是否成吡喃酮环或聚合，苯丙素类又可以分为简单苯丙素类、香豆素类、木质素类和黄酮类，如茶叶中的苯丙酸衍生物以及香豆素 (Coumarin) 等。

(2) 脂肪酸衍生物 (Fatty acid derivatives)。

脂肪酸衍生物是指一端至少包含一个羧基 ($O-C=O$) 的脂肪酸碳氢链的有机化合物，如茶叶香气中广泛存在己醛 (Hexanal)，己醇 (Hexanol)，茉莉酸甲酯 (Methyljasmonate) 等。

(3) 芳香烃 (Aromatic hydrocarbon)。

芳香烃通常指含有苯环结构的碳氢化合物。这类物质在茶叶中大多表现出苯具有的典型芳香味,如苯甲醇 (Benzylalcohol)、苯甲醛 (Benzaldehyde) 等。

(4) 脱辅基类胡萝卜素 (Apocarotenoids)。

脱辅基类胡萝卜素由植物中类胡萝卜素 (Carotenoids) 通过其氧化酶催化裂解而成,是能影响植物风味和香气的一类重要的天然色素。如在茶叶中表现出木香及紫罗兰香气的 β -紫罗酮 (β -ionone)、具有强烈玫瑰花香且自身呈淡黄色液体状的大马烯酮 (Damascenone)。

(5) 单萜烯 (Monoterpenes)。

单萜烯是以两个异戊二烯单元首尾相接而成的 2, 6-二甲基辛烷为基本结构的化合物,也是挥发油的主要成分,如 α -萜品醇 (α -Terpenol)、芳樟醇 (Linalool)、芳樟醇氧化物 (Linalool oxide) 和香叶醇 (Geraniol)。

(6) 倍半萜 (Sesquiterpenes)。

倍半萜是含有 3 个异戊二烯单元的天然萜类化合物,如倍半萜中的橙花叔醇 (Nerolidol) 以糖苷态储藏在茶树叶片中,是香气物质形成的前体物质。

绿茶的香气在鲜叶经摊放、杀青、揉捻、干燥过程中逐步形成,香气的有效成分在制作过程中也表现各异。根据不同的杀青和干燥过程,可以制成清香型、栗香型、高火香型、焦糖香型绿茶。摊放时间、杀青方式、是否揉捻与干燥温度都将导致绿茶香型的差异。即使研究同一品种的茶,每位研究者也会因为茶树品种、生长环境、气候土壤、栽培措施、采摘季节、提取方法、制茶技术和贮运条件等多因素而使分析结果不尽相同。

邸太妹等发现,直接冷冻干燥比起真空冷冻干燥会使茶鲜叶青草气更明显,烘干茶叶的温度为 80 °C 时青草气大量散失略显清香,110 °C 时茶叶由清香转变为怡人的栗香,130 °C 时茶叶香气呈现出醇厚的高火香。倪德江和程玉琼认为,茶叶仅仅是有无揉捻工序的区别,香气组成差异便很大,如揉捻型绿茶中橙花叔醇和反-2-戊烯醇等物质的含量与未揉捻型相比显著偏高。张凯等研究人员分析川渝地区野生茶树的咖啡碱含量差异时发现,南川 1 号和 2 号咖啡碱含量高于 5%,黄山苦茶中咖啡碱含量低于 0.32%,而一般茶叶中的咖啡碱含量为 2%~4%。谢吉林等研究滇西滇南 39 个茶区中发现,春季茶叶的咖啡碱质量分数最高,秋夏季节茶叶咖啡碱质量分数依次下降。Yamanish 等最先报道了茶叶香气中存在邻苯二甲酸二丁酯,并指出邻苯二甲酸二丁酯本身没有香气,但具有很强的吸附香精油的性能,是茶香持久的主要原因。原利男等认为,新茶特有的香气是顺-3-己烯己酸酯和顺-3-己烯-反-2-己酸酯。还有报道显示,茶叶烘干过程中二甲基硫醚含量急剧上升。二甲

基硫醚是西湖龙井茶的特征香气成分，极度稀释时呈清香味，在新茶中含量较高。

茶叶挥发物质的不同，导致特征风味不同，人们的感官评价也随之不同。Scharbert 等提出，茶多酚和咖啡碱决定茶叶的色、香、味，也是茶汤滋味苦涩的主要因素，其中涩味物质是 EGCG 和黄酮醇苷，苦味物质主要是 EGCG 和咖啡碱。窦宏亮等研究者发现，酯类化合物如棕榈酸甲酯、亚油酸甲酯等，以及棕榈酸会使茶叶香气挥发度较低，表现出香气纯正而带淡淡花香味，在品质上会表现出耐冲泡。邸太妹等发现，茶鲜叶中青草气明显是因为含有新鲜草香的罗勒烯、强烈青草气的乙酸叶醇酯以及显冬青油草药香的水杨酸甲酯。

茶叶杀青后，低沸点的青草气成分散失，茶香显露，高沸点的苯甲醛、 α -柏木烯、 β -紫罗兰酮含量升高。茶叶烘干时，慢慢出现玉簪花香气的苯乙醛、花生香气的月桂酸乙酯两种特征香气成分，其中强烈芳香气味的间二甲苯和特殊冬青芳香气味的的水杨酸异丙酯、香甜味的吡嗪含量升高。宋萌萌等指出，醇类大部分具有花果香味，酮类和脂类表现出木香， β -紫罗兰酮表现出木香及紫罗兰香气，芳樟醇具有铃兰花香，罗汉柏烯有特殊的青木香，茉莉酮有茉莉花香等。

还有一些学者将香气进行了分类，竹尾忠一首次提出萜烯指数 (Terpene index, TI)，用来反映单萜烯醇中芳樟醇和香叶醇的数量与茶树品系特异性关系，以此将茶香气进行分类。其中，萜烯指数按如下公式计算：

$$\text{萜烯指数} = \frac{\text{芳樟醇及其氧化物}}{\text{芳樟醇及其氧化物} + \text{香叶醇}}$$

1.3.3 绿茶加工过程香气的形成机理

近年来，随着茶叶香气物质提取方法、分析技术、酶学、生物化学、植物化学等相关学科与技术的飞速发展，国内外学者关于茶叶香气形成机理的研究都有了较成熟的理论。目前，可以将已提出的茶叶中芳香物质形成途径分为如下四大类：

(1) 糖苷类香气前驱体在糖苷类酶的作用下水解生成相应的萜烯类化合物。

1974 年，Bayonove 等首次提出以糖苷形式存在的键合态单萜烯类化合物。随后 Takeo 和 Williams 等研究发现，单萜烯醇糖苷都是单糖苷和二糖苷，且证明了茶叶香气中主要前体物质为单糖苷 β -葡萄糖苷和双糖苷 β -樱草糖苷。Wang 等和 Kurasawa 等发现，茶叶中存在专一的内源酶，以单萜烯醇、