

# 模糊数学方法应用于麦麸香茶研制

周利茗, 罗松明, 张志清\*

(四川农业大学食品学院, 四川 雅安 625014)

**摘要:** 采用均匀试验设计原理, 结合方差分析和模糊数学综合分析法, 对纤维素酶酶解制备麦麸香茶的加工工艺进行优化, 结果表明: 纤维素酶添加量0.2%、水与麦麸质量比为10:1、焙烤温度为180℃、焙烤时间为15min为最优工艺条件, 该条件下制备的麦麸香茶经开水冲泡后, 麦香味醇厚浓郁、茶汤呈亮黄色、口感清爽甘甜, 与同类产品比较, 麦麸香茶对DPPH自由基清除率为71.3%, 具有较高抗氧化活性。

**关键词:** 麦麸茶; 纤维素酶; 均匀试验; 模糊综合分析

## Application of Fuzzy Comprehensive Evaluation in Development of Wheat Bran Tea

ZHOU Li-ming, LUO Song-ming, ZHANG Zhi-qing\*

(College of Food Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, China)

**Abstract:** Uniform design in combination with analysis of variance and fuzzy mathematics analysis was used to optimize the cellulase-catalyzed hydrolysis and subsequent roasting of wheat bran for the development of wheat bran tea. The optimal process conditions were determined as 0.2%, 10:1, 180 °C and 15 min for enzyme dosage, water/wheat bran ratio, roasting temperature and time, respectively. Infusion of the resulting product possessed a strong and mellow wheat aroma, a bright yellow color and a sweet and refreshing taste. Its DPPH free radical scavenging rate was 71.3%, which indicates higher antioxidant activity compared with commercial tea products.

**Key words:** wheat bran tea; cellulase; uniform design; fuzzy comprehensive evaluation

中图分类号: TS219

文献标志码: A

文章编号: 1002-6630(2013)17-0061-04

doi:10.7506/spkx1002-6630-201317014

麦麸是小麦制粉过程中的主要副产物, 我国麦麸年产量可达2000万t以上<sup>[1]</sup>。研究发现, 麦麸中含有大量的膳食纤维、蛋白质、脂肪、维生素等营养元素, 还含有多种具有抗氧化、抗肿瘤的生理活性物质, 如黄酮类化合物、阿魏酸、植酸以及阿拉伯木聚糖等<sup>[2]</sup>。随着研究的深入, 麦麸被越来越广泛的应用于食品行业, 相关产品主要有麦麸膳食纤维饼干、麦麸香肠、麦麸膳食纤维火腿肠、麦麸纤维花生饮料等<sup>[3-6]</sup>。目前, 关于麦麸产品开发主要是围绕麦麸膳食纤维展开, 产品形式较为单一。有研究表明, 纤维素酶制备的麦麸膳食纤维具有较高品质, 且纤维素酶酶解有助于提高烟叶的香气质量<sup>[7-9]</sup>。王文侠等<sup>[10]</sup>研究发现, 纤维素酶在pH5.0、温度50℃、加酶量2%、料水比1:18(m/V)条件下酶解2h, 豆渣膳食纤维的品质得到提高。肖诗明等<sup>[11]</sup>通过实验发现, 焙烤温度和时间对苦荞茶产品的色泽和风味影响最大, 将温度控制在120~170℃, 时间在20~40min范围内可得到较优品质的产品。除此之外, 麦麸经焙烤后会散发出一种特殊的

麦香味, 该香味清新自然, 广受大众喜爱。由此, 本研究利用纤维素酶酶解, 经焙烤后将麦麸制备成为一种具有特殊麦香味的麦麸香茶, 为麦麸的开发利用提供一个新的方向。

均匀设计是基于试验点在整个试验范围内均匀散布, 从均匀性角度出发的一种设计方法, 特别适用于多因素、多水平的试验, 其试验次数比正交试验明显减少, 可省去繁琐的单因素试验, 但其属于非正交设计, 所以它无法估计出方差分析模型中的主效应和交互效应<sup>[12]</sup>。结合本研究属于工艺参数探讨的特点, 因此本研究采用均匀试验设计原理, 以DPPH自由基清除率和感官评价结果为指标, 通过方差分析和模糊数学综合评价法确定出纤维素酶酶解制备麦麸香茶的最优工艺条件, 并同市售茶类进行DPPH自由基清除率比较, 判定麦麸香茶的抗氧化能力, 以期探讨出一套操作简单, 成本低廉, 能制备具有较高抗氧化特性的麦麸茶加工工艺。

收稿日期: 2012-05-18

基金项目: 四川省教育厅重点项目(09ZA081)

作者简介: 周利茗(1987—), 女, 硕士研究生, 研究方向为功能性食品。E-mail: zhouliming\_24@126.com

\*通信作者: 张志清(1976—), 男, 副教授, 博士, 研究方向为粮油副产物开发利用。E-mail: zqzhang721@163.com

## 1 材料与方法

### 1.1 材料、试剂与仪器

麦麸 市售;立顿红茶 联合利华中国有限公司;铁观音 安溪四进茶叶有限公司;竹叶青 峨眉山市青青茶园茶叶有限公司;大麦茶 厦门尚客茶叶有限公司;苦荞茶 西昌三匠苦荞开发有限公司。

柠檬酸(食用级,使用前配制成2.5g/100mL水溶液)成都市科龙化工试剂厂;纤维素酶(酶活力 $\geq 400$ U/mg)上海楷洋生物技术有限公司;反式阿魏酸(纯度 $>99\%$ )德国Sigma-Aldrich公司;芦丁(纯度为99.9%) 成都Must公司;甲醇为色谱纯;1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(DPPH)、无水乙醇、冰乙酸、氢氧化钠等均为分析纯。

XYF-2E远红外线食品烤箱 广州红菱电热设备有限公司;Shimadzu高效液相色谱仪(SPD-10A VP紫外-可见检测器、LC-6A高压泵、CTO-10AS VP柱温箱(含7725i型手动进样器)) 日本岛津公司;浙大智达N2000工作站浙大智能研究所;Sartorius CP225D型电子天平 德国Sartorius公司;DHG-9031型电热恒温干燥箱 成都特思特仪器有限公司;Thermo BR4i型冷冻离心机 美国Thermo公司;UV-3100PC紫外-可见分光光度计 上海美谱达仪器有限公司;HS6150D型超声仪 恒奥科技有限公司;Millipore Milli-Q型纯水仪 美国Millipore公司;RE-2000型旋转蒸发器 上海亚荣生化有限公司。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 工艺流程

清洗→纤维素酶酶解→焙烤→冷却→装袋→包装

清洗:将麦麸倒入水中清洗,除去麦麸中的杂质及附着在麦麸上的淀粉,直至水不再浑浊。纤维素酶酶解:添加相应量的纤维素酶和饮用水,然后利用柠檬酸溶液调节pH5.0,在60℃条件下酶解2h<sup>[10]</sup>。焙烤:将酶解后的麦麸和酶解液一起倒入烤盘中,在220℃条件下将水分烤干后,按设定温度和时间进行焙烤。冷却、装袋:将焙烤后的麦麸取出,待自然冷却到室温后,以每包3.5g的添加量装入5cm×5cm的食用滤纸袋中。

#### 1.2.2 均匀试验设计

由于目前尚未见纤维素酶法应用于茶类生产的相关研究,故本研究采用纤维素酶法在膳食纤维制备方面的研究成果结合苦荞茶生产的相关基础<sup>[10-11]</sup>,确定纤维素酶用量( $X_1$ )、水与麦麸的比例( $X_2$ )、焙烤温度( $X_3$ )、焙烤时间( $X_4$ )。通过预实验探索,结合其他学者研究结果,设计实验方案。本研究采用 $U_9(9^6)$ 均匀设计表进行均匀试验,测定每组产品的DPPH自由基清除率,每组平行测定3次,数据采用SPSS18.0软件进行方差分析。同时对每组产品进行感官评价,采用模糊数学综合分析法对感官评价结

果进行分析。结合两种分析方法的结果,确定出麦麸香茶的最优工艺参数。

#### 1.2.3 DPPH自由基清除率测定

参考文献[13]的方法,略作改动,测定9组茶包的DPPH自由基清除能力。具体步骤:取1g麦麸茶,加入50mL饮用水,于80℃水浴条件下保温30min,过滤取滤液待测。配制0.2mmol/L的DPPH溶液待用,取相应液体于15mL具塞玻璃管中(样品组: DPPH溶液4mL、待测液2mL;对照组:待测液2mL、95%乙醇4mL;模型组: DPPH溶液4mL、超纯水2mL),在28℃水浴条件下,静置30min,然后在517nm条件下测定,每组样品平行测定3次,记录吸光度。每组样品均要进行对照组和模型组的测定,最终清除率按下式进行计算。

$$\text{清除率}/\% = \left(1 - \frac{A_{\text{样品组}} - A_{\text{对照组}}}{A_{\text{模型组}}}\right) \times 100$$

#### 1.2.4 感官模糊综合评定

参考文献[14-16]方法对所制得的麦麸香茶进行感官评价,确定最佳工艺参数。麦麸香茶质量由冲泡性、色泽、风味3个因素构成,根据消费者对食品的评价习惯,一般采用好、中、差的定性评价体系。故本研究采用食品感官检验中的3点语言标度法来建立评价集, $V=(V_1, V_2, V_3)$ ,其中: $V_1$ 为好, $V_2$ 为中, $V_3$ 为差。采用环比法确定各质量因素的权重,分别为冲泡性(0.25)、色泽(0.25)、风味(0.50),即 $A=(0.25, 0.25, 0.50)$ 。感官评价小组由20名食品相关专业人员组成,在专门的实验环境中对每种样品按质量特性逐一进行单因素评价,对结果汇总,采用模糊综合评价方法进行分析。感官评价标准如表1所示。

模糊综合评价数学模型的选取:设食品感官因素综合评判的结果向量为 $Y$ ,它由感官因素向量 $A$ 和评价矩阵 $R$ 合成,即 $Y=A \times R$ 。

$$Y = (y_1 y_2 \dots y_n) = (x_1 x_2 \dots x_n) \times \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{nm} \end{pmatrix}$$

本研究选用 $M(\cdot, +)$ 模糊数学合成算子,其中 $Y=(x_1 \cdot r_{1i}) + (x_2 \cdot r_{2i}) + \dots + (x_n \cdot r_{ni})(i=1, 2, 3, \dots, m)$ 。

建立模糊矩阵:根据对各个实验样品的不同指标的得票结果,得到如 $R_j$ 的模糊矩阵。

$$R_j = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & r_{i3} \end{pmatrix}$$

其中 $j=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$ 为样品编号,每一行代表一个评价因素的评价结果。依据模糊数学变换原理 $Y=A \times R$ ,

则对第 $j$ 号样品的综合评价结果 $Y_j=A \times R_j$ , 并根据加权平均原则对结果进行赋值( $V_1=3; V_2=2; V_3=1$ )排序, 确定麦麸香茶的品质。

表1 麦麸香茶感官评价标准

Table 1 Criteria for sensory evaluation of wheat bran tea		
指标	评价标准	
冲泡性 (0.25)	好(21~25分)	茶包能快速散发出香味和色泽
	中(16~20分)	茶包冲泡性一般, 5~10min左右出色和出香
	差(0~15分)	茶包冲泡性差, 长时间浸泡出色和出香效果都较差
色泽 (0.25)	好(21~25分)	汤色清澈且呈亮黄色或棕黄色
	中(16~20分)	汤色清澈, 呈浅黄色
	差(0~15分)	汤色有很淡, 接近无色
风味 (0.50)	好(41~50分)	气味正常, 有明显麦香味, 口味甘甜, 醇厚
	中(31~40分)	气味正常, 麦香味较淡, 口味较淡, 略带苦味
	差(0~30分)	有明显焦糊味, 无麦香味, 口味淡, 苦涩味重

### 1.2.5 同市售相关产品的DPPH自由基清除率比较

以DPPH自由基清除率为判定指标, 将麦麸香茶与市售立顿红茶、铁观音、竹叶青、大麦茶和苦荞茶进行比较。通过DPPH自由基清除率大小的比较, 判定该产品抗氧化能力的强弱。

## 2 结果与分析

### 2.1 均匀试验确定最优工艺条件

表2 均匀设计试验方案表及试验结果

Table 2 Uniform design matrix and corresponding experimental results					
试验号	$X_1/\%$	$X_2$	$X_3/^\circ\text{C}$	$X_4/\text{min}$	DPPH自由基清除率/%
1	1(0)	2(4:1)	4(160)	7(25)	38.1
2	2(0)	4(6:1)	8(200)	5(20)	45.4
3	3(0.2)	6(8:1)	3(160)	3(15)	55.3
4	4(0.2)	8(10:1)	7(180)	1(15)	57.4
5	5(0.4)	1(4:1)	2(140)	8(25)	49.9
6	6(0.4)	3(6:1)	6(180)	6(20)	66.9
7	7(0.4)	5(8:1)	1(140)	4(20)	49.4
8	8(0.6)	7(8:1)	5(180)	2(15)	56.7
9	9(0.6)	9(10:1)	9(200)	9(25)	74.8

均匀设计试验方案表及试验结果如表2所示。采用SPSS18.0软件的逐步分析方法, 对均匀实验结果DPPH自由基清除率进行线性回归分析。其回归方程 $R^2=0.509$ , 说明4个因素与DPPH自由基清除率之间的线性关系不显著。 $X_1$ 、 $X_2$ 、 $X_3$ 、 $X_4$ 的 $P$ 值分别为0.031、0.174、0.075、0.772, 由此可知, 仅纤维素酶添加量对DPPH自由基清除率存在显著的影响, 其余3个因素对DPPH自由基清除率影响均不显著。

### 2.2 麦麸香茶质量模糊综合评价

根据麦麸香茶感官评定标准, 由品评人员对9组产品进行感官评定, 统计出每组产品好、中、差的相应人数, 分别除以20得出评定结果见表3。

表3 感官评价结果

Table 3 Results of sensory evaluation								
试验号	冲泡性(0.25)			色泽(0.25)			风味(0.50)	
	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_1$	$V_2$
1	0.80	0.20	0.00	0.20	0.80	0.00	0.25	0.50
2	0.35	0.30	0.35	0.90	0.10	0.00	0.35	0.20
3	0.35	0.50	0.15	0.05	0.60	0.35	0.00	0.60
4	0.80	0.20	0.00	0.65	0.35	0.00	0.25	0.70
5	0.45	0.35	0.20	0.15	0.60	0.25	0.65	0.35
6	0.40	0.45	0.15	0.80	0.20	0.00	0.20	0.45
7	0.55	0.35	0.10	0.05	0.25	0.70	0.45	0.55
8	0.60	0.30	0.10	0.20	0.45	0.35	0.55	0.40
9	0.15	0.50	0.35	0.80	0.20	0.00	0.00	0.25

由表3可知, 各组样品所得的赞成票比率, 可知各组样品模糊矩阵 $R_j(j=1,2,3,4,5,6,7,8,9)$ , 依据模糊数学变换原理 $Y=A \times R$ , 则对第 $j$ 号样品的综合评价结果 $Y_j=A \times R_j$ 。如对第1号麦麸香茶得到综合评价结果为:

$$Y_1=A \times R_1=(0.25 \ 0.25 \ 0.50) \times \begin{pmatrix} 0.80 & 0.20 & 0.00 \\ 0.20 & 0.80 & 0.00 \\ 0.25 & 0.25 & 0.25 \end{pmatrix}=(0.375 \ 0.5 \ 0.125)$$

计算出9组样品的综合评价结果后, 根据加权平均原则对结果进行赋值( $V_1=3, V_2=2, V_3=1$ )排序, 具体排序结果见表4。

表4 样品综合排序结果

Table 4 Nine samples from uniform design ranked by sensory score

样品号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
排序号	4	6	8	1	2	5	6	3	8

由表4可知, 4号样品为感官品质最优的一组, 且第4号样品的DPPH自由基清除率为57.4%, 处于9组样品的中间水平, 因此, 确定第4号加工条件为最优工艺条件: 纤维素酶添加量为0.2%、水与麦麸质量比10:1、焙烤温度为180℃、焙烤时间为15min。

### 2.3 同市售相关产品DPPH自由基清除率比较结果

以所确定的最优工艺条件制备麦麸香茶, 然后与市售立顿红茶、铁观音、竹叶青、大麦茶和苦荞茶进行DPPH自由基清除率比较, 每个样品平行测定3次, 计算相应的DPPH自由基清除率, 具体结果如表5所示。

表5 不同产品DPPH自由基清除率比较

Table 5 Scavenging capacity of wheat bran tea in comparison with commercial products

样品	立顿红茶	铁观音	竹叶青	大麦茶	苦荞茶	麦麸香茶
DPPH自由基清除率/%	88.2	61.8	79.6	62.1	45.3	71.3

由表5可知, 这6种产品的DPPH自由基清除率由大到小为立顿红茶>竹叶青>麦麸香茶>大麦茶>铁观音>苦荞茶, 该实验结果说明麦麸香茶的抗氧化性弱于立顿红茶和竹叶青, 强于大麦茶和铁观音, 显著高于相似度

最高的苦荞茶。采用SPSS18.0对6种茶叶DPPH自由基清除率进行差异显著性分析发现,6种产品的DPPH自由基清除率均有着显著性差异。

### 3 讨论

3.1 本研究首先把酶解法应用于茶类生产工艺,通过实验发现,酶解处理有助于提高麦麸香茶的感官品质和抗氧化能力。通过同市售相关产品的比较发现,根据最优工艺参数制备的麦麸香茶具有较高的抗氧化能力,并显著高于同类型的苦荞茶。由于目前关于纤维素酶的作用机理尚无定论,所以纤维素酶提高产品品质的具体机理暂时无法详细阐明。初步推断,可能是纤维素酶在酶解过程中,使得麦麸纤维素发生断裂而裸露出更多的功能性基团<sup>[17]</sup>,让更多与纤维素相交联的香气成分和功能性成分得到释放<sup>[7-9]</sup>,从而提高了产品的品质。

3.2 感官评价是食品质量判定时常用的方法,但是感官评价结果受人为因素影响较大,因此本研究采用能综合考虑评审人员意见的模糊数学综合分析方法对感官评价结果进行分析,以增加评定结果的客观性。在进行模糊数学分析时,本研究选用 $M(\cdot, +)$ 模糊合成算子,该算子属于加权平均型,运算时能兼顾各因素的作用,综合程度强,该方法分析所得结果真实可靠<sup>[14]</sup>。

### 4 结论

本研究首先利用全麦麸进行麦麸香茶开发研究,通过均匀试验设计,结合模糊数学综合分析,确定出了纤维素酶酶解制备麦麸香茶的最优工艺参数为:纤维素酶添加量0.2%、水与麦麸质量比10:1、焙烤温度180℃、焙烤时间15min。该产品经开水冲泡后,麦香味醇厚浓郁、

茶汤呈亮黄色、口感清爽甘甜,符合大众消费习惯,且该工艺操作简单、成本低廉、易于实现规模化生产。麦麸香茶的开发丰富了麦麸加工的产品形式,为麦麸深加工开发研究提供了一个全新的方向。

### 参考文献:

- [1] 郑学玲,姚惠源,李利民,等.小麦加工副产品:麦麸的综合利用[J].粮食与饲料工业,2001(12): 38-39.
- [2] 李应彪,陆强.麦麸膳食纤维的提取技术研究[J].粮油加工与食品机械,2005(11): 77-79.
- [3] 夏秀华.燕麦麸膳食纤维对发酵饼干的品质影响[J].粮油加工,2008(8): 87-89.
- [4] 王朝辉,刘振春,李倩,等.麦麸香肠生产工艺研究[J].中国食物与营养,2009(12): 45-48.
- [5] 吴卫国,王金发.麦麸纤维保健型花生饮料的研制[J].食品工业,2000(2): 21-23.
- [6] 夏建新,王海燕.燕麦复合火腿肠的感官、质构及保水特性研究[J].食品科学,2010,31(1): 98-101.
- [7] 王丽,李依若,杨武,等.纤维素酶法制备高品质麦麸膳食纤维条件的研究[J].粮食与饲料工业,2009(2): 24-25.
- [8] HONG Weizhang, MING Duoyang, XIANG Fufan. Study on modification of dietary fiber from wheat bran[J]. Advanced Materials Research, 2011(1): 1268-1272.
- [9] 李国栋,马海燕,于建军,等.纤维素酶降解烟叶中的纤维素作用效果[J].中国农学通报,2007,24(12): 256-259.
- [10] 王文侠,张慧君,宋春丽,等.纤维素酶制备高活性大豆膳食纤维工艺的研究[J].食品与机械,2010,26(2): 118-122.
- [11] 肖诗明,刘平,但晓容.浓香型苦荞麦袋泡茶的研究[J].食品科技,2007(1): 163-165.
- [12] 方开泰.均匀设计与均匀设计表[M].北京:科学出版社,1994: 1-30.
- [13] 罗磊,郭晓园.金银花提取液抗氧化活性研究[J].食品科学,2009,30(21): 63-65.
- [14] 熊善波,张志清,李志远,等.模糊数学综合评价在工程重组米品质改良研究中的应用[J].食品科学,2011,32(18): 49-53.
- [15] 刘林.应用模糊数学[M].西安:陕西科学技术出版社,2008: 125-161.
- [16] TUDU B, METLA A, DAS B, et al. Towards versatile electronic nose pattern classifier for black tea quality evaluation: an incremental fuzzy approach[J]. Instrumentation and Measurement, 2009, 58(9): 3069-3078.
- [17] 刘树立,王华,王春艳,等.纤维素酶分子结构及作用机理的研究进展[J].食品科技,2007(7): 12-15.