

基于主要营养成分含量的大小颗粒薏仁米判别

Discrimination of big or small particle *Coix* seed varieties based on the major nutrient content

刘 星 范 楷 杨俊花 宋卫国

LIU Xing FAN Kai YANG Jun-hua SONG Wei-guo

(上海市农业科学院农产品质量标准与检测技术研究所, 上海 201403)

(Institute for Agri-products Standards and Testing Technology, Shanghai 201403, China)

摘要:以不同产地大颗粒薏仁米(BCS)和小颗粒薏仁米(SCS)粗脂肪、蛋白质、氨基酸和矿物元素含量为基础,通过方差分析研究 BCS 和 SCS 主要营养成分是否有差别,并利用主成分分析(PCA)和支持向量机(SVM)来判别 BCS 和 SCS。结果表明,除粗脂肪、Mg、Al 外,其他所研究的营养成分均为 SCS 高于或与 BCS 无统计学上显著差异;PCA 所提取的特征变量基本能区分 BCS 和 SCS, SVM 所建模型的预测准确率达 100%,说明薏仁米主要营养成分结合化学计量学方法来判别 BCS 和 SCS 是可行的。

关键词:薏仁米;主要营养成分;主成分分析;支持向量机;定性判别

Abstract: Based on the crude fat, protein, amino acids and mineral element content of different areas big particle *Coix* seed (BCS) and small particle *Coix* seed (SCS), this paper analyzed whether there was a difference on the major nutrient content between BCS and SCS by using analysis of variance, and discriminated the BCS and SCS by using principal component analysis (PCA) and support vector machine (SVM). The results indicated that the nutrient contents measured in this text of SCS were higher than or not significant difference from those of BCS except the crude fat, Mg, and Al content. The characteristic variables extracted by PCA could be used to discriminate BCS from SCS, and the prediction accuracy of the SVM model was 100%. These display that it is feasible to determine the type of *Coix* seed by using the major nutrient contents of *Coix* seed combined with chemometrics.

Keywords: *Coix* seed; major nutrient content; principal component analysis; support vector machine; qualitative discriminant

薏仁米为禾本科植物薏苡(*Coix lachryma-jobi* L.)的成熟种仁,被广泛种植于中国各省、东南亚地区和巴西^[1],中国年产量达 30 多万 t。薏仁米富含脂肪、蛋白质和其他谷物所缺少的赖氨酸、蛋氨酸和半胱氨酸等营养成分^[2],且含有薏苡素、多糖等功能因子,具有祛湿、抗肿瘤(康莱特注射液)、降糖降脂、免疫调节等作用^[3-5]。不同品种和不同产地的薏仁米营养组成不同,价格也存在差距。

薏仁米的食用量在逐年增加,市场上薏仁米产品很多,且多为粉末状,其所用薏仁米依据其尺寸可分为小颗粒薏仁米(small *Coix* seed, SCS)和大颗粒薏仁米(big *Coix* seed, BCS)(图 1),一般 SCS 的价格高于 BCS。已有的研究^[6-8]多针对薏仁米的淀粉结构和理化性质、脂肪提取应用、活性成分提取条件优化等,也有^[9-10]开展某一种薏仁米或多种薏仁米的主要营养成分分析,但对于不同产地 BCS 和 SCS 主要营养成分的比较研究暂未见报道。对于与薏仁米相关的产品,一些商家为获得更高的利润均宣称其产品所用的薏仁米为 SCS,而消费者很难判断真假,本课题组^[11]前期研究发现可以借助近红外光谱来进行 BCS 和 SCS 的判别,但是否能通过薏仁米的主要营养成分含量来判别 BCS 和 SCS 还未见报道。本研究采集了国内外多地薏仁米样品,通过测定其主要营养成分(脂肪、蛋白质、氨基酸和矿物元素)来研究 BCS 和 SCS 中主要营养成分含量的差别,并将其主要营养成分含量结合化学计量学方法[主成分分析(principal component analysis, PCA)^[12-13]和支持向量机(support vector machine, SVM)^[14-16]]来判别 BCS 和 SCS,以期对薏仁米产品的选材和薏仁米市场的规范提供参考。

基金项目:上海市市级农口系统青年人才成长计划项目(编号:沪农青字〔2017〕第 1-31 号)

作者简介:刘星,女,上海市农业科学院助理研究员,博士。

通信作者:宋卫国(1979—),男,上海市农业科学院研究员,博士。

E-mail: sunvegous@hotmail.com

收稿日期:2018-10-29

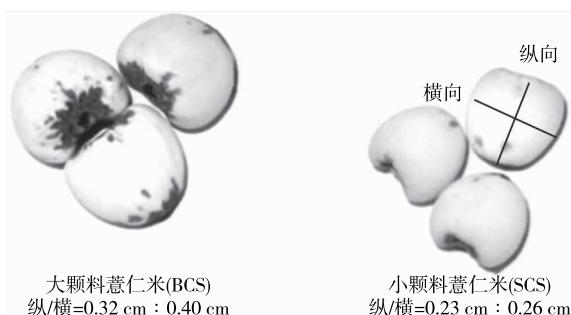


图 1 大小颗粒薏仁米的尺寸

Figure 1 The size of big *Coix* seed and small *Coix* seed

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

1.1.1 主要仪器

加速溶剂萃取仪: ASE 350 型, 美国 ThermoFisher 公司;

自动凯氏定氮仪: Kjeltac 8200 型, 丹麦 FOSS 公司;

全自动氨基酸分析仪: L-8900 型, 日本 Hitachi 公司;

电感耦合等离子体发射光谱仪: iCAP 6300 型, 美国 Thermo Fisher 公司;

分析天平: AL204 型和 PL2002 型, 梅特勒—托利多仪器(上海)有限公司;

电热板: JH404 型, 上海锦凯科学仪器有限公司;

中药粉碎机: HK-02A 型, 广州旭朗机械设备有限公司。

1.1.2 主要试剂

丙酮: 分析纯, 上海凌峰化学试剂有限公司;

凯氏定氮催化剂: 丹麦 FOSS 公司;

氨基酸标准溶液: 日本 Hitachi 公司;

多元素混合标准溶液: 美国 SPEX CertiPrep 公司;

硫酸、盐酸、硼酸、甲基红、亚甲基蓝、乙醇、浓盐酸、苯酚、茚三酮、硝酸、高氯酸等: 分析纯, 国药集团化学试剂有限公司。

1.2 试验方法

1.2.1 样品采集 共采集了 36 个薏仁米样品, 其中包括 16 个 BCS 和 20 个 SCS, 这些样品分别来自中国吉林、黑龙江、江苏、贵州、福建、辽宁、河北、湖南、湖北、广西、四川、山西、山东、陕西、浙江、安徽、宁夏、内蒙古 18 个省和自治区, 以及缅甸和泰国。试验前将不饱满的薏仁米颗粒挑出, 再用粉碎机将薏仁米粉碎并全部通过 0.25 mm 标准筛。

1.2.2 粗脂肪、蛋白质、氨基酸和矿物元素测定 薏仁米样品中的粗脂肪利用快速溶剂萃取仪来提取, 提取溶剂为丙酮^[17], 提取条件为温度 120 ℃, 时间 20 min, 循环 2 次。薏仁米样品中的蛋白质、氨基酸和矿物元素分别按

GB 5009.5—2010《食品安全国家标准 食品中蛋白质的测定》、GB 5009.124—2016《食品安全国家标准 食品中氨基酸的测定》和 GB 5009.268—2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》方法来测定。

1.2.3 数据统计分析方法和化学计量学方法 数据为 3 次平行试验的平均值, 通过单尾方差分析来反映 BCS 和 SCS 主要营养成分含量的差别, 并将主要营养成分含量与 PCA 法和 SVM 法结合, 建立 BCS 和 SCS 定性判别模型。SVM 法借助 SPXY^[18] 法从 36 个样品中选取 75% 的样品作为训练集, 剩下的 25% 样品作为测试集。统计分析和定性模型建立都是由 Matlab 软件 (R2009a 美国 Mathworks 公司) 来实现。

2 结果与讨论

2.1 大小颗粒薏仁米主要营养成分含量的比较

由表 1 可知, 不同地区 BCS 和 SCS 的粗脂肪、蛋白质、苯丙氨酸、蛋氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、亮氨酸、缬氨酸、半胱氨酸、酪氨酸、天冬氨酸、丝氨酸、谷氨酸、丙氨酸、脯氨酸、K、Mg、Cu、Mn、Al 含量在统计学上有显著的差异, 且除了粗脂肪、Mg、Al 含量是 BCS 大于 SCS 外, 其他营养成分均为 SCS 的含量高于 BCS, 说明不同地区来源的 SCS 主要营养成分在一定程度上是优于 BCS, 这一结果与之前^[11]所得结论——同一地区的 BCS 和 SCS 主要营养成分的差异现象一致, 也为市场上 SCS 的价格高于 BCS 提供了依据。同时, 对于 SCS 而言, 不同地区来源的薏仁米其赖氨酸、Na、Ca、Fe、Al 含量偏差较大, 而不同地区的 BCS 也在 Na、Ca、Fe、Al 含量上有较大的差异, 在一定程度上说明这几种元素具有产地特征。

2.2 PCA 判别模型的建立

PCA 是对数据进行降维处理的方法, 是将多个变量转化为少数综合变量来表征原变量信息, 即综合变量 (又称为得分) 保留原有变量的绝大部分信息, 且可以由几个变量来反映样本数据的所有信息^[12-13, 19], 所以 PCA 得分图在一定程度上能够反映数据集的分类。本研究前 2 个主成分中各营养成分的特征向量和累积贡献率见表 2。由表 2 可知, 前 2 个主成分的累积贡献率达 71.044%, 其中第 1 主成分 PC1 主要综合了丙氨酸、丝氨酸、亮氨酸、缬氨酸、天冬氨酸、苏氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、脯氨酸、蛋白质、谷氨酸、酪氨酸、Cu 等营养素含量的信息, 第 2 主成分 PC2 主要综合了组氨酸、酪氨酸、谷氨酸、苯丙氨酸、异亮氨酸、天冬氨酸、蛋白质等营养素含量的信息, 说明前 2 个主成分包含了氨基酸、蛋白质、Cu、Mn、Zn、Na、Ca、Fe 等营养素的信息, 基本能反映 BCS 和 SCS 的营养组成信息。

利用 PC1 和 PC2 绘制的得分图见图 2。由图 2 可知, 除了 SCS 中的 5 号辽宁样品和 BCS 中的 32 号山西样

品外,不同地区的 BCS 和 SCS 基本可以借助主要营养成分分开,SCS 样品集中在右侧($PC1>0$),BCS 样品集中在左侧($PC1<0$);除了 36 号贵州样品远离数据集外,不同地区 SCS 样品在得分图中较均匀地分散,而 BCS 中椭圆形标识的 1 号贵州样品、8 号山东样品、13 号陕西样品和 4 号内蒙古样品、6 号辽宁样品、7 号贵州样品又分别聚到一起,可以认为这几个地区的 BCS 综合营养成分组成相似。说明薏仁米的产地和品种对其营养成分含量均有很大的影响,除个别样品外,PCA 基本能辨别不同地区的 BCS 和 SCS。

2.3 SVM 定性模型的建立

采用 SPXY 来划分训练集和测试集,选取了 27 个样品为训练集,剩余 9 个样品为测试集,其平均值、标准偏差和含量范围见表 3。将表 3 与表 1 中平均值和标准偏差相比可知,训练集和测试集中各营养成分含量的平均值基本都落在 SCS 和 BCS 的平均值范围内,说明各变量中不同地区 BCS 和 SCS 样品均匀的分布在训练集和测试集中;且测试集的各变量含量范围也基本落在训练集范围内,说明此划分方法所得训练集和测试集是合理的,所建模型是具有通用性的。

表 1 大小颗粒薏仁米中粗脂肪、蛋白质、氨基酸和矿物元素的含量[†]

Table 1 Content of crude fat, protein, amino acids and minerals in BCS and SCS

营养成分	单位	SCS	BCS	营养成分	单位	SCS	BCS
粗脂肪	%	6.91±0.43 ^b	7.45±0.40 ^a	甘氨酸	mg/g	3.58±0.14 ^a	3.48±0.25 ^a
蛋白质	g/100 g	15.47±0.73 ^a	13.56±0.34 ^b	丙氨酸	mg/g	16.85±1.01 ^a	13.96±0.80 ^b
赖氨酸	mg/g	2.56±1.69 ^a	2.56±0.25 ^a	精氨酸	mg/g	6.31±0.25 ^a	6.10±0.43 ^a
苯丙氨酸	mg/g	8.45±0.42 ^a	7.37±0.31 ^b	脯氨酸	mg/g	11.96±0.83 ^a	9.90±1.05 ^b
蛋氨酸	mg/g	2.16±0.53 ^a	1.81±0.42 ^b	K	mg/g	2.64±0.22 ^b	3.34±0.23 ^a
苏氨酸	mg/g	4.52±0.15 ^a	3.95±0.19 ^b	Mg	mg/g	1.61±0.13 ^b	1.80±0.17 ^a
异亮氨酸	mg/g	6.14±0.31 ^a	5.40±0.21 ^b	P	mg/g	3.63±0.33 ^a	4.49±0.53 ^a
亮氨酸	mg/g	23.66±1.28 ^a	19.53±0.90 ^b	S	mg/g	1.73±0.21 ^a	1.82±0.46 ^a
缬氨酸	mg/g	8.35±0.37 ^a	7.35±0.33 ^b	Na	mg/kg	91.69±40.74 ^a	72.86±32.93 ^a
组氨酸	mg/g	3.87±0.82 ^a	3.87±0.60 ^a	Ca	mg/kg	106.64±29.40 ^a	92.60±17.30 ^a
半胱氨酸	mg/g	1.61±0.17 ^a	1.39±0.14 ^b	Fe	mg/kg	52.92±19.02 ^a	44.86±11.50 ^a
酪氨酸	mg/g	6.37±0.55 ^a	5.27±0.29 ^b	Cu	mg/kg	5.50±0.80 ^a	2.61±0.33 ^b
天冬氨酸	mg/g	10.07±0.49 ^a	8.85±0.38 ^b	Mn	mg/kg	28.23±6.73 ^a	24.58±5.79 ^b
丝氨酸	mg/g	7.32±0.34 ^a	6.43±0.30 ^b	Zn	mg/kg	41.98±10.09 ^a	36.92±9.28 ^a
谷氨酸	mg/g	38.44±2.13 ^a	32.84±1.01 ^b	Al	mg/kg	11.25±8.53 ^b	22.26±15.73 ^a

[†] 同行不同字母表示差异显著(P<0.05)。

表 2 前 2 个主成分各变量特征向量及累积贡献率

Table 2 The eigenvectors and cumulative contribution of variance of the first two principal components

营养成分	PC1	PC2	营养成分	PC1	PC2
丙氨酸	0.243	0.032	甘氨酸	0.151	-0.049
丝氨酸	0.241	0.081	Mn	0.127	-0.369
亮氨酸	0.240	0.081	Zn	0.126	-0.367
缬氨酸	0.239	0.095	Na	0.117	-0.373
天冬氨酸	0.237	0.112	Ca	0.115	-0.365
苏氨酸	0.236	0.076	Fe	0.105	-0.368
异亮氨酸	0.234	0.128	赖氨酸	0.082	-0.113
苯丙氨酸	0.232	0.140	S	-0.003	-0.075
脯氨酸	0.227	-0.045	组氨酸	-0.024	0.312
蛋白质	0.222	0.102	Al	-0.125	0.055
谷氨酸	0.222	0.180	粗脂肪	-0.156	0.036
酪氨酸	0.207	0.196	Mg	-0.161	0.100
Cu	0.206	0.095	P	-0.167	0.018
半胱氨酸	0.171	-0.061	K	-0.198	-0.026
蛋氨酸	0.158	-0.107	方差贡献率/%	54.113	16.931
精氨酸	0.155	0.040	累积贡献率/%	54.113	71.044

将上述所得训练集和测试集利用 SVM 来建定性判别模型。SVM 是建立一个分类超平面作为决策曲面来使得正反例之间的隔离边缘被最大化,近似实现结构风险最小化^[14]。SVM 在进行模式分类预测时,先将训练集和测试集归一化到[0,1]区间,再进行建模,所建模型的正确率受惩罚参数 c (c 为回归误差的权重)和径向基核函数参数 g 的影响。因为 c 值过大,样本数据会发生过学习现象,而 c 值过小,样本数据又会发生欠学习现象,因此需要优化 c 、 g 值,采用交互验证(Cross validation, CV)意义下的网格搜寻(Grid search)法来进行参数优化。Grid search 优化参数时,是先让参数 c 和 g 在一个大范围内粗略搜寻,再根据粗选结果缩小 c 和 g 的搜寻范围,最终得到最优值来建模。

Grid search 优化参数的结果见图 3。图中二维网格为 c 、 g 分别取以 2 为底数的对数后构成,等高线表示取相

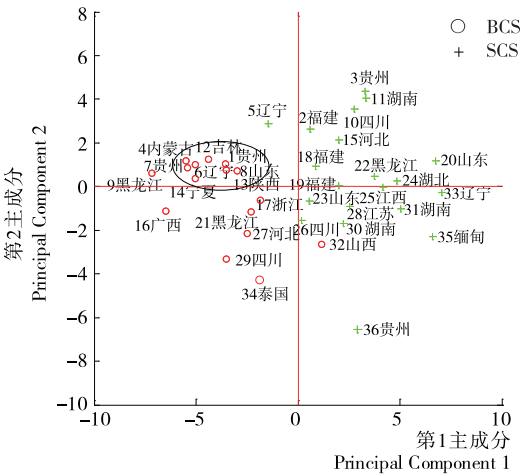


图 2 薏仁米主要营养成分主成分分析得分图
Figure 2 Principal component analysis score plots for main nutritional components of *Coix* seed

表 3 训练集和测试集的划分
Table 3 Train sets and test sets partitioning

营养物质	单位	训练集(样本数 27)		测试集(样本数 9)	
		均值±标准偏差	范围	均值±标准偏差	范围
粗脂肪	%	7.22±0.47	5.78~8.10	6.95±0.52	6.34~7.69
蛋白质	g/100 g	14.49±1.14	12.88~16.65	14.99±1.03	13.50~16.65
赖氨酸	mg/g	2.56±0.22	2.20~3.07	2.55±0.18	2.31~2.84
苯丙氨酸	mg/g	7.93±0.69	6.73~9.14	8.10±0.54	7.22~8.73
蛋氨酸	mg/g	1.99±0.55	1.24~3.43	2.05±0.38	1.40~2.84
苏氨酸	mg/g	4.25±0.35	3.68~4.87	4.31±0.29	3.79~4.63
异亮氨酸	mg/g	5.79±0.49	4.98~6.66	5.87±0.38	5.24~6.33
亮氨酸	mg/g	21.60±2.42	17.86~26.12	22.49±2.15	18.92~24.73
缬氨酸	mg/g	7.88±0.64	6.73~8.94	7.98±0.54	7.03~8.58
组氨酸	mg/g	3.97±0.78	2.96~5.55	3.58±0.43	3.17~4.36
半胱氨酸	mg/g	1.49±0.19	1.13~1.96	1.58±0.21	1.28~1.88
酪氨酸	mg/g	5.83±0.78	4.71~7.40	6.02±0.47	5.40~6.78
天冬氨酸	mg/g	9.48±0.79	8.20~10.80	9.66±0.67	8.54~10.42
丝氨酸	mg/g	6.89±0.57	5.98~7.91	7.04±0.49	6.22~7.58
谷氨酸	mg/g	35.81±3.55	31.11~42.19	36.37±2.48	32.38~39.24
甘氨酸	mg/g	3.54±0.22	3.13~4.07	3.52±0.15	3.28~3.73
丙氨酸	mg/g	15.38±1.73	12.65~18.71	16.14±1.64	13.34~17.76
精氨酸	mg/g	6.23±0.38	5.42~7.03	6.20±0.25	5.77~6.55
脯氨酸	mg/g	10.91±1.38	8.36~13.40	11.44±1.41	8.98~12.75
K	mg/g	3.02±0.42	2.32~3.84	2.74±0.33	2.37~3.42
Mg	mg/g	1.71±0.17	1.43~2.07	1.63±0.16	1.47~1.99
P	mg/g	4.08±0.63	3.20~5.53	3.79±0.51	3.37~4.83
S	mg/g	1.78±0.39	1.13~3.52	1.73±0.06	1.65~1.82
Na	mg/kg	78.93±35.65	26.67~166.40	96.50±44.48	46.65~197.90
Ca	mg/kg	96.71±20.16	68.58~153.10	111.47±36.45	79.24~201.30
Fe	mg/kg	46.81±11.73	29.69~71.01	56.92±25.43	34.74~119.20
Cu	mg/kg	4.01±1.58	2.09~7.00	4.83±1.53	2.18~6.24
Mn	mg/kg	25.75±5.93	16.96~35.75	29.20±7.79	19.66~44.94
Zn	mg/kg	38.58±9.57	26.99~59.15	43.18±10.77	29.92~63.43
Al	mg/kg	18.11±14.07	1.54~55.73	10.25±8.74	2.05~25.52

应的 c 和 g 后对应的 CV 方法的准确率,最佳的 c 、 g 值是通过交叉验证准确率的高低来确定的,最终所确定的最优 c 为 1, g 为 0.25。在最优的 c 、 g 值下,所建 SVM 的模型预测结果见图 4。由图 4 可知,准确率达 100%,说明薏仁米主要营养成分含量结合 SVM 法来定性判别其 BCS 和 SCS 是可行的。

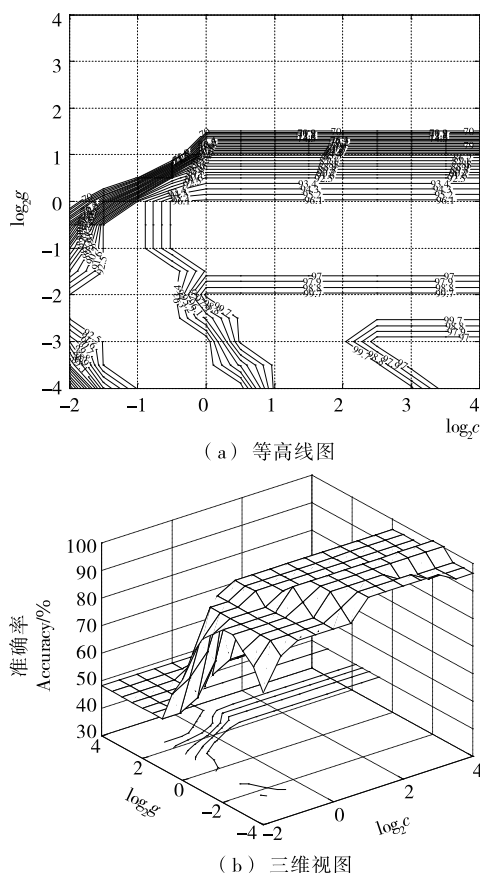


图 3 网格搜寻法寻参示意图

Figure 3 Schematic diagram of grid search parameter

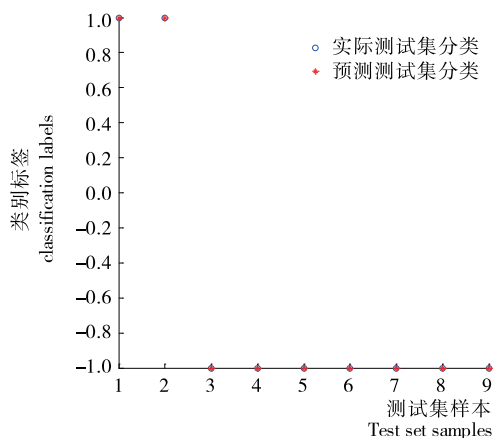


图 4 最优参数情况下的 SVM 分类结果图

Figure 4 The classification result diagram of SVM with optimal parameters

3 结论

本研究发现除了粗脂肪、Mg、Al 含量是 $BCS > SCS$ 外,其他营养成分含量均为 $SCS > BCS$,在一定程度上说明不同地区的 SCS 营养价值高于 BCS。对于 BCS 和 SCS 的判别,SVM 能通过核函数参数的优化来实现测试数据误差最小,且同时缩小模型泛化误差的上界来提高模型的泛化性能,其所建模型的预测准确率可达 100%,说明薏仁米主要营养成分含量结合化学计量学方法来判断 BCS 和 SCS 是可行的,也为大小颗粒薏仁米的判别提供了新的方法。由于不同地区的 BCS 和 SCS 主要营养成分含量有些差别很大,有些又很相近,PCA 所提取的特征变量能将大部分薏仁米分开,但还是有个别的样品被错分,如 5 号辽宁样品和 32 号山西样品,后续还需要结合薏仁米中的其他特征成分开展大小颗粒的判别。

参考文献

- [1] LIM T K. Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants: Volume 5, Fruits [M]. [S.l.]: Springer Netherlands, 2013: 243-261.
- [2] LIN L J, HSIAO E S L, TSENG H S. Molecular Cloning, Mass Spectrometric Identification, and Nutritional Evaluation of 10 Coixins in Adlay (*Coix lachryma-jobi* L.) [J]. Journal of Agricultural & Food Chemistry, 2009, 57(22): 10 916-10 921.
- [3] LU Yun, ZHANG Bing-yuan, JIA Zhuo-xia, et al. Hepatocellular carcinoma HepG2 cell apoptosis and caspase-8 and Bcl-2 expression induced by injectable seed extract of *Coix lachryma-jobi* [J]. Hepatobiliary & Pancreatic Diseases International, 2011, 10(3): 303-307.
- [4] HUANG B W, CHIANG M T, YAO H T, et al. The effect of adlay oil on plasma lipids, insulin and leptin in rat [J]. Phytomedicine International Journal of Phytotherapy & Phytopharmacology, 2005, 12(6): 433-439.
- [5] 苗明三. 薏苡仁多糖对环磷酰胺致免疫抑制小鼠免疫功能的影响 [J]. 中医药学报, 2002, 30(5): 49-50.
- [6] LIU Xing, WU Jin-hong, XU Jun-hua, et al. The impact of heat-moisture treatment on the molecular structure and physicochemical properties of *Coix* seed starches [J]. Starch-Stärke, 2016, 68(7/8): 662-674.
- [7] BAI Chun-qing, PENG Hai-long, XIONG Hua, et al. Carboxymethylchitosan-coated proliposomes containing coix seed oil: Characterisation, stability and in vitro release evaluation [J]. Food Chemistry, 2011, 129(4): 1 695-1 702.
- [8] OTSUKA H, TAKEUCHI M, INOSHIRI S, et al. Phenolic compounds from *Coix lachryma-jobi* var. Ma-yuen [J]. Phytochemistry, 2012, 28(3): 883-886.
- [9] 常冬妹, 卢红梅, 陈莉, 等. 兴仁薏仁米营养成分分析与评价 [J]. 食品工业, 2017(6): 303-307.

(下转第 133 页)

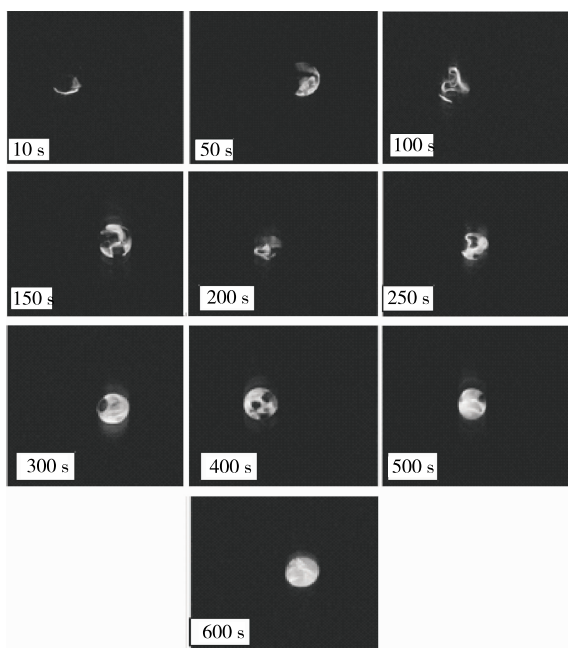


图3 铁皮石斛干花 MSE 复水图谱

Figure 3 MSE rehydration map of *D. officinale* stem flowers

中水分主要以结合水状态存在;② 石斛干花样品的复水速度快、复水均匀性好;③ 石斛干花硬度和脆性与干燥过程温湿度气流的热质传递动力学参数之间,表征出极大的关联性,随着干燥次数增加,硬度和脆性逐渐上升。

干燥本质是将具有一定湿度的气流作为干燥介质对产品进行一定时间的加工处理,从而达到产品的干制效果。本试验从本质上进行石斛干花品质变化研究,利用样品干制过程中温湿度气流的热质传递本质原理,分别从石斛鲜花干制过程中的水分状态变化、石斛干花硬度和脆性变化以及干花复水品质变化进行相关分析,补充干制前后样品只是进行简单感官品质对比分析的缺陷性。

后期将着重考察多种干燥方式对石斛花品质特性的

影响,并对石斛花干品和鲜品的营养成分、生物活性成分等作进一步研究,尤其对石斛花挥发油成分提取、分离进行深入研究,进一步增加石斛花的深加工产品,实现石斛花商品化生产。

参考文献

- [1] 吕圭源, 颜美秋, 陈素红. 铁皮石斛功效相关药理作用研究进展[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(4): 489-493.
- [2] 谭秋. 夏季养生多喝些铁皮石斛花茶[J]. 现代养生, 2012(7): 48-49.
- [3] 霍昕, 周建华, 杨迺嘉, 等. 铁皮石斛花挥发性成分研究[J]. 中华中医药杂志, 2008, 23(8): 735-737.
- [4] 李文静, 李进进, 李桂峰, 等. GC-MS 分析 4 种石斛花挥发性成分[J]. 中药材, 2015, 4(38): 777-780.
- [5] 林萍, 毕志明, 徐红, 等. 石斛属植物药理活性研究进展[J]. 中草药, 2003, 34(11): 19-22.
- [6] 龚庆芳, 何金祥, 黄宁珍, 等. 铁皮石斛花化学成分及抗氧化活性研究[J]. 食品科技, 2014, 39(12): 106-110.
- [7] 戴亚峰, 张炜玲, 李滨, 等. 霍山石斛花茶加工方法研究[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(19): 8 128-8 130.
- [8] 张雅琴, 丁作明, 安彦峰, 等. 铁皮石斛药材不同加工方法的比较[J]. 中国民族民间医药, 2015, 39(1): 23-25.
- [9] 张明辉, 李新宇, 周云洁, 等. 利用时域核磁共振研究木材干燥过程水分状态变化[J]. 林业科学, 2014, 50(12): 109-113.
- [10] 郝瑞, 刘伟华. 白肋烟干燥过程动力学及感官质量变化特征分析[J]. 科学技术创新, 2013(23): 91.
- [11] NAGY S, LEE H, ROUSEFF R L, et al. Nonenzymatic browning of commercially canned and bottled grape fruit juice[J]. Food Science, 1990, 38: 343-346.
- [12] 孙炳新, 赵宏侠, 冯叙桥, 等. 基于低场核磁和成像技术的鲜枣贮藏过程水分状态的变化研究[J]. 中国食品学报, 2016, 16(5): 252-257.
- [13] 白艺朋, 郭晓娜, 朱科学, 等. 降低水分活度延长荞麦半干面保质期的研究[J]. 中国粮油学报, 2018, 33(3): 28-33.
- [14] 李祥栋, 潘虹, 陆秀娟, 等. 薏苡种质的主要营养组分特征及综合评价[J]. 中国农业科学, 2018(5): 835-842.
- [15] 刘星, 毛丹卓, 王正武, 等. 薏仁种类的近红外光谱技术快速鉴别[J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(5): 1 259-1 263.
- [16] 谢中华. MATLAB 统计分析与应用: 40 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010: 354-373.
- [17] POMERANTSEV A L. Chemometrics in Excel [M]. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2014: 133-156.
- [18] 史峰, 王小川, 郁磊, 等. MATLAB 神经网络: 30 个案例分析[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010: 112-132.
- [19] ADANKON M M, CHERIET M. Support Vector Machine[J]. Computer Science, 2002, 1(4): 1-28.
- [20] YUAN Zhe-ming, TAN Xian-sheng. Nonlinear Screening Indexes of Drought Resistance at Rice Seedling Stage Based on Support Vector Machine[J]. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(7): 1 176-1 182.
- [21] LIU Xing, ZHANG Xin, RONG Yu-zhi, et al. Rapid Determination of Fat, Protein and Amino Acid Content in Coix, Seed Using Near-Infrared Spectroscopy Technique [J]. Food Analytical Methods, 2015, 8(2): 334-342.
- [22] GALVÃO R K, ARAUJO M C, JOSÉ G E, et al. A method for calibration and validation subset partitioning[J]. Talanta, 2005, 67(4): 736-740.
- [23] 梁逸曾, 许青松. 复杂体系仪器分析: 白、灰、黑分析体系及其多变量解析方法[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 217-220.

(上接第 81 页)