

富硒发芽糙米滚筒干燥工艺的优化研究

杨 颖, 杜先锋

(安徽农业大学茶与食品科技学院, 合肥 230036)

摘 要: 用富硒发芽糙米为原料进行滚筒干燥加工工艺的研究, 检测富硒发芽糙米片中 γ -氨基丁酸(GABA)、硒和砷的含量。结果表明, 随着滚筒表面温度的升高, 富硒发芽糙米片中 GABA 的含量减少, 硒和砷的含量逐渐降低。由于加水比率、水浴温度、水浴时间、滚筒表面温度的不同得到 3 种样品, 采用模糊综合评判法对 3 种不同工艺制备的富硒发芽糙米片样品进行感官评价。筛选出最优的产品生产工艺为: 加水比率 1.2:1, 水浴温度 65℃, 水浴时间 25 min, 滚筒表面温度 130℃。

关键词: 富硒发芽糙米; 滚筒干燥; 检测; 模糊综合评判

中图分类号: TS213.3

文献标识码: A

文章编号: 1672-352X(2012)04-0590-07

Optimization of drum drying parameters for Se-enriched germinated brown rice

YANG Ke, DU Xian-feng

(School of Tea and Food Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036)

Abstract: The technology for processing Se-enriched germinated brown rice using a drum dryer was studied, and the content of γ -amino butyric acid (GABA), selenium and arsenic in Se-enriched germinated brown rice were determined. As a result, with the rise of roller surface temperature, the content of GABA in selenium-rich germinated brown rice was decreased, and selenium and arsenic contents were also gradually reduced. By using difference liquid ratios, water bath temperature, water bath time and drum surface temperature, we got three kinds of samples which were further evaluated with the fuzzy comprehensive evaluation method. The quality of three instantizing of Se-enriched germinated brown rice made from different preparation processes was evaluated, and results showed that the best technology for processing the instantizing of Se-enriched germinated brown rice was as follows: 1.2:1 of water to solid, water bath at 65℃ for 25 min, and the drum surface temperature of 130℃.

Key words: Se-enriched germinated brown rice; drum drying; determination; fuzzy comprehensive evaluation

糙米因其口感、蒸煮性、吸收性差, 以及难闻的糠粉气味让人们难以接受, 精白米口感好, 容易消化, 在我国占据了大米消费的主导地位。由于精白米在加工的过程中碾去了糠层和胚芽, 也就丢弃了稻米中 64% 的营养元素, 一些对人体健康很重要的营养元素, 如维生素、矿物质及膳食纤维等损失巨大^[1-3]。富硒发芽糙米是糙米在亚硒酸钠培养液中浸泡过后, 经发芽到一定芽长, 所得到的由幼芽和带糠层的胚乳组成的糙米制品。富硒发芽糙米中富含多种营养物质, 特别是 γ -氨基丁酸(γ -amino-butyric acid, GABA)和有机硒含量比发芽前提高数

倍。GABA 是存在于哺乳动物脑脊髓中的抑制性神经传递物, 具有活化脑血流、增强脑细胞代谢、降血压、抗惊厥、促进长期记忆、改善肝和肾功能、缓解动脉硬化、减少中性脂肪、防止肥胖等功能^[4-7]。硒作为人体必须的 14 种微量元素之一, 参与构成脱碘酶等多种硒蛋白, 且是谷胱甘肽过氧化物酶的活性中心。人体缺硒会造成多种疾病, 如克山病、癌症、心血管疾病、白内障、高血压等, 补硒是人类防病治疗维护健康的重要措施。因此, 开发经济、方便、适合长期食用的富硒食品已经势在必行^[8-13], 富硒发芽糙米片就是由富硒发芽糙米开发出的一种

收稿日期: 2012-03-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(31171655)资助。

作者简介: 杨 颖, 女, 硕士。E-mail: yangke200808@163.com

* 通讯作者: 杜先锋, 男, 教授, 博士生导师。E-mail: dxdf@ahau.edu.cn

富含 GABA 和有机硒的产品, 由于水稻特别的生物学特征, 它对砷的富集远远大于其他农作物。所以在糙米发芽富集硒的过程中, 砷的含量可能也在增加。所以砷的含量是富硒发芽糙米片的一项重要安全指标。

为了优化加工工艺, 减少 GABA 和有机硒在加工中的损失, 掌控砷的含量, 作者使用高效液相色谱和全自动氨基酸分析仪对产品中 GABA 进行检测, 研究产品中 GABA 在加工中的变化; 使用原子荧光光度计对产品中的硒、砷进行检测, 研究产品中硒、砷在加工中的变化。

产品质量评价的模糊, 导致产品工艺的模糊, 需进一步探讨。为此, 作者采用改进的模糊综合评判法, 对作者研制的经初步筛选的富硒发芽糙米片样品进行了感官评价, 对生产富硒发芽糙米片的工艺条件进行筛选。

1 材料与方 法

1.1 试验材料与设备

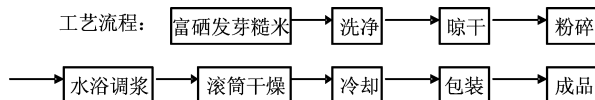
主要材料: 富硒发芽糙米(实验室自制)

主要设备: WF-130 万能粉碎机(80 目筛网), 江阴市力仁机械制造有限公司; TG 型滚筒刮板干燥机, 常州市恒源干燥设备有限公司; AFS—930 原子荧光光度计, 吉天仪器有限公司; L—8900 全

自动氨基酸分析仪, 日立公司。

1.2 试验方法

1.2.1 富硒发芽糙米片生产工艺流程 经单因素预试验初步确定富硒发芽糙米片较佳生产工艺条件为调浆加水比率为 1:1~1.4:1, 水浴温度 55~65℃, 水浴时间 15~25 min, 滚筒表面温度 120~140℃。



1.2.2 加工过程对 GABA 的影响 由于在加工过程中的高温高热环境, GABA 的含量性质发生变化, 在富硒发芽糙米片工艺过程中最可能对硒和 GABA 的含量产生影响的就是滚筒表面温度, 因此在不同的滚筒表面温度下得到产品测定其中 GABA 的含量, 以研究其 GABA 的含量的变化。下面是 2 种测定富硒发芽糙米片中 GABA 的含量的方法。

(1) 采用高效液相色谱测定富硒发芽糙米片中 GABA 的含量^[14]。

样品准备: 准确称取 10.0 g 富硒发芽糙米粉, 装入 250 mL 的圆底烧瓶, 加 60 mL 乙醇-水溶液(乙醇体积分数 60%)于 70℃水浴回流提取 2 h, 取上清液按比例(1:2)添加质量分数为 10%的三氯乙酸溶液沉淀蛋白质, 离心, 经 0.45 μm 滤膜过滤, 待测。

表 1 梯度洗脱程序
Table 1 Gradient elution program

时间/ min Time	A/%	B/%	曲线 Curve
0	100	0	6
6	90	10	6
18	80	20	6
42	70	30	6
50	50	50	6
55	20	80	6
60	0	100	6
65	0	100	6
70	100	0	6
80	100	0	6

DNFB 柱前衍生: 取 1 只 25 mL 容量瓶, 加同提取液 2 mL, 取 1 mL 的 10 mL·L⁻¹ DNFB 乙腈溶液, 再加 0.5 mL·L⁻¹ pH 9.0 的 NaHCO₃ 缓冲液 2 mL, 于 60℃水浴锅中避光衍生 1 h。冷却后, 用 0.01 mol·L⁻¹ pH 7.0 KH₂PO₄ 缓冲液定容, 摇匀, 过 0.45 μm 滤头, 上机检测。

色谱条件: SHIMADZU LC-20AD 液相色谱

仪, LCsolution 液相色谱工作站; 色谱柱: Kromasil C₁₈ 柱(250 mm × 4.6 mm × 5 μm); 流动相 A: 0.05 mol·L⁻¹ 乙酸钠缓冲液(pH 6.5, 含 10 mL·L⁻¹ N,N-二甲基甲酰胺); 流动相 B: 乙腈-水(体积比 1:1); 流速: 1.0 mL·min⁻¹; 柱温: 28℃; 进样量: 5 μL; 检测波长: 360 nm; 柱压: 1 100~1 300 psi。梯度洗脱程序见表 1。

(2) 采用氨基酸自动分析仪测定富硒发芽糙米片中 GABA 的含量^[15]。

样品准备同高效液相色谱中的一样。

仪器分析条件: 根据 L-8900 全自动氨基酸分析仪用户操作手册, 分别配制 B₁、B₂、B₃、B₄、B₅、

B₆ 洗脱液和茚三酮试剂 R₁, 茚三酮缓冲溶液 R₂。梯度表见表 2。

泵 1 流速: 0.40 mL·min⁻¹; 泵 2 流速: 0.35 mL·min⁻¹; 柱温: 分离柱 57℃, 反应柱 135℃; 检测波长: 1 570 nm; 进样体积: 10 μL。

表 2 梯度表
Table 2 Gradient program

时间/min	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	B ₆	R ₁	R ₂	R ₃
0.0	100	0	0	0	0	0	50	50	0
2.7	100	0	0	0	0	0			
2.8	0	100	0	0	0	0			
5.0	0	100	0	0	0	0			
5.1	0	0	100	0	0	0			
13.8	0	0	100	0	0	0			
13.9	0	0	0	100	0	0			
29.0	0	0	0	100	0	0			
29.1	0	0	0	0	0	100			
32.0	0	0	0	0	0	0	50	50	0
32.1	0	0	0	0	0	0	0	0	100
33.0	0	0	0	0	0	100			
33.1	0	100	0	0	0	0			
34.0	0	100	0	0	0	0			
34.1	100	0	0	0	0	0			
37.0	0	0	0	0	0	0	0	0	100
37.1	0	0	0	0	0	0	50	50	0
53.0	100	0	0	0	0	0	50	50	0

表 3 不同富硒发芽糙米片样品的制备

Table 3 Preparation for samples of different Se-enriched germinated brown rice chips

样品编号 No. of sample	加水比率 Ratio of water to solid	水浴温度/℃ Water bath temperature	水浴时间/min Water bath time	滚筒表面温度/℃ Drum surface temperature
1	1:1	60	20	120
2	1.2:1	65	25	130
3	1.2:1	55	25	120

表 4 富硒发芽糙米片的感官价标准

Table 4 Criteria for sensory evaluation of Se-enriched germinated brown rice chips

因素 Factor	权重 Weight	C ₁ (优) Excellent	C ₂ (良) Good	C ₃ (中) Fair	C ₄ (差) Poor	C ₅ (极差) Very poor
色泽 Colour and lustre	0.2	浅黄	微黄	黄色	焦黄	褐色
香气 Aroma	0.3	具有糙米焦香	熟糙米饭香	焦味	焦糊味	焦苦味
口感 Taste	0.3	香醇, 细腻软糯, 有粘性	清淡, 细腻软糯, 有粘性	焦香味, 有粘性	焦糊味, 不粘稠	苦味, 无粘性
外形 Shape	0.2	成片状, 致密无孔, 冲泡后溶解均匀, 成糊状	成片状, 质地疏松, 表面有孔冲泡后有粘性, 成糊状	成片状, 冲泡后有粘性, 成糊状, 溶解不均匀	成片状, 冲泡后无粘性, 成糊状	成粉状, 冲泡后无粘性, 成絮状

1.2.3 加工过程对硒和砷的影响 由于在加工过程中的高温高热环境, 硒和砷是一种热不稳定元素,

加工过程会造成硒和砷的减少, 同 GABA 一样, 滚筒表面温度也是最有可能影响硒含量的决定因素。

因此在不同的滚筒表面温度下得到产品测定其中硒的含量,以研究其硒和砷含量的变化。

硒和砷的测定。采用国标 GB/T5009.93-2003^[16]中氢化物原子荧光光谱法测定富硒发芽糙米片中总硒和无机硒的含量。采用 GB/T5009.11-2003^[17]中氢化物原子荧光光谱法测定富硒发芽糙米片中总砷和无机砷的含量。

1.2.4 模糊综合评判分析富硒发芽糙米片的感官质量 根据以上实验结果选取 3 种制备工艺(见表 3),采取模糊数学法评价富硒发芽糙米片的品质,从而确定最佳的制备工艺。

产品的感官指标。富硒发芽糙米片样品及工具的准备由专人负责登记编号,参加评比的人员由 10 位感观评价员组成,其所用工具及样品每人一份,以便仔细鉴定。感官评分主要从富硒发芽糙米片的色泽、香味与形态几个方面进行,评价后,按照标准,分别逐项记入评分表,评分标准如表 4 所示。

评价结果的收集、分析。将评价人员对富硒发芽糙米片的评价结果收集起来进行分析,利用个性所得分值数字除以评价人员总数,就可以得到几组模糊矩阵,分别记为 R_1 、 R_2 、 R_3 ,它们包括了所有的评定信息。采用改进的模糊综合评判法对这些信息进行评判分析,选出风味和口感最好的产品。

评价论域的确定。评判因素集的确定即被评富硒发芽糙米片的指标集合,记为 I , I =(色泽,香气,口感,外形)。评判评语集的确定即被评富硒发芽糙米片所属质量级别的集合,记为 C , C =(C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5)=(优,良,中等,较差,差)。被评富硒发芽糙米片指标权重的集合,记为 X =(0.2, 0.3, 0.3, 0.2),即色泽、香气、口感及外形在处理过程中占总体感官质量的比重(权重分配)分别为 0.2、0.3、0.3 和 0.2,且三者之和为 1.0。

2 结果与分析

2.1 加工过程对 GABA 的影响

2.1.1 富硒发芽糙米片中 GABA 的含量的测定 图 1 是没有加入富硒发芽糙米片 GABA 提取液和 GABA 标样,而对空白加入衍生化试剂进行衍生化后经 HPLC 检测所得到的图,图 2 是对 GABA 标样加入衍生化试剂进行衍生化后经 HPLC 检测所得到的图,图 2 是加入 GABA 标样再衍生化经 HPLC 检测所得到的图。通过图 1、图 2 的对比可以知道,在 52.27 min 出的峰是 GABA 的。图 3 是 HPLC 检测富硒发芽糙米片中 GABA 所得到的图,从图可以看出 GABA 的峰和其他的物质峰没有完全分离开,

所测得的数据不准确。

根据外标一点法,将标准品溶液与样品溶液在相同条件下多次进样,测得峰面积的平均值,用下式计算样品中 γ -氨基丁酸组分的量:

$$W^i = A^i (W^i)^s / (A^i)^s$$

式中 W^i 与 A^i 分别代表在样品溶液进样体积中所含 γ -氨基丁酸组分的重量及相应的峰面积。 $(W^i)^s$ 及 $(A^i)^s$ 分别代表在标准品溶液进样体积中含纯品 i 组分的重量及相应峰面积。

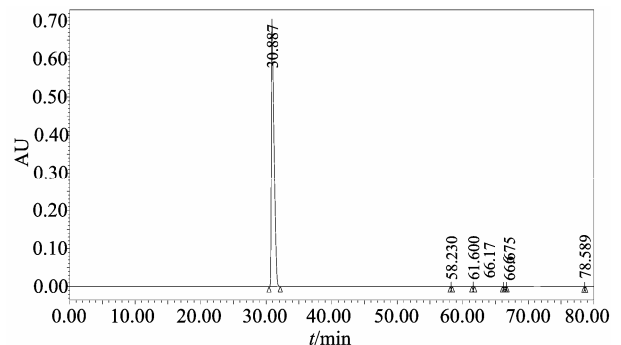


图 1 空白衍生液色谱图

Figure 1 Chromatogram of blank derived liquid

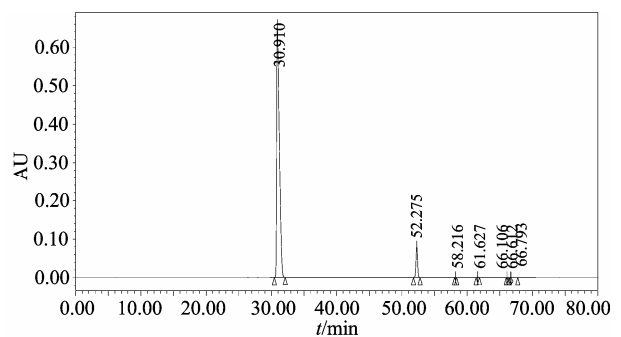


图 2 GABA 标准品衍生液色谱图

Figure 2 Chromatogram of γ -amino butyric acid standard derived liquid

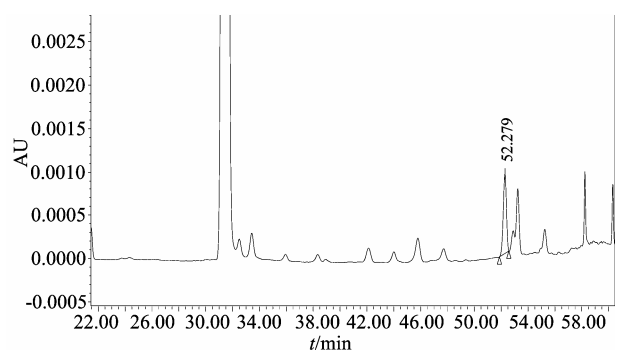


图 3 富硒发芽糙米片衍生液色谱图

Figure 3 Chromatogram of Se-enriched germinated brown rice chips derived liquid

图4为0.10 μmol·mL⁻¹的γ-氨基丁酸标准溶液进样所得的图谱,以及分别为在滚筒表面温度为140℃、130℃、120℃下所得产品经自动氨基酸分析仪检测所得到的峰图。从图4可以看出,GABA与其他物质峰完全分离,所以,在检测富硒发芽糙米片中GABA的含量时运用自动氨基酸分析仪能实现良好的分离。

2.1.2 滚筒表面温度对GABA的影响 由4中的峰面积得到140、130、120℃富硒发芽糙米片中γ-氨基丁酸的含量,见表5。

从表5可以看出,随着温度的升高,富硒发芽糙米中GABA的含量逐渐降低,温度越高,GABA被破坏的越严重,特别是140℃时。

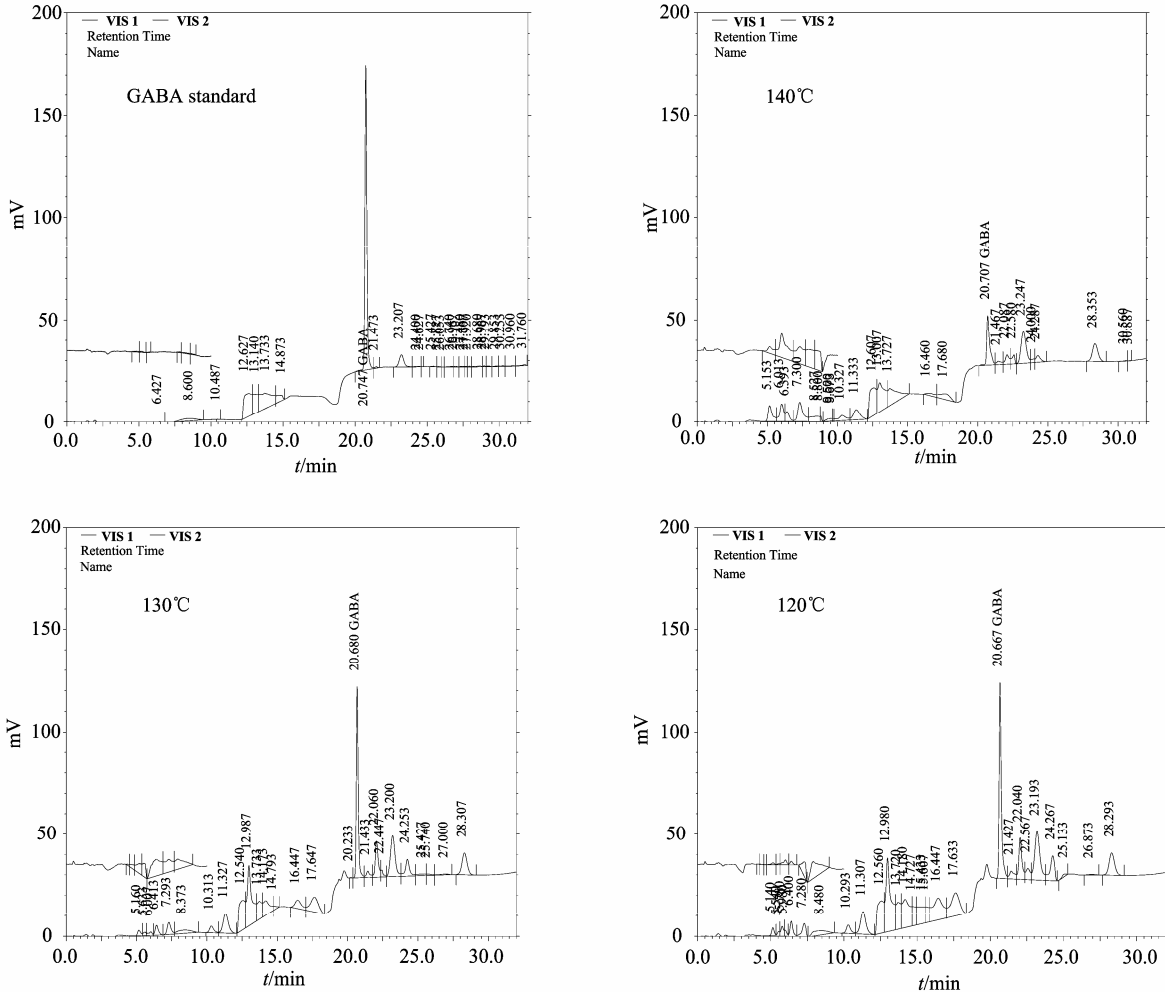


图4 GABA 标样及检测峰
Figure 4 γ-amino butyric acid standard and detectable peak

表5 不同富硒发芽糙米片中γ-氨基丁酸的含量
Table 5 The γ-amino butyric acid content of different Se-enriched germinated brown rice chips

温度/℃ Temperature	GABA 含量/mg·kg ⁻¹ GABA content
140	131.4
130	325.3
120	353.2

2.2 加工过程对硒和砷的影响

由图5看出,随着温度的增加,有机硒含量降低,富硒发芽糙米是利用环境中的亚硒酸盐合成有

机硒蛋氨酸,而在加工工艺中富硒发芽糙米浆在滚筒表面铺成薄片,与热风接触面积较大,造成硒蛋氨酸的热降解。由图6看出,随着温度的增加,总砷含量在降低。

以上试验可以得出结论,随着滚筒表面温度的升高,富硒发芽糙米片中GABA的含量在130℃后急剧减少,硒的含量也是快速降低,而砷的含量是缓慢降低。所以滚筒表面温度选择120~130℃。

2.3 模糊综合评判矩阵的确定及分析

评价人员对3种不同配方的富硒发芽糙米片试验样品的评价结果见表6所示。

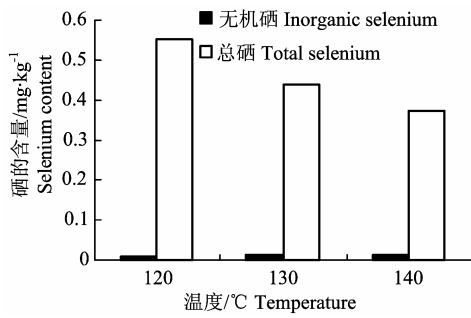


图 5 滚筒表面温度对硒的影响

Figure 5 Effect of roller temperature on selenium

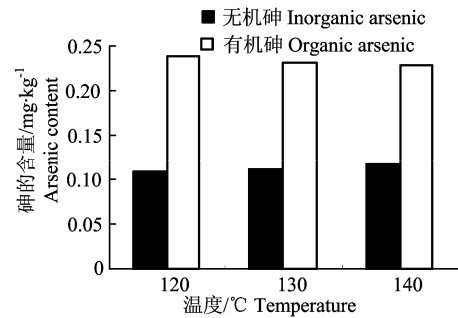


图 6 滚筒表面温度对砷的影响

Figure 6 Effect of roller temperature on arsenic

表 6 3 个样品的评价结果

Table 6 Evaluation results of three samples

样品 No. of Sample	感官指标 Sensory index	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
1号 No.1	色泽 Colour and lustre	0	2	3	5	0
	香气 Aroma	1	3	4	2	0
	口感 Taste	0	0	6	3	1
	外形 Appearance	1	5	4	0	0
2号 No.2	色泽 Colour and lustre	4	3	3	0	0
	香气 Aroma	2	4	2	2	0
	口感 Taste	3	5	2	0	0
	外形 Appearance	1	4	4	1	0
3号 No.3	色泽 Colour and lustre	0	6	3	1	0
	香气 Aroma	2	4	3	1	0
	口感 Taste	4	5	1	0	0
	外形 Appearance	0	0	3	1	6

将上述各表中的数字除以评价人员总数 10 人, 得到的 3 组关系, 称之为模糊矩阵 R_1 、 R_2 、 R_3 如下所:

$$R_1 = (r_{ij})_{4 \times 5} = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0.0 \\ 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.1 & 0.5 & 0.4 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = (r_{ij})_{4 \times 5} = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.3 & 0.3 & 0.0 & 0.0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.2 & 0.2 & 0.0 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0.0 & 0.0 \\ 0.1 & 0.4 & 0.4 & 0.1 & 0.0 \end{bmatrix}$$

$$R_3 = (r_{ij})_{4 \times 5} = \begin{bmatrix} 0.0 & 0.6 & 0.3 & 0.1 & 0.0 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.1 & 0.0 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.3 & 0.1 & 0.0 \end{bmatrix}$$

其中, r_{ij} 为富硒发芽糙米片样品中第 i 个因素对第 j 类评价的隶属度。根据模糊综合评判数学模型原理, 可得富硒发芽糙米片感官质量综合评判的结果向量如下:

$$Y = X \times R = (x_1, x_2, x_3, x_4) \times \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = (y_1, y_2, \dots, y_n)$$

式中, $Y_i = \sum_{i=1}^m x_i r_{ij}$

对 1 号样品, 其感官质量综合评判结果向量为:

$$Y_1 = (y_1, y_2, y_3, y_4) = (0.2, 0.3, 0.3, 0.2) \times \begin{bmatrix} 0.0 & 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0.0 \\ 0.1 & 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.0 \\ 0.0 & 0.0 & 0.6 & 0.3 & 0.1 \\ 0.1 & 0.5 & 0.4 & 0.0 & 0.0 \end{bmatrix} = (0.05, 0.23, 0.44, 0.25, 0.03)$$

同理, 2 号样品和 3 号样品的感官质量评判向量分别为:

$$Y_2 = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5) = (0.25, 0.41, 0.20, 0.08, 0)$$

$$Y_3 = (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5) = (0.12, 0.39, 0.21, 0.07, 0.06)$$

此时, 若按照一般的模糊综合评判法对结果向量进行处理, 即取大取小算法或最大隶属度法都会

给评判结果带来误差, 出现评判结果与实际情况不一致的现象。但如果引用综合评分公式(如下所示)处理模糊综合评判结果向量便可避免以上现象的发生, 综合评分公式: $H_i = \sum_{j=1}^m j y_{ji}$ 。

根据以上公式计算出综合评分 H 值, 再比较 H 值与哪一类评价的 j 最接近, 即可判定富硒发芽糙米片样品属于(接近)哪一类等级, 同时还可按 H 值的大小排序。如用此方法计算 1 号富硒发芽糙米片样品, 所得 H 值为:

$$H_1 = 1 \times 0.05 + 2 \times 0.23 + 3 \times 0.44 + 4 \times 0.25 + 5 \times 0.03 = 2.98$$

所以可判定 1 号富硒发芽糙米片样品接近 C_3 , 即该产品的质量等级属于中等; 同理 2 号样品 H_2 值为 1.99, 其质量等级介于 C_1 和 C_2 之间, 即该产品的质量等级在“优”与“良”之间; 3 号样品 H_3 为 2.11, 其质量等级更接近于 C_2 , 因此该产品的质量等级属与良好。故在 3 种不同品质的富硒发芽糙米片样品中, 2 号样品为最优产品, 这与实际情况完全吻合, 同时, 若对 3 个样品进行排序, 其优劣顺序为 2 号样品 > 3 号样品 > 1 号样品。经检测, 2 号样品中富含 $325.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 γ -氨基丁酸, 有机硒含量高达 $0.413 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 中国制定了大米中无机砷含量标准规定: 每千克大米中无机砷含量不超过 0.15 mg 。每千克粮食中含总砷量不应超过 0.7 mg , 富硒发芽糙米片中的砷没有超标, 在安全范围内。

3 结论

在检测富硒发芽糙米片中 GABA 的含量时, 同样的提取条件下, 运用自动氨基酸分析仪比高效液相色谱的效果好, 方便又快速。

在加工工艺中, 随着滚筒表面温度的升高, 富硒发芽糙米片中有机硒含量减少, 总砷含量下降, GABA 也被破坏。

采用改进的模糊综合评判法对糙米茶的 3 个不同品质试验样品进行了感官评价, 其评判结果为 2 号样品被确定为本试验的最佳产品。该评判结果与实际情况完全吻合, 即 2 号工艺即为风味和口感最好的工艺: 料液比 1:1.2, 水浴温度 65°C , 水浴时间 25 min, 滚筒表面温度 130°C , 得到成膜性好, 冲泡后有粘性的产品。

在最优条件下, 富硒发芽糙米所制的富硒发芽糙米片中不仅有机硒含量高达 $0.413 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 而且还富含 $325.3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 γ -氨基丁酸, 同时倍受公众争议的无机砷含量也在国家标准以内, 这是一种即营养又安全的食品。

参考文献:

- [1] 江湖. 富硒发芽糙米生产工艺的优化[J]. 食品科学, 2010, 31(4): 90-94.
- [2] 刘丽萍, 李雨露. 糙米发芽前后营养成分的变化及功能特性[J]. 粮油加工, 2008(11): 81-83.
- [3] 马涛, 司维雨. 糙米食品加工技术[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(31): 15620-15623.
- [4] 康彬彬, 陈团伟. 发芽糙米的营养价值及开发利用[J]. 农产品加工, 2009(3): 60-61.
- [5] 朱晓立. γ -氨基丁酸的生物学功能及其在食品上的应用[J]. 食品工程, 2008(2): 34-37.
- [6] Komatsuzaki N, Shima J, Kawamoto S. Production of γ -amino butyric acid(GABA) by *Lactobacillus paracasei* isolated from traditional fermented foods[J]. Food Microbiology, 2005, 22: 497-504.
- [7] Jannoey P, Niamsup H. Comparison of gamma-amino butyric acid production in Thai rice grains [J]. World J Microbiol Biotechnol, 2010, 26: 257-263.
- [8] 黄志立, 麦炳培. 硒元素在绿豆芽中的富集研究[J]. 食品科学, 2004, 25(6): 200-203.
- [9] 蒲云峰. 硒对糙米发芽及其生物转化的影响研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007.
- [10] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000: 307-315.
- [11] Gupta U C. Selenium in soils and crops, its deficiencies in livestock and humans, implications for management[J]. Comm Soils Sci Plant Anal, 2000, 31: 1791-1807.
- [12] Chen L C, Yang F M, Xu J, et al. Determination of selenium concentration of rice in China and the effect of fertilization of selenite and selenate on selenium content of rice[J]. Journal of Agriculture and Food Chemistry, 2002, 50(18): 5128-5130.
- [13] Hu Q H, Pan G X, An X X, et al. Physiological function of Se-enriched tea fertilized with sodium selenite and naturally high-Se tea in rats[J]. J Sci Food Agric, 2001, 81: 202-204.
- [14] 邢志强. 茶叶中 γ -氨基丁酸与 L-谷氨酸的 HPLC 分析方法[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(3): 147-152.
- [15] 夏虹. 发芽米中 γ -氨基丁酸含量的测定[J]. 食品与机械, 2009, 25(4): 100-102.
- [16] GB/T5009.93-2003 食品中硒的测定[S].
- [17] GB/T5009.11-2003 食品中砷的测定[S].