

一种综合咖啡智能拼配方法研究

A Research of Intelligent Method for Evolving Blends of Coffee

郭广颂¹ 陈良骥²

GUO Guang-song¹ CHEN Liang-ji²

(1. 郑州航空工业管理学院机电工程学院, 河南 郑州 450046; 2. 天津工业大学机械工程学院, 天津 300387)

(1. School of Mechatronics Engineering, Zhengzhou University of Aeronautics, Zhengzhou, Henan 450046, China;

2. School of Mechanical Engineering Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300387, China)

摘要:为了提高综合咖啡拼配质量与效率,研究了一种基于交互式遗传算法(IGA)的咖啡智能拼配方法。该方法将拼配方案作为样本个体,采用改进的自适应交叉和变异概率,交互界面提供 10 项评价指标用于个体适应值。研究由 5 位用户参与优化,结果显示该方法界面友好、操作简便,可以在 4~5 代内获得一致性满意解,且各组分比例差异均小于 5%,适应值均超过 85。以传统杯测拼配法为参照试验,结果表明,采用 IGA 优化方法超过传统拼配方案水平。基于 IGA 在进化优化中的成功应用,为咖啡拼配提供了一种智能化新思路。

关键词:遗传算法;咖啡拼配;交互;设计;杯测

Abstract: In order to improve the quality and efficiency of coffee blend, a method based on interactive genetic algorithm (IGA) for it was studied. The blending solutions were used as individuals, with the improved adaptive crossover and mutation probability, and the interactive interface provides 10 indexes for individual fitness, and then five users participated the optimization. The results showed that the method was easy to operate, a consistent satisfactory solution could be obtained within 4~5 generations, with the difference of component ratio less than 5% and the fitness more than 85. Compared with the traditional cup testing, the results showed that the IGA optimization method was superior to the traditional one. Based on the successful application in evolutionary optimization of IGA, this research provided a new intelligent way for coffee blends.

Keywords: Genetic Algorithm(GA); coffee blends; interactive; design; cup testing

咖啡拼配是相对单品咖啡而言的^[1]。拼配咖啡是指将不同品种、不同产地或不同烘焙度的咖啡豆按照某种需要组

合在一起,也称综合咖啡或混合咖啡。咖啡拼配的目的一般有 4 个^[2]:① 降低成本,为追求某种风味而用一些价格较低的咖啡豆,调配出与某种价格较高的咖啡豆近似的风味;② 平衡口感,为将咖啡豆最显著的风味特点放大,需要通过拼配来平衡各种味道;③ 稳定风味,作为农作物,即使是同种同产区的咖啡豆,其风味每年也会有差异,所以将几种咖啡豆混合可以使每年的风味基本保持一致;④ 特有的风味,对于饮用任何一种单品咖啡都不能满足用户的口味,或者有些商家为了拥有属于自己独特风味的咖啡豆,都会将几种咖啡豆进行拼配。拼配咖啡一般不采取等比例拼配,因为这样咖啡豆可能会互相抑制特有的风味,所以拼配时各组分需要按一定比例混合才能拼配出更美妙的味道。拼配咖啡不仅需要咖啡师的经验和灵感,更要通过一定的科学计算才能完成,所以咖啡拼配是一门艺术性和技术性很强的工作^[3]。

目前,对传统食品研究采用智能化方法是一种发展趋势。作为主要智能优化算法的遗传算法已经应用于食品品质预测^[4]、食品发酵^[5-8]、食品生产线设计^[9]、食品机械参数优化^[10-11]等领域。咖啡拼配方案设计主要受咖啡豆烘焙、混合比例、产地等因素约束,拼配方案的确定强烈依赖感官评价,是典型的混合性能指标评价问题。20 世纪 80 年代在传统遗传算法的基础上提出的交互式遗传算法是一种可以将人的主观活动引入进化过程中的进化优化算法。因为交互式遗传算法的个体适应值由人评价,所以可以将感官评价融入进化,再利用遗传策略对隐式性能指标或混合性能指标进行优化。目前咖啡拼配设计还没有应用交互式遗传算法的先例。基于上述情况,本试验拟设计一种基于改进交互式遗传算法的咖啡智能拼配进化优化系统,旨在大幅缩短咖啡拼配设计周期,实现简单,且适用于非专业或半专业人员拼配咖啡。

1 材料与方法

1.1 材料

巴西咖啡豆:波旁种,自然干燥式 200 g,巴西 Cafe Bom

基金项目:国家自然科学基金面上项目(编号:51275485);河南省科技攻关项目(编号:172102210513)

作者简介:郭广颂(1978—),男,郑州航空工业管理学院副教授,硕士。E-mail:guogs78@126.com

收稿日期:2017-01-09

Dia Ltda 公司；

摩卡咖啡豆:埃塞俄比亚种,水洗式 200 g,意大利 Seg-afredo Zanetti S.p.A 公司；

蓝山咖啡豆:牙买加种,水洗式 200 g,牙买加 Roasted Mans 公司；

曼特宁咖啡豆:苏门答腊种,苏门答腊式 200 g,意大利 Kimbo S.P.A 公司。

选用的样品咖啡豆必须是烘焙后 24 h 以内并且至少放置 8 h。烘焙应该在 8~12 min 内完成,不能出现明显的黑头或焦糊豆。样品豆烘焙好后应该迅速用冷风冷却(不能用水冷却)。当样品豆冷却到室温时(75 ℉或 20 ℃),应该将其放入密封盒或密封袋保存至杯评时,以减少与空气的接触并防止污染。

1.2 仪器与设备

咖啡烘焙机: R300C 型,北京 SANTOKER 公司；

自动咖啡机: ESAM 6900.M 型,邑隆贸易(上海)有限公司；

电动磨豆机: M-520A 型,台湾正晃行公司；

电子天平: WT100 型,杭州万特衡器有限公司。

1.3 咖啡智能拼配方法

1.3.1 染色体编码 综合咖啡有甜、咸、酸、苦 4 种基础味道,其中除咸味由调配工艺决定外,其余 3 种风味均由咖啡豆决定。拼配咖啡时一般采用 3~4 种咖啡豆,如果咖啡豆种类多于 6 种会使咖啡的香味无法辨认,所以本试验选用苦味(巴西)、酸味(摩卡)、甜味(蓝山)和醇味(曼特宁)4 种新咖啡豆为原料拼配综合咖啡。由于咖啡豆的烘焙程度对口味有较大影响,所以每种咖啡豆设置一致烘焙(中度)和双重烘焙(中深度)两种烘焙度。

基于上述咖啡拼配原则,本试验将咖啡拼配样本设置成“苦味”“酸味”“甜味”“醇味”四部分,每部分由 7 位二进制编码组成,其中第 1 位代表烘焙程度,0 代表一致烘焙,1 代表双重烘焙,其余 6 位表示该咖啡豆的拼配比例(按重量计,范围 0%~63%)。本试验算法的染色体是对咖啡拼配样本的编码,即整条染色体是一个 28 位的二进制编码串,如染色体 1011110001010000101000011110 代表的拼配比例是“巴西(双重烘焙)30%、摩卡 20%、蓝山 20%、曼特宁 30%”,这是一种浓味型综合咖啡的拼配方案。

1.3.2 咖啡杯测方法 对于综合咖啡的评价,参考美国特种咖啡协会(Specialty Coffee Association of America,SCAA)专业咖啡杯测体系^[12]。即按干香/湿香、风味、余韵、酸、醇厚度、一致性、平衡感、干净度、甜和总评 10 个小项进行评价。每个小项满分为 10 分,以 6 分为起评分,共分为 4 个级别,其中 6 分为“好”;7 分为“非常好”;8 分为“优秀”;9 分以上为“超凡”。每个级别又分 4 个给分等级,给分单位是 0.25 分,所以 4 个等级共 16 个给分点。每杯咖啡的最终得分为上述 10 个小项得分相加,满分为 100 分。

进行杯测时,准备好咖啡豆并在杯测开始前现磨,磨好的咖啡粉到浸水之前的放置时间不能超过 15 min;热开水冲泡用水水温应在 90~93 ℃;清洗汤勺用水:为不影响咖啡

液的温度,清洗汤勺用水用 1/3 室温开水和 2/3 热开水混合。进行干香/湿香评价热水应直接浇注到咖啡粉上并达到杯子的边缘,确保所有咖啡粉都被浸湿。样本咖啡粉的克数以杯子大小为基准,适宜的比率是每 8.25 g 的咖啡粉用 150 mL 水,咖啡量调节误差控制在 0.25 g 以内。为防止咖啡味道散失,每次杯测应在 4 min 内完成。

1.3.3 系统交互式界面与操作 本系统采用 Visual Basic 6.0 实现。首先,本系统将综合咖啡口味风格划分为“苦味型”“酸味型”“大众型”“甜味型”“浓味型”五类,样本空间依据于这五类风格相应划分为 5 个搜索区域,系统则根据用户对咖啡风格需求在相关样本区域内确定初始化种群,这既可以缩小搜索空间又可以满足用户需求,用户需求交互界面见图 1;然后系统进入图 2 所示交互优化界面,用户首先点击“初始化”按钮选取初始拼配方案,咖啡智能拼配系统的每一进化代提供 6 种拼配方案(个体),即种群规模 $N=6$ 。对于咖啡豆的烘焙程度,用“+”表示双重烘焙,否则默认为一致烘焙。为便于用户拼配,系统同时给出每种拼配方案的咖啡豆混合比例。用户根据各拼配方案冲调咖啡,并做出评价。结合咖啡杯测方法,拼配方案的评价设置干湿香等 10 项指标,各项评价指标以 0.25 分为计分单位,总分合计 100 分,用户通过拖拽滑动条对指标进行赋值。用户评价结束后,点击“下一代”按钮,系统完成遗传操作,生成进化后的新一代拼配方案,供用户继续选择。最后,当各拼配方案的巴西咖啡豆比

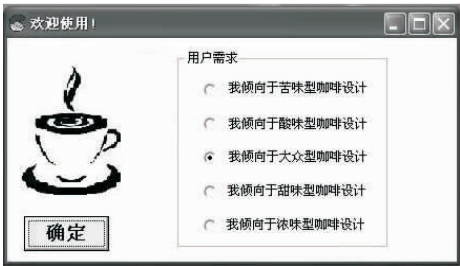


图 1 用户需求界面

Figure 1 Interface of user requirement



图 2 系统交互界面

Figure 2 Interface of human-computer interaction

例均方差小于 5%、其他咖啡豆比例均方差小于 3%时,可以认为优选方案收敛,从 6 种优选方案中选择数目占最多的方案作为最佳拼配方案,点击“结束”按钮输出该方案。此外,交互界面还提供“进化代数”等辅助信息。

1.3.4 自适应遗传算子 由于采用固定的交叉和变异概率会使算法搜索性能下降,为了提高优化质量,采取自适应遗传操作^[13-14],即第 t 代进化种群 $x(t)$ 中的第 i 个进化个体为 $x_i(t)$,其适应值为 $f[x_i(t)]$, $x_i(t) \in x(t)$, $i = 1, 2, \dots, N$, N 为种群规模。则第 t 代的个体交叉概率 $p_c(t)$ 设计为:

$$p_c(t) = \frac{1}{1 + \exp(k_1 \cdot \frac{f_{\max} - f^*}{f_{\max} - f_{\text{avg}}})} \cdot (1 - \frac{t}{T}), \quad (1)$$

式中:
 t ——种群进化代数;
 $f_{\max}$ ——种群最大适应值;
 f_{avg} ——种群平均适应值;
 f^* ——参与交叉的两个个体中较大的适应值;
 T ——最大进化代数;
 k_1 ——常数。

相似地,第 t 代的个体变异概率 $p_m(t)$ 设计为:

$$p_m(t) = \frac{1}{1 + \exp(k_2 \cdot \frac{f_{\max} - f}{f_{\max} - f_{\text{avg}}})} \cdot (1 - \frac{t}{T}), \quad (2)$$

式中:
 f ——待变异个体适应值;
 k_2 ——常数。

2 结果与分析

2.1 系统优化试验

为了验证系统的有效性,采用固定优化解对照测试,即选择 1.3.1 节“巴西(双重烘焙)30%、摩卡 20%、蓝山 20%、曼特宁 30%(染色体 1011110001010000101000011110)”拼配方案为优化目标方案,记为方案 O。为了体现评价的客观性,评审员在测试过程中始终不知道目标方案 O 的具体参数。测试分为采用系统优化方法(项目 A)和传统拼配方法(项目 B)2 个项目进行:

项目 A:从某咖啡培训机构选择 5 位咖啡师作为评审员,首先按方案 O 冲煮咖啡供评审员品尝,确定优化方案,然后采用本系统进行拼配方案优化。系统参数设置:轮赌法选择个体、 $k_1 = 9$, $k_2 = 10$, $T = 10$ 。图 3 显示了 5 位用户的平均适应值变化情况,可以看到各用户的适应值均随进化代数增加而增加,算法收敛时适应值均大于 85,而且 5 位评审员只需 4~5 代进化即可获得满意的拼配方案。图 4 给出了各拼配方案中咖啡组分的进化优化箱型图,可以看出各组分 的比例分布与目标方案基本一致。5 位咖啡师最终获得的最佳拼配方案分别记为 A1、A2、A3、A4 和 A5,具体见表 1。从拼配比例看,与目标方案 O 相比,5 位评审员优化出的拼配方案基本一致。另外,各方案对烘焙程度的结论也一致,即巴西咖啡豆是双重烘焙,其余咖啡豆为一致烘焙。这表明

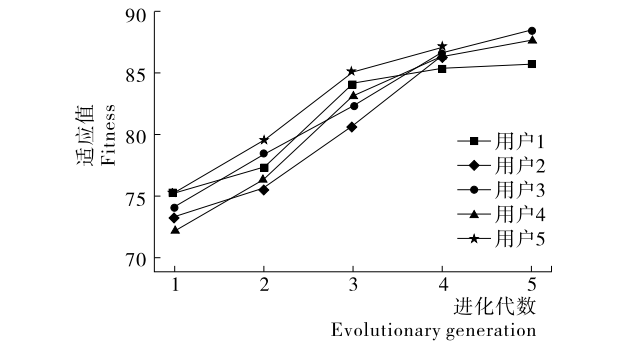


图 3 平均适应值曲线

Figure 3 Curve of average fitness

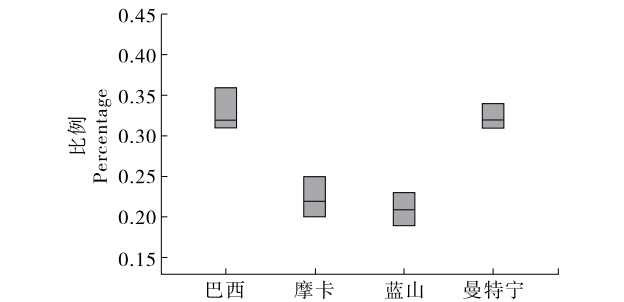


图 4 咖啡组分拼配箱型图

Figure 4 Box figure of coffee blend components

表 1 项目 A 咖啡拼配方案

Table 1 Coffee blended solution of project A

方案	进化代数	染色体	拼配比例/%
A1	5	11000100010	巴西(双重烘焙):34,摩卡:
		11100101110011001	23,蓝山:18,曼特宁:25
A2	4	10111100011	巴西(双重烘焙):30,摩卡:
		001001011110010110	25,蓝山:23,曼特宁:22
A3	5	11000000010	巴西(双重烘焙):32,摩卡:
		11100101100010111	23,蓝山:22,曼特宁:23
A4	5	10111100010	巴西(双重烘焙):30,摩卡:
		11100101110011000	23,蓝山:23,曼特宁:24
A5	4	10111100010	巴西(双重烘焙):30,摩卡:23,
		11100101100011001	蓝山:22,曼特宁:25

采用本文方法对于不同用户,可以获得一致性的优化解,具有明显的优化普适性。

项目 B:项目 A 测试结束 1 周后,进行项目 B 测试。项目 B 采用传统杯测法确定拼配方案,仍由参与项目 A 的 5 人做为评审员。为了体现杯测的一致性,首先为 5 位评审员提供等比例组合拼配样本,然后各评审员根据目标方案 O 进行样本成分调整,确定拼配方案。项目 B 中,5 位评审员获得的最佳拼配方案分别记为 B1、B2、B3、B4 和 B5,具体见表 2。与项目 A 结果相同,5 位评审员对咖啡豆的烘焙程度结论一致。

2.2 验证分析

为了更客观辨别评价结果,从某咖啡培训机构另外选择 5 名咖啡师,对目标方案 O 及项目 A 和项目 B 获得的拼配方

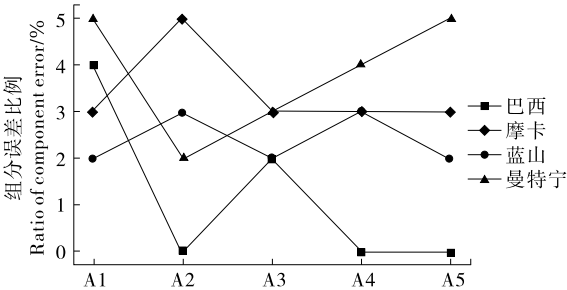
表 2 项目 B 咖啡拼配方案

Table 2 Coffee blended solution of project B

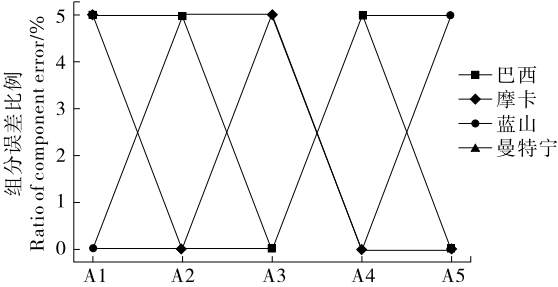
方案	拼配比例/%
B1	巴西(双重烘焙):35,摩卡:20
	蓝山:20,曼特宁:25
B2	巴西(双重烘焙):35,摩卡:20
	蓝山:25,曼特宁:20
B3	巴西(双重烘焙):30,摩卡:20
	蓝山:25,曼特宁:25
B4	巴西(双重烘焙):35,摩卡:25
	蓝山:20,曼特宁:20
B5	巴西(双重烘焙):30,摩卡:25
	蓝山:25,曼特宁:20

案进行对比测试。为了避免受心理因素干扰,对比测试采用盲评机制,即 5 位评审员分别对 A1、A2、A3、A4、A5 和 B1、B2、B3、B4、B5 两组拼配方案进行打分评价,但评价过程中评审员并不知道两种方案参数与背景。结果显示两组方案评分基本一致,说明采用本文方法进行咖啡拼配是可行的。

最后,统计两种方案相对于目标方案 O 的组分误差比例,结果见图 5。由图 5(a)可知,项目 A 各方案的组分误差比例均小于 5%;由图 5(b)可知,项目 B 各方案的组分误差比例最大为 5%,这虽然体现了手工拼配的特点(咖啡师习惯以 5%比例调整拼配比例),但误差比例整体则比项目 A 大。相比之下,本方法可以获得更精确的拼配比例。



(a) 项目A方案组分误差比例



(b) 项目B方案组分误差比例

图 5 方案组分误差比例

Figure 5 Ratio of component error

满意方案的适应值均大于 85,达到精品咖啡标准。与传统杯测法拼配咖啡对比试验,采用改进的交互式进化优化方法整体上达到专业杯测拼配水平。

从方法的操作性考察,交互式进化优化方法用于咖啡拼配对于专业用户可以提供更多的设计灵感,对于半专业和非专业用户则操作界面友好简便、优化效果优异。本研究有助于提高咖啡拼配质量,提升方法优化效率,继续探寻交互式遗传算法的工程应用是进一步研究的问题。

参考文献

[1] 伊记. 咖啡鉴赏[M]. 北京: 新世界出版社, 2014: 195-203.

[2] 郭光玲. 咖啡师手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008: 29-34.

[3] 张粤华. 咖啡调制[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2013: 2-9.

[4] 李冬冬, 贾柳君, 张海红, 等. 基于介电泳技术结合遗传算法的草莓品质预测[J]. 食品工业科技, 2016, 37(11): 141-146.

[5] 谈亚丽, 李啸, 邹嫚, 等. 基于 BP 神经网络和遗传算法的面包酵母高密度发酵培养基优化[J]. 工业微生物, 2013, 43(1): 64-68.

[6] 朱晓媛, 胡铁, 黎继烈, 等. 基于遗传算法的纤维素酶分批发酵动力学研究[J]. 中国食品学报, 2014, 14(1): 47-51.

[7] 沙如意, 楼坚, 蔡成岗, 等. 基于遗传算法优化 BP 神经网络的丙酮丁醇梭菌发酵预测模型研究[J]. 发酵科技通讯, 2016, 45(1): 23-26.

[8] 徐利, 周丽伟, 郭文强, 等. 基于支持向量机-遗传算法灰树花发酵模型的建立及优化[J]. 食品科学, 2016, 37(11): 143-146.

[9] 张良安, 马寅东, 单家正, 等. 基于遗传算法和 Petri 网络的机器人装配生产线平衡方法[J]. 食品与机械, 2012, 28(2): 79-82.

[10] 王小勇, 李兵, 曾晨, 等. 基于遗传算法的茶叶理条机参数优化设计[J]. 茶叶科学, 2016, 36(4): 440-444.

[11] 张国平. 食品机械平面四杆机构的遗传算法优化设计[J]. 食品与机械, 2010, 26(3): 117-119.

[12] 崛口俊英. 咖啡完全掌握手册[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2014: 62-76.

[13] GONG Dun-wei, CHEN Jian, SUN Xiao-yan, et al. Evaluating individuals in interactive genetic algorithms using variational granularity[J]. Soft Computing, 2015, 19(3): 621-635.

[14] GONG Dun-wei, JI Xin-fang, SUN Jing, et al. Interactive evolutionary algorithms with decision-maker's preferences for solving interval multi-objective optimization problems[J]. Neurocomputing, 2014, 137(4): 241-251.

3 结论

采用改进的交互式遗传算法进行咖啡拼配方案优化,在 4~5 个进化代内对不同用户可以获得一致性的满意解,且