

云南小粒种咖啡初加工工艺发展现状及趋势*

吴建¹, 蒋快乐², 时玲¹, 陈治华¹, 匡欢¹, 赵英群¹

(1. 云南农业大学机电工程学院, 昆明市, 650100; 2. 云南农业大学热带作物学院, 云南普洱, 665099)

摘要:咖啡初加工是云南小粒种咖啡产业链发展至关重要的环节, 初加工后的咖啡生豆品质直接影响咖啡商品豆的交易价格和前景。咖啡的初加工方法各异, 工艺环节众多, 主要包括青红果分离与分级、脱皮、脱胶、干燥、脱壳等步骤, 所需加工工艺复杂, 每个步骤的加工处理都影响着最终的咖啡品质。为此, 详细介绍各类加工方法适用条件, 阐述国内外咖啡初加工的工艺方法发展现状与对比分析。结合云南当地独特环境展望合适的发展趋势, 提出推进咖啡初加工机械化规模化, 探索微生物脱胶与人工干燥技术的研究应用, 注重节能节水与环保无污染的加工技术设备研发, 健全规范咖啡初加工操作流程和加强咖啡商品豆贮藏运输的发展意见。

关键词:小粒种咖啡; 初加工; 发酵工艺; 干燥技术

中图分类号: S571.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-5553 (2021) 11-0205-09

吴建, 蒋快乐, 时玲, 陈治华, 匡欢, 赵英群. 云南小粒种咖啡初加工工艺发展现状及趋势[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(11): 205-213

Wu Jian, Jiang Kuaile, Shi Ling, Chen Zhihua, Kuang Huan, Zhao Yingqun. Development status and trend of Yunnan Arabica Coffee primary processing [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(11): 205-213

0 引言

云南小粒种咖啡又称阿拉伯种咖啡 (*Arabica Coffee*), 原产于非洲埃塞俄比亚西南部和苏丹东南部高海拔的山区, 属茜草科 (*Rubiaceae*) 咖啡属 (*Coffea*) 植物。无论是产量、消费量还是产值均居世界“三大饮料 (咖啡、茶叶、可可)”之首^[1]。近年来咖啡种植业迅速扩大, 截至 2018 年底, 云南咖啡种植面积为 122 khm², 总产量 139 kt, 占全球总产量近 2%, 云南省咖啡种植面积和产量均占到全国 99% 以上^[2], 是我国最大咖啡豆生产基地, 并逐步形成了集种植、生产、加工于一体的发展格局^[3]。

近年来云南咖啡初加工企业在政府支持下通过产学研联合高校和研究所自主研发了系列加工设备, 制定了相关加工工艺指导, 有力推动了咖啡产业发展。与全球咖啡主产国相比, 云南咖啡产量少竞争力低, 唯有提高咖啡品质, 才能提升云南小粒咖啡优势。

本文依据云南省咖啡初加工产业实际现状, 首先简介了云南小粒咖啡初加工工艺基本流程, 其次详细介绍了小粒种咖啡各类加工方法与适用条件, 然

后阐述国内外咖啡初加工的脱胶与干燥工艺技术发展现状, 最后结合云南当地独特环境对比分析, 展望了云南小粒种咖啡发展趋势, 并提出适宜的发展建议。

1 云南小粒种咖啡初加工工艺及加工方法

1.1 初加工工艺

不同地区、气候、咖啡种类等因素决定的加工方法也不同, 经过不同方法加工后的咖啡豆味道也会呈现不同的风味^[4]。而云南因其独特的气候和地理环境, 形成了独具一格的风味咖啡^[1]。咖啡初加工是影响咖啡品质的核心因素, 咖啡初加工方法各异, 主要工艺流程^[5] (图 1) 所需加工工艺复杂, 每个加工步骤都影响着最终的咖啡品质, 初加工流程如图 1 所示。

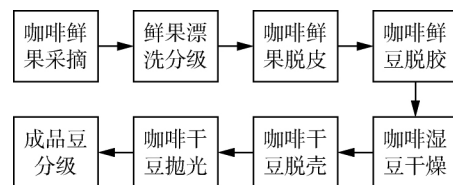


图 1 咖啡初加工流程

Fig. 1 Coffee primary processing process

收稿日期: 2020 年 12 月 1 日 修回日期: 2021 年 1 月 16 日

* 基金项目: 云南省重大科技专项计划项目 (2018ZC001-5); 云南省咖啡产业技术体系协作项目 (2017KJTX009-5)

第一作者: 吴建, 男, 1994 年生, 江苏睢宁人, 硕士研究生; 研究方向为农产品加工技术与设备。E-mail: 1913691683@qq.com

通讯作者: 陈治华, 男, 1965 年生, 云南泸西人, 硕士, 教授, 硕导; 研究方向为热带作物生产加工技术装备。E-mail: 841358535@qq.com

1.2 初加工方法

目前,云南咖啡初加工主要方法有湿法加工、干法加工、半湿法加工与特色加工方法。

1.2.1 湿法加工

云南小粒种咖啡大部分采取湿法加工法生产水洗咖啡。随着咖啡加工机械设备普及应用,规模企业采用机械脱胶生产水洗咖啡豆,而广大咖啡农户和小企业仍采用发酵脱胶的传统湿法加工方式,湿法加工工艺如图 2 所示。



图 2 湿法加工主要工艺

Fig. 2 Main process of wet processing

湿法加工果胶去除彻底,咖啡豆易干燥、光泽好、异物少,有鲜明酸度和一致风味。哥伦比亚、肯尼亚等主产区广泛采用。但设备成本高,精制复杂,需水量大,污染严重,生产成本较高;发酵过程苛刻难以控制,易产生臭味和酸味,晾晒要求高。

1.2.2 干法加工

干法加工即鲜果采摘后不作脱皮脱胶处理,直接晾晒成干果,后机械去除果皮果胶与果壳,在云南干法加工咖啡占比小。为满足高端需求,订单化干法加工精品咖啡增多。干法加工在巴西、埃塞俄比亚、也门等高海拔低纬度日照充足的地区广泛采用。

经干法加工的优质咖啡豆具有柔和的酸味与平和的苦味,受消费者欢迎;但晾晒时间长,费工时,易受天气影响,品质相差大,次品豆和异物多,咖啡豆外观较湿法加工差许多。

1.2.3 半湿法加工

半湿法加工:将咖啡鲜果脱皮或机械脱皮脱胶后不作清洗而直接晾晒干燥的加工方式,此法未作清洗浸泡,残留果胶使咖啡豆进行复杂生物转化,咖啡风味独特。其技术简单、可操作性强、加工需水量少。咖啡豆兼具日晒豆的黏稠度、甜感与水洗豆的干净柔和,咖啡品质口感好。此法既省去发酵操作,又减少水资源消耗与污染。

其加工受多重因素影响,工艺重复性和产品稳定性较差,后期去除果胶和果壳导致机械损伤豆较多;晾晒要求高,难实现可控批量生产。巴西席拉多地区适用此法精制咖啡豆,云南采用此法较少。

1.2.4 特色加工方法

特色加工方法包括猫屎咖啡、蜜处理咖啡等。

猫屎咖啡:通过饲养麝香猫或果子狸喂食咖啡鲜果,收集消化后留存在动物粪便中的咖啡豆晾晒生产的咖啡^[6]。其数量稀少,产量极低,且风味独特,导致

价格不菲。

蜜处理咖啡:咖啡鲜果脱皮后不清洗不脱胶,直接晾晒干燥。其加工需水量小,极大保存咖啡鲜果原始甜美气息,呈现出淡雅的黑糖风味与果香,甜度、酸度均衡。哥斯达黎加、巴拿马和危地马拉等地的咖啡园采用此法。蜜处理法根据日晒时间与果胶量不同而区分为红蜜、黄蜜和黑蜜等 3 种。鲍晓华等^[7-8]报道了咖啡豆的黄蜜处理方法及咖啡豆的红蜜处理方法。此法加工条件苛刻,易受污染和霉害,需全程严密监管,避免不良发酵,无法大规模生产,且要求长期干燥且日照充足的气候环境。特色加工方法如图 3 所示。

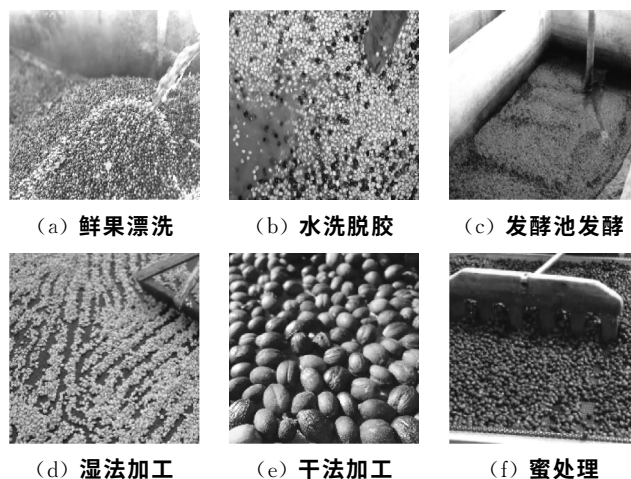


图 3 咖啡初加工

Fig. 3 Coffee primary processing

1.3 初加工方法比较分析

初加工方法种类繁多,各有优劣;不同初加工方式对于咖啡带来不同的影响。Tarzia 等^[9]对经过不同类型加工的咖啡研究表明,加工后的咖啡中提取了更多的多糖;干法、半湿法和湿法加工的咖啡豆中获得的多糖、总糖和蛋白质含量显示出不同的水平。针对云南中高海拔地区的优质咖啡鲜果,不少学者对不同初加工的加工方法也进行了有益的探索。陈云兰等^[10]探索带果胶非浸泡式发酵和浸泡式发酵等 6 种不同初加工工艺对生豆内含物质的影响,表明不同初加工工艺会影响咖啡的内含物质;带果胶非浸泡式发酵加工咖啡豆的风味优于不带果胶浸泡式发酵加工咖啡豆的风味,说明在发酵与干燥环节中果胶对风味丰富度的形成有重要作用。

目前,创新性方法不断涌现,陈化处理法、双重发酵法、湿刨法、红酒处理法、可乐处理法、低咖啡因加工处理法等满足不同消费需求的加工方法,丰富了咖啡风味,促进产业发展。

通过各种初加工方法比较分析(表 1),可以看出湿法加工、干法加工与半湿法加工相较蜜处理与消化

加工法更适合进行规模化工业生产；蜜处理与消化加工法更适于满足高端消费者的小众精品咖啡。云南小粒咖啡正处在标准化规模化发展的阶段，因地理气候环境，更适合普遍湿法加工与部分干法加工为主，以特色加工为辅的加工产业结构；针对加工劣势，应对加工工艺进行重点改进优化。

表 1 不同初加工方法比较
Tab. 1 Comparison of different primary processing methods

加工方法	加工特点	适用地区	优点	缺点
湿法加工	脱皮脱胶发酵	云南、哥伦比亚、肯尼亚、哥斯达黎加、危地马拉、墨西哥和夏威夷等地	品质较高，光泽好、混入异物少，有较鲜明的酸度和一致的风味	精制复杂，成本较高；需水量大，污染严重；发酵要求严格；晾晒对日照要求高
干法加工	不作脱皮脱胶处理	巴西、埃塞俄比亚、也门等海拔、低纬度、日照充足环境适宜的地区	优质咖啡豆具有柔和的酸味与平和的苦味，在消费者中广受欢迎	晾晒时间长，易受天气影响；品质相差大，次品豆和异物混入较多；咖啡豆外观品质较差
半湿法加工	机械脱皮脱胶后不作清洗	巴西的席拉多地区采用此法精制咖啡豆	口感好，风味独特，品质稳定；技术简单、可操作性强、加工需水量少	工艺重复性和产品稳定性差，机械损伤豆多；晾晒时对日照要求高，难可控的批量生产
消化处理法	利用动物消化道中不同消化酶、酸和发酵物	各咖啡产地均有加工	风味独特，价格高	数量稀少，产量极低
蜜处理	脱皮后不脱胶也不清洗	哥斯达黎加、巴拿马和危地马拉等长期干燥且日照充足的地区	加工需水量小，保存咖啡原始甜美气息，呈现淡雅的黑糖风味与果香，甜度、酸度均衡	加工条件苛刻，易受污染和霉害，需全程严密监管以避免产生不良的发酵

2 云南小粒种咖啡脱胶及干燥工艺研究进展

2.1 小粒种咖啡脱胶工艺

咖啡豆在脱皮之后还有一层粘液状的果胶物质，包含这种果胶物质是由果胶质、原果胶质、酶和糖组成的^[11]。咖啡脱胶主要有自然发酵脱胶、机械脱胶、化学脱胶、物理脱胶、酶促脱胶^[12]等，咖啡鲜果结构如图 4 所示。

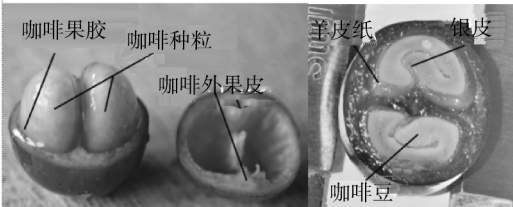


图 4 咖啡鲜果结构
Fig. 4 Coffee cherry structure

传统的脱胶工艺主要是将脱皮后的咖啡湿豆放入发酵池中，加入少量清水浸泡自然发酵使果胶质水解，再清水清洗；或不发酵直接浸泡清洗。云南主要采用自然发酵脱胶方法，在用手抓起咖啡豆揉搓时带有粗糙感，不再粘滑就表明发酵已经完成^[13]。但过程中温度和发酵时间甚至于发酵的菌株无法控制^[14]，依赖经验，咖啡豆色泽差，次品率高，咖啡品质难控制；此法耗时耗水，水污染严重，加工质量损失较大^[5]。随着规模

化生产需要，通过引进与自主研发脱胶设备并普遍应用，极大提高了脱胶效率；但机械脱胶损伤较大，设备成本较高，耗水量较大。

化学脱胶主要利用石灰、NaOH 等碱液处理或酸液处理。它较自然发酵时间短，成本低，但酸碱破坏咖啡的风味成分，水污染严重。

物理脱胶是将咖啡鲜果脱皮后清洗，并不断摩擦咖啡豆去除果胶，此法使用水洗机清洗脱胶。但脱胶不彻底，脱胶后咖啡豆易二次发酵污染，影响咖啡豆品质和后期储存^[15]。

酶法脱胶是在咖啡果胶过程中添加酶制剂，利用酶的高效专一性，提升脱胶效率，减少脱胶废水排放。酶法脱胶和普遍采用的机械脱胶相比，不需较大设备投入，成本低、工艺操作简单，适合农户分散的集中加工种植区及小加工厂推广使用^[16]。

微生物脱胶是使咖啡在发酵过程中降解果胶，降解过程中包含三种重要的酶物质，分别是果胶裂解酶、聚半乳糖醛酸酶和果胶甲基酯酶。果胶裂解酶通过反式消除催化果胶降解，释放不饱和半乳糖醛酸^[17]；聚半乳糖醛酸酶是参与咖啡发酵主要酶，它催化 $\alpha-1,4$ 糖苷键水解为果胶酸^[18]；果胶甲基酯酶负责果胶甲氧基的脱酯作用，形成果胶酸和甲醇^[19]。

酶促脱胶优势明显，黄家雄等^[20]在生产中应用果

胶酶,较传统脱胶方式增收明显,杯品质量达标。程金焕等^[21]利用咖啡果胶酶脱皮脱胶对比研究,发现果胶酶软化果皮,加速果胶分解,提升果皮和果胶脱净率。陈云兰等^[22]在咖啡湿法发酵中加果胶酶脱胶,并进行理化与感官分析,较自然发酵脱胶,果胶酶脱胶时间更短,且咖啡豆内含物质无显著差异。生物酶与传统发酵脱胶废液中污染物检测数据表明生物酶脱胶可降低耗水量与污水量,提高水质,减轻环境污染^[23]。

发酵脱胶可创造丰富感官特征,但不良微生物发酵也会降低咖啡品质。在天然咖啡发酵过程中发现的各种菌群中,可以选择一些作为菌种培养物^[24]。针对自然发酵相关微生物种群的数量与多样性,Silva 等^[25]对巴西南米纳斯地区 15 个农场的咖啡加工评估表明:咖啡发酵的特征在于细菌、真菌和酵母微生物的不同。Pereira 等^[26]通过分子方法鉴定了总共 144 种自然发酵咖啡豆的酵母分离株,评价了 9 种耐压力酵母菌株产生芳香族化合物的能力及果胶分解活性。Silva 等^[27]评估咖啡发酵分离物的果胶酶活性与代谢产物,在 127 株酵母菌和 189 种细菌中优选 15 种,为深入发酵剂测试奠定基础。

选择对发酵中的咖啡风味和香气有积极影响的微生物非常关键,应控制发酵过程实现积极影响。Neto 等^[28]评估在受控酵母生物反应器模型中进行的发酵,通过高性能液相色谱和气相色谱法对发酵咖啡豆化学成分与杯品感官分析,发现咖啡质量较传统工艺有显著提高。Tri 等^[29]开发了一种精选乳杆菌生产咖啡豆的发酵剂,对咖啡豆发酵过程进行良好控制,可均一的

生产高杯品质量咖啡。李金平等^[30]通过太阳能控温进行干湿厌氧发酵对比试验,发现太阳能控温下干/湿厌氧发酵启动情况,升温速率,温度波动性,发酵罐热负荷和典型天气均可进行良好发酵,值得咖啡可控发酵借鉴。

猫屎咖啡等利用动物消化道中不同消化酶、酸和发酵物生产具有独特风味与香气的消化加工法咖啡令人瞩目,Haile 等^[31]比较象粪咖啡与其他加工法咖啡的抗氧化活性与挥发性化合物成分差异,为理解加工方法与发酵工艺对咖啡中抗氧化活性和挥发性化合物的影响提供了基础。佟世生等^[32]发现酶解偶联发酵咖啡鲜果可得到与麝香猫咖啡风味相同的咖啡豆,为人工生产麝香猫咖啡豆提供了新思路。弘子姍等^[33]利用云南小粒种咖啡干豆复水酶解体外模拟麝香猫发酵咖啡,为益生菌发酵咖啡的创新加工与批量化生产提供理论依据。

微生物发酵对咖啡地域风味的塑造优势突出,针对微生物群落的发酵机制、微生物发酵剂选择、微生物可控发酵的研究前景广阔,提高果胶分解活性减少发酵时间,改善过程控制,提高感官质量和安全性在未来仍需要更多的研究。

以环保、成本、品质为标准,从表 2 可直观发现机械脱胶与微生物脱胶更适宜规模化咖啡加工,微生物发酵脱胶对加工高品质咖啡优势明显。但仍需改进:机械脱胶设备成本较高,咖啡豆机械损伤与耗水量较大,咖啡风味有所欠缺;微生物发酵环境要求高,易被外界微生物污染,过程控制难度大。

表 2 不同脱胶工艺比较

Tab. 2 Comparison of different degumming methods

脱胶工艺	脱胶原理	优点	缺点
传统脱胶	自然发酵/直接水洗脱胶	操作简单,适应性广	发酵不可控,品质不可控;耗水量大,水污染严重
机械脱胶	利用脱胶机机械脱胶	省时省力,效率高,适宜大批量工厂化加工。	设备成本较高;机械损伤较大;耗水量仍较大
物理脱胶	清水池中搅拌咖啡豆互相摩擦	脱胶方便	脱胶不彻底,易发生二次发酵
化学脱胶	利用碱液处理,或酸液处理	时间较自然发酵短,所需成本低	酸碱中和破坏咖啡的风味成分,水污染较大
微生物脱胶	利用选定的真菌、细菌、酵母发酵	高效专一,效率高,废水排放少;成本低、工艺简单、操作简便。	加工环境要求高,易受环境影响;不同微生物加工品质各异

2.2 小粒种咖啡干燥工艺

咖啡鲜果初始水分含量在 55%~60%,糖分含量高,采后易发酵腐败,干燥处理利于贮藏运输。当前,咖啡干燥主要是自然晾晒,设备要求与能耗低,应用最广泛;但需建造大量晒场,干燥时间长,人力成本与劳动强度高,天气和人为影响大,干燥质量难保障。随着

咖啡初加工规模化,人工干燥技术得到极大发展与应用。

热风干燥在诸如红枣^[34]、鸡腿菇^[35]等农产品干燥处理中广泛应用。机械热风穿透干燥利用热风干燥设备与人工热源对咖啡豆进行干燥,通过可控热风调控干燥时间、温度,在干燥池或滚筒中干燥^[36]。机械热

风干燥在巴西、哥伦比亚等国广泛使用,极大提高了咖啡干燥效率。杨静园等^[37]研究了咖啡豆热风干燥动力学模型和挥发性成分变化规律。董文江等^[38]对比日晒干燥,研究热泵干燥对生咖啡豆活性物质和挥发性成分的影响和变化规律。云南农业大学研发的 6BG—4000 自动装卸料背压式热风穿透干燥咖啡设备^[39]在云南咖啡干燥中得到了推广应用。但干燥设备价格较高、闲置时间长、能源消耗较大,未普遍推广;机械热风干燥对咖啡豆物理外观损伤较大,且受地理环境海拔气压等影响,不同区域加工品质差异大。

干燥新趋势是保留特征风味的微波干燥^[40],微波真空干燥生产效率高,受外界干扰少,可极大地保留咖啡的原始风味特征。Dong 等^[41]研究微波真空干燥对生咖啡豆的干燥特性和品质属性影响,为干燥咖啡技术的改进、风味化合物形成机理和质量控制提供参考。程可等^[42]通过微波真空干燥技术对咖啡豆风味成分的影响研究发现不同组合功率干燥可以缩短单一功率干燥时间,对咖啡豆色泽与营养物质保护较好。但微波真空干燥设备昂贵,干燥过程耗能高,真空泵使用寿命有限,极大限制了此种干燥的推广,未来急需研发廉价、节能、耐用的新型设备;对高品质咖啡的干燥有优势,建议对特殊加工法精品咖啡采用微波真空干燥。

微波—热空气喷射床组合干燥方法是一种新颖的干燥替代方法。与单一干燥方法相比,它可缩短干燥时间并改善干燥品质,避免微波干燥过度加热导致内部开裂和内部燃烧的缺陷,解决了耗时、营养成分严重损失等问题。Jindarat 等^[43]比较了微波—热空气喷射床干燥与热空气喷射床干燥在能耗上产生的品质差异。在实际应用中微波联合热风干燥技术具有加热不均匀的缺点^[44],且联合干燥也带来了工艺参数调控难度增加和技术选择适用性等问题^[45]。微波联合其他干燥技术可较好克服单一干燥技术产生的缺陷,具有广阔应用前景。现今,联合干燥研究侧重于工艺层面,理论研究缺乏,对物料的干燥工艺参数、联合干燥先后顺序及干燥转换点的确定缺乏深入研究。

在各类干燥技术的应用中,干燥的能源成本与环境污染问题始终受到重点关注,对太阳能的利用可有效解决这类问题。Suzihaque 等^[46]基于冷凝的热回收,设计测试了干燥咖啡豆的太阳能热回收干燥机并建立了干燥机的数学模型。Siagian 等^[47]对用于干燥咖啡豆的太阳能干燥箱中的流体流量和速度分布进行了数值研究。Deeto 等^[48]研究太阳能温室干燥机对薄层咖啡豆的除湿和热能的储存,以便在没有阳光的情况下使用。Manrique 等^[49]开发干燥咖啡豆的混合太

阳能—生物质系统并与常规系统进行了比较,将咖啡豆的水分含量降低到 12%,降低了 80% 运营成本。这些均证明了太阳能集热装置可供应足够温度的热空气用于咖啡干燥,但太阳能利用具有时限性,通过与其他干燥方式联合干燥,对于云南这类光热资源充足的地区,应用前景广阔。

针对不同干燥技术对不同地域咖啡干燥的风味、理化生理特性比较研究十分必要。Malta 等^[50]验证加工和干燥方法,对咖啡感官质量存在影响,且干燥的影响更显著;无论哪种加工形式,经过缓慢干燥的咖啡有更好的感官品质与生理品质。Oliveira 等^[51]利用日晒干燥与 3 种不同交替温度条件下热风干燥咖啡,发现日晒干燥咖啡感官与理化生理特性更好;干燥最后阶段,温度升高对咖啡品质有严重负面影响。Alves 等^[52]研究发现:干法比湿法处理咖啡对机械热风干燥更敏感,且生理性能差;干燥速度与干燥温度正相关,对咖啡感官品质有负面影响。Coradi 等^[53]发现无论哪种加工类型,电导率、钾浸出、可滴定酸度和油脂酸度都随干燥温度升高而增加;干燥温度升高对还原糖、总糖和感官品质有负面影响。胡荣锁等^[54]通过电子感官技术对 3 种干燥方式加工的烘焙咖啡进行判别,热风干燥对咖啡风味造成显著差异,半热风半自然干燥与自然干燥风味差异小,杯品相当。在咖啡干燥机械化中,温度的提高和机械化操作提升了生产效率和加工规模,但对咖啡加工品质也产生负面影响。干燥效率与干燥品质两者如何平衡与共同提升,在变温干燥、模拟日晒干燥等方面的探索仍需深入研究。

咖啡化学成分在干燥中的变化影响着咖啡品质,对建立更精确客观的咖啡理化评价体系至关重要。针对不同干燥法对生咖啡豆中酚类化合物、抗氧化成分研究,Cheng 等^[55]对比 4 种不同干燥方法研究发现:微波真空干燥是适合保存酚类化合物和咖啡生豆生物活性的干燥技术。Hu 等^[56]通过扫描电子显微镜,核磁共振和感官分析阐明不同烘焙程度的咖啡豆物理形态变化,表明主要咖啡成分含量可用于预测杯品。董文江等^[57]利用 HS-SPME/GC-MS 法对云南生咖啡豆挥发性成分萃取分析咖啡豆中挥发性成分含量及组成,为咖啡产地追溯与风味提升提供理论。针对干燥方法对咖啡蛋白质组学影响,Do Livramento 等^[58]研究表明影响咖啡质量的加工处理与蛋白质丰度变化有关,蛋白质组学分析可鉴定不同加工过程咖啡的生理变化。Kulapichitr 等^[59]评估了热泵、托盘和日晒干燥对咖啡质量的影响,干燥不影响咖啡因含量但影响某些氨基酸的含量。

通过各种咖啡豆干燥技术的比较(表 3),可看出

热风机械干燥更加适合进行规模化咖啡初加工干燥,微波真空更加适宜进行小批量高品质精品咖啡干燥。同时,联合干燥技术最具优势,于海明等^[60]研究发现微波联合热风干燥方式对松茸储存品质有良好的影

响;微波热风干燥咖啡未来亟待进行深入的机理研究,以提升干燥品质;开发太阳能—热风干燥技术设备,可提升现有热风干燥设备使用优势,提高咖啡初加工竞争力。

表 3 各种咖啡豆干燥技术比较分析

Tab. 3 Comparative analysis of various coffee beans drying technology

干燥方式	干燥原理	咖啡品质影响	技术优势	技术劣势
自然晾晒	利用太阳光热露天晾晒	日晒豆风味丰富,较水洗豆甜度更高,口感更醇厚	设备与能源消耗低,缓慢干燥的咖啡有更好感官品质与生理品质	需大量晒场,干燥时间长,人力成本与劳动强度高,天气和人为影响大,品质难保障
热风机械干燥	热泵等人工热源加热空气借助机械设备干燥	品质均一,咖啡干燥不良率低,不良特征少	干燥效率高,可控热风调控干燥时间、温度	干燥设备价格较高、闲置时间长、能源消耗较大,对咖啡豆物理损伤较大
微波真空干燥	利用微波从物料内部加热	保留特征风味,咖啡豆色泽与营养物质保护较好	干燥时间短,效率高,受外界干扰少,微波加热水分扩散均一	微波干燥过度致内部开裂和燃烧,微波真空设备昂贵,耗能高和真空泵使用寿命有限
微波热风联合干燥	将微波与热风同时应用到干燥过程中	营养成分保存良好并大大改善干燥品质	缩短干燥时间,克服了单一干燥技术的缺陷	工艺参数调控难度增加和技术选择适用性问题,设备较贵
太阳能干燥	利用太阳光热转化能量	咖啡豆干燥品质良好	节能环保,降低干燥能源成本,无污染,充分利用高原光热优势	太阳能利用具有时限性;受天气变化影响大;太阳能集热设备需额外采购

3 云南小粒种咖啡初加工发展趋势

云南小粒种咖啡初加工产业通过对国外先进初加工技术的学习借鉴和自主创新,正在由粗放型发展模式升级转型为注重效益质量与环保的技术型精细发展模式,以此展望云南小粒种咖啡初加工产业的发展趋势。

1) 咖啡初加工仍需继续推进机械化、规模化、自动化。山地环境限制了鲜果采后运输加工,应继续推进有效覆盖范围的片区化加工厂建设,对咖啡鲜果及时加工,保证鲜果品质。优化漂洗分级机械、脱皮机、脱胶机、发酵池与干燥技术设备之间的组合配套与自动化,高效的自动化生产线可减少不同环节的转运和在某一阶段加工量冗余积压所带来的负面影响。规模化、机械化加工方式对于提高咖啡初加工效率作用显著。

2) 研究具有独特地域风味的高品质咖啡加工工艺。针对云南省干热河谷、高原、高山的咖啡种植地所产的咖啡鲜果,通过自主筛选本地微生物发酵群落和果胶酶研究发酵脱胶机制,探索优化更丰富更高效的发酵脱胶工艺方法。研究不同干燥过程,尤其是联合干燥技术中的干燥机理和理化反应,精细化干燥过程不同含水率阶段的温度、时间与品质控制,充分利用不同干燥方式的优势生产高品质咖啡。微生物脱胶与人

工干燥技术研究应用可从整体上提高云南小粒种咖啡的感官品质。

3) 节能、节水、环保无污染的加工技术研究与加工设备研发。无水/微水脱皮脱胶技术的研究应用前景广阔;可控发酵技术及发酵反应装置的研发,可有效降低发酵的水、空气污染和促进发酵废物环保处理。符合不同干燥方式咖啡干燥机理的自动化智能化干燥设备及联合干燥技术的应用研究,可有效降低能源成本、减轻环境污染;同时应积极采用热管^[61]等余热回收技术,降低能耗。符合食品安全标准的加工工厂建设可保证食品安全无污染,改善加工环境,防止外界微生物污染。

4) 建立健全咖啡初加工工艺操作流程与评价标准。当前云南许多咖啡初加工工厂在咖啡发酵与干燥方面缺乏明晰的指导标准,精细严格的操作规程与加工标准,可以准确指导初加工各环节操作,提高各环节咖啡初加工品质,减轻外界环境与人为因素的不良影响。

5) 加强咖啡商品豆的贮藏运输监控。咖啡商品豆的贮藏运输值得关注,必须控制湿气和昆虫等质量危害;气密存储是抑制水分和气体在环境与存储的农作物之间转移并因此保持质量的可行选择^[62]。合理的贮藏手段与运输包装,可保证加工后品质,在淡季销售可获得高价格。

参 考 文 献

- [1] 毕晓菲, 胡发广, 陈雷, 等. 中国云南与巴西咖啡初级加工现状比较及存在问题探讨[J]. 农产品加工(学刊), 2014(6): 68—70.
- [2] 蒋快乐, 陈治华, 强磊, 等. 6PL—4000 自动耙料设备在咖啡加工中的应用研究[J]. 中国热带农业, 2019(4): 35—39.
Jiang Kuaile, Chen Zhihua, Qiang Lei, et al. Research and application of 6PL—4000 automatic rake equipment in coffee processing [J]. China Tropical Agriculture, 2019(4): 35—39.
- [3] 郭容琦, 罗心平, 李国鹏, 等. 云南小粒咖啡产业发展现状分析[J]. 广东农业科学, 2009(3): 211—214.
- [4] 胡发广, 毕晓菲, 黄家雄, 等. 小粒咖啡初加工方法概述[J]. 农产品加工, 2017(6): 66—68, 70.
- [5] 罗映山, 黄家雄, 陈德新, 等. 精品咖啡及其生产技术初探[A]. 中国科学技术协会, 云南省人民政府. 第十六届中国科协年会——分 17 精品咖啡豆认证与公平交易及庄园标准化国际论坛论文集[C]. 中国科学技术协会, 云南省人民政府: 中国科学技术协会学会学术部, 2014: 6.
- [6] 肖兵, 匡钰, 李维锐. 云南小粒种咖啡初加工工艺技术改进与创新[J]. 中国热带农业, 2018(6): 14—16, 19.
- [7] 鲍晓华, 成文章, 董维多, 等. 咖啡豆的黄蜜处理方法[P]. 中国专利: CN201610940670.0, 2016—10—25.
- [8] 鲍晓华, 董维多, 成文章, 等. 咖啡豆的红蜜处理方法[P]. 中国专利: CN201610940429.8, 2016—10—25.
- [9] Tarzia A, Scholz M, Petkowicz C. Influence of the postharvest processing method on polysaccharides and coffee beverages [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2010, 45(10): 2167—2175.
- [10] 陈云兰, 陈治华, 蒋快乐, 等. 不同初加工工艺对云南阿拉比卡咖啡品质的影响[J]. 现代食品科技, 2019, 35(2): 155—162, 198.
- [11] 徐侃, 郭芬, 吴坚, 等. 咖啡湿法加工过程中影响品质的因素[J]. 中国农业信息, 2014(3): 153—154.
- [12] 黄家雄, 吕玉兰, 周志伟, 等. 咖啡酶促脱胶技术试验初报[J]. 中国热带农业, 2016(5): 62—65.
- [13] 文志华, 毕晓菲. 试论咖啡鲜果的加工方法[J]. 食品安全导刊, 2017(30): 117.
- [14] 武瑞瑞, 李贵平, 王雪松, 等. 咖啡湿法加工过程中影响品质的因素分析[J]. 热带农业工程, 2012, 36(5): 1—3.
- [15] 李晓娇, 杨鸾芳. 小粒咖啡脱胶技术研究进展[J]. 中国农业信息, 2014(11): 104.
- [16] 匡钰, 肖兵, 张洪波, 等. 云南咖啡初加工废弃物利用及排放情况调查[J]. 中国热带农业, 2018(5): 31—36.
- [17] Cantarel B L, Coutinho P M, Corinne R, et al. The Carbohydrate-Active EnZymes database (CAZy): An expert resource for Glycogenomics [J]. Nucleic acids research, 2008, 37: 233—238.
- [18] Kashyap D R, Vohra P K, Chopra S, et al. Applications of pectinases in the commercial sector: A review [J]. Bioresource Technology, 2001, 77(3): 215—227.
- [19] Pedrolli D B, Monteiro A C, Gomes E, et al. Pectin and pectinases: Production, characterization and industrial application of microbial pectinolytic enzymes [J]. Open Biotechnology Journal, 2009, 3(1): 9—18.
- [20] 黄家雄, 吕玉兰, 周志伟, 等. 咖啡酶促脱胶技术试验初报[J]. 中国热带农业, 2016(5): 62—65.
- [21] 程金焕, 何红艳, 李慧敏, 等. 酶促发酵在咖啡初加工过程中的应用研究[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(6): 83—84, 90.
Cheng Jinhuan, He Hongyan, Li Huimin, et al. Application of enzymosis on the pretreating process of coffee [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2016, 44(6): 83—84, 90.
- [22] 陈云兰, 李学玲, 蒋快乐, 等. 咖啡湿法发酵中使用果胶酶对脱胶时间与杯品质的影响[J]. 热带作物学报, 2020, 41(2): 371—377.
Chen Yunlan, Li Xueling, Jiang Kuaile, et al. Effects of pectinase on pectin removing time and cup quality in wet fermentation of coffee [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2020, 41(2): 371—377.
- [23] 陈云兰, 莫丽珍, 陈小龙, 等. 咖啡湿法加工中生物酶制剂脱胶污水指标测定[J]. 热带农业科学, 2019, 39(5): 81—84, 98.
- [24] Haile M, Kang W H. The role of microbes in coffee fermentation and their impact on coffee quality [J]. Journal of Food Quality, 2019(12).
- [25] Silva C F, Schwan R F, Dias E S, et al. Microbial diversity during maturation and natural processing of coffee cherries of Coffea arabica in Brazil [J]. International Journal of Food Microbiology, 2000, 60(2—3): 251—260.
- [26] Pereira G V D M, Soccol V T, Pandey A, et al. Isolation, selection and evaluation of yeasts for use in fermentation of coffee beans by the wet process [J]. International Journal of Food Microbiology, 2014, 188(10): 60—66.
- [27] Silva C F, Vilela D M, Cordeiro C S, et al. Evaluation of a potential starter culture for enhance quality of coffee fermentation [J]. World Journal of Microbiology and Biotechnology (Formerly MIRCEN Journal of Applied Microbiology and Biotechnology), 2013, 29(2): 235—247.
- [28] Neto D P D C, Pereira G V D M, Finco A M O, et al. Microbiological, physicochemical and sensory studies of coffee beans fermentation conducted in a yeast bioreactor model [J]. Food Biotechnology, 2020, 34(2): 172—192.
- [29] Tri Panji, Priyono, Suharyanto, et al. “CIRAGI”—The microbial fermentation starter for developing excellent coffee flavor [J]. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2018, 183.
- [30] 李金平, 轩坤阳, 龚纾源, 等. 太阳能控温的干湿厌氧发酵对比试验研究[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(11):

- 124—130.
- Li Jinping, Xuan Kunyang, Gong Shuyuan, et al. Contrast experimental study on dry and wet anaerobic fermentation controlled by solar energy [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2020, 41(11): 124—130.
- [31] Haile M, Bae H M, Kang W H. Comparison of the antioxidant activities and volatile compounds of coffee beans obtained using digestive bio-processing (Elephant Dung Coffee) and commonly known processing methods [J]. *Antioxidants*, 2020, 9(5).
- [32] 佟世生, 王丽, 靳静言, 等. 酶解偶联发酵体外模拟麝香猫咖啡的电子舌相关性分析[J]. *食品工业科技*, 2015, 36(22): 133—136, 142.
- [33] 弘子姍, 谭超, 杨宁. 体外模拟发酵对咖啡理化性质及品质的影响[J]. *食品与发酵工业*, 2021, 47(4): 54—59.
- Hong Zishan, Tan Chao, Yang Ning. Effects of in vitro digestion on the physicochemical property and quality of Arabica coffee [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2021, 47(4): 54—59.
- [34] 王龙, 胡灿, 李传峰, 等. 红枣热风干燥过程及收缩特性的试验研究[J]. *中国农机化学报*, 2020, 41(1): 79—82.
- Wang Long, Hu Can, Li Chuanfeng, et al. Experimental study on the drying process and shrinkage characteristics of jujube [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2020, 41(1): 79—82.
- [35] 李国鹏, 谢焕雄, 王嘉麟, 等. 鸡腿菇热风干燥特性及数学模型研究[J]. *中国农机化学报*, 2019, 40(1): 61—67.
- Li Guopeng, Xie Huanxiong, Wang Jialin, et al. Mathematical modeling on hot air drying of *Coprinus comatus* [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2019, 40(1): 61—67.
- [36] 陈治华, 林兴文, 罗映山, 等. 机械热风干燥技术在云南咖啡初加工中的应用[J]. *中国热带农业*, 2014(2): 60—61.
- [37] 杨静园, 董文江, 陆敏泉, 等. 咖啡豆的热风干燥特性及其干燥过程中风味成分变化规律研究[J]. *热带作物学报*, 2016, 37(5): 971—978.
- [38] 董文江, 杨静园, 陆敏泉, 等. 热泵干燥对生咖啡豆活性物质和挥发性成分的影响研究[J]. *现代食品科技*, 2016, 32(4): 141—149, 135.
- [39] 陈治华, 蒋快乐, 罗映山, 等. 6BG—4000 自动装卸料背压式热风穿透干燥咖啡豆设备的应用[J]. *中国热带农业*, 2016(4): 41—43.
- [40] Ghosh P, Venkatachalapathy N. Processing and drying of coffee—A review [J]. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 2014.
- [41] Dong Wenjiang, Cheng Ke, Hu Rongsuo, et al. Effect of microwave vacuum drying on the drying characteristics, color, microstructure, and antioxidant activity of green coffee beans [J]. *Molecules*, 2018, 23(5): 1146.
- [42] 程可, 董文江, 胡荣锁, 等. 微波真空干燥对咖啡豆风味成分的影响研究[J]. *热带作物学报*, 2018, 39(2): 380—391.
- Cheng Ke, Dong Wenjiang, Hu Rongsuo, et al. Effect microwave vacuum drying on flavor components of coffee beans [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2018, 39(2): 380—391.
- [43] Jindarat W, Sungsoontorn S, Rattanadecho P. Analysis of energy consumption in a combined microwave-hot air spouted bed drying of biomaterial: Coffee beans [J]. *Experimental Heat Transfer*, 2015, 28(1—6): 107—124.
- [44] 张鹏, 颜碧, 李江阔, 等. 果蔬微波联合干燥技术研究进展[J]. *包装工程*, 2019, 40(19): 16—23.
- [45] 孙东宇, 郑志安, 李博睿, 等. 杭白菊干燥技术及干燥品质研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(15): 295—300.
- Sun Dongyu, Zheng Zhi'an, Li Borui, et al. Research progress on drying technology and drying quality of *Chrysanthemum morifolium* [J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(15): 295—300.
- [46] Suzihaque M U H, Driscoll R. Effects of solar radiation, buoyancy of air flow and optimization study of coffee drying in a heat recovery dryer [J]. *Procedia Engineering*, 2016, 148: 812—822.
- [47] Siagian P, Napitupulu F H, Setyawan E Y, et al. Analysis of temperature and velocity distributions in a solar drying box coffee beans [J]. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 2018, 420.
- [48] Deeto S, Thepa S, Monyakul V, et al. The experimental new hybrid solar dryer and hot water storage system of thin layer coffee bean dehumidification [J]. *Renewable Energy*, 2017, 115.
- [49] Manrique R, Vázquez D, Chejne F, et al. Energy analysis of a proposed hybrid solar-biomass coffee bean drying system [J]. *Energy*, 2020, 202.
- [50] Malta M R, Rosa S D V F D, Lima P M D, et al. Changes in quality of coffee submitted to different forms of processing and drying [J]. *Engenharia Na Agricultura*, 2013.
- [51] Oliveira P D, Borém F M, Isquierdo E P, et al. Physiological aspects of coffee beans, processed and dried through different methods, associated with sensory quality [J]. *Coffee Science*, 2013, 8(2): 211—220.
- [52] Alves G E, Borém F M, Isquierdo E P, et al. Physiological and sensorial quality of Arabica coffee subjected to different temperatures and drying airflows [J]. *Acta Scientiarum Agronomy*, 2017, 39(2): 225.
- [53] Coradi P C, Saath R, Reinato C H, et al. Adjustment of mathematical models and the quality of drying the pulped coffee at different air conditions [J]. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, 2019, 9(1): 38—48.
- [54] 胡荣锁, 陆敏泉, 吴桂苹, 等. 基于电子舌的焙炒咖啡不同干燥模式判别[J]. *食品工业科技*, 2014, 35(1): 304—306, 317.
- [55] Cheng Ke, Dong Wenjiang, Long Yuzhou, et al. Evaluation of the impact of different drying methods on

- the phenolic compounds, antioxidant activity, and in vitro digestion of green coffee beans [J]. Food Science & Nutrition, 2019, 7(3).
- [56] Hu Guilin, Peng Xingrong, Gao Ya, et al. Effect of roasting degree of coffee beans on sensory evaluation: Research from the perspective of major chemical ingredients [J]. Food Chemistry, 2020, 331(14): 127329.
- [57] 董文江, 胡荣锁, 宗迎, 等. 利用 HS-SPME/GC-MS 法对云南主产区生咖啡豆中挥发性成分萃取与分析研究[J]. 农学学报, 2018, 8(9): 71—79.
- Dong Wenjiang, Hu Rongsuo, Zong Ying, et al. Application of HS-SPME/GC-MS in volatile components analysis of green coffee beans from major production areas in Yunnan Province [J]. Journal of Agriculture, 2018, 8(9): 71—79.
- [58] Do Livramento K G, Borem F M, Jose A C, et al. Proteomic analysis of coffee grains exposed to different drying process [J]. Food Chemistry, 2017, 221(2): 1874—1882.
- [59] Kulapichitr F, Borompichaichartkul C, Suppavorasatit I, et al. Impact of drying process on chemical composition and key aroma components of Arabica coffee [J]. Food Chemistry, 2019, 291(S1): 49—58.
- [60] 于海明, 金中波, 张雪峰, 等. 微波联合热风干燥方式对松茸干燥品质影响研究[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(1): 72—78, 88.
- Yu Haiming, Jin Zhongbo, Zhang Xuefeng, et al. Research of the effect of microwave combined with hot air drying method on drying quality of tricholoma matsutake [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2020, 41(1): 72—78, 88.
- [61] 李晓燕, 强秋秋, 樊博玮, 等. 热管—热泵和红外—热泵联合干燥技术在农产品加工中的应用[J]. 食品与机械, 2019, 35(9): 222—225, 232.
- Li Xiaoyan, Qiang Qiuqiu, Fan Bowei, et al. Application of heat pipe-heat pump and infrared-heat pump in agricultural product processing [J]. Food & Machinery, 2019, 35(9): 222—225, 232.
- [62] Donovan N K, Foster K A, Salinas A P. Quality management and the economics of green coffee hermetic storage [J]. International Journal of Food and Agricultural Economics, 2020, 8.

Development status and trend of Yunnan Arabica Coffee primary processing

Wu Jian¹, Jiang Kuaile², Shi Ling¹, Chen Zhihua¹, Kuang Huan¹, Zhao Yingqun¹

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Yunnan Agricultural University, Kunming, 650100, China;

2. School of Tropical Crops, Yunnan Agricultural University, Puer, 665099, China)

Abstract: The primary processing of coffee is a crucial part of the development of the Yunnan Arabica Coffee industry chain. The quality of green coffee beans after primary processing directly affects the transaction price and sales prospects of commercial coffee beans. Coffee has different initial processing methods and numerous technological links, including separating and classifying green and red coffee cherries, peeling, degumming, drying, and shelling. The required processing technology is complicated, and the processing of each step affects the final coffee quality. To this end, the applicable conditions of various processing methods are introduced in detail. The development status of domestic and foreign coffee primary processing methods and comparative analysis are described. Combining with the unique local environment in Yunnan and looking forward to appropriate development trends, it is proposed to promote the mechanization of coffee primary processing on a large scale, explore the research and application of microbial degumming and artificial drying technology, pay attention to the research and development of energy-saving, water-saving, environmentally friendly and pollution-free processing technology and equipment. In addition, it is also necessary to improve the standardization of coffee primary processing operational procedures and strengthen the storage and transportation of coffee beans.

Keywords: Arabica Coffee; primary processing; fermentation technology; drying technology