

不同品种小米淀粉理化特性的主成分分析与聚类分析

张桂英¹, 张喜文¹, 杨斌¹, 张国权², 李萍¹, 杜文娟¹, 姜龙波¹

(1. 山西省农业科学院谷子研究所, 山西长治 046011)

(2. 西北农林科技大学食品科学与工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 以 17 个小米品种为材料, 对其淀粉颗粒大小、化学组成、透光率、碘蓝值、糊化特性进行分析, 利用主成分分析和聚类分析对小米淀粉特性进行评价。结果表明小米淀粉特性指标间的相关性显著, 79% 的数据绝对值大于 0.30, 适宜用主成分分析研究变量的关系, 采用主成分分析进行综合评价, 通过主成分解释总变量提取了 2 个主成分反映原变量的 82.976% 的信息, 根据主成分的综合得分, 大同 29、A3、豫谷 9、豫谷 1 和晋谷 36 这 5 个小米品种综合主成分得分排在前列 5 名, 淀粉品质较好, 济谷 11、晋谷 41、夏 1、冀谷 21 和 A2 这 5 个品种综合得分低, 淀粉品质差。聚类分析将 17 个小米品种分为 3 类, 聚类分析结果与综合得分结果较为一致, 小米淀粉特性之间相关性较为显著, 为小米进一步的深加工提供理论依据。

关键词: 小米; 淀粉; 理化特性; 主成分分析; 聚类分析

文章编号: 1673-9078(2017)11-224-229

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.11.032

Principal Components Analysis and Cluster Analysis of Physicochemical Properties of Starch from Different Cultivars of Millet

ZHANG Gui-ying¹, ZHANG Xi-wen¹, YANG Bin¹, ZHANG Guo-quan², LI Ping¹, DU Wen-juan¹, JIANG Long-bo¹

(1. Millet Research Institute, Shanxi Academy of Agricultural Science, Changzhi 046011, China)

(2. College of Food Science and Engineering, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: The size, chemical composition, iodine blue value, light transmittance and pasting properties of starch granules were analyzed with 17 cultivars of starch, and principal components analysis and cluster analysis were used to evaluate the millet starch properties. The results showed that the correlation between the millet starch properties indicators was significant, and the absolute values of 79% were more than 0.30. The relationship between indicators was analyzed by principal components analysis and the comprehensive evaluation of millet starch properties were investigated by analysis of principal components. Two obtained components reflected 86.976% information of the original variability based on the total variance by principal components analysis. According to the comprehensive scores of principal components, Datong 29, A3, A1, Yugu1 and Yugu9 were in the top five by comprehensive principal components score, and the starch quality was better; comprehensive score of Jingu21, Jigu11, Xia1, JiGu21 and A2 was low, and the starch quality was poor. 17 millet varieties were divided into 3 groups by cluster analysis, the results of cluster analysis were consistent with comprehensive scores, and the correlation between millet starch characteristics was significant. These results could provide theoretical basis for further processing of millet.

Key words: millet; starch; physicochemical properties; principal components analysis; cluster analysis

谷子, 又称粟, 禾本科狗尾草属植物, 起源于我国黄河流域, 是世界上最古老的农作物之一^[1]。谷子脱壳后称为小米, 小米营养丰富, 含有蛋白质、糖类、

收稿日期: 2017-06-08

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项基金资助项目 (nycytx-13)

作者简介: 张桂英 (1983-), 女, 硕士, 研究实习员, 主要从事谷子加工方面研究

通讯作者: 张喜文 (1954-), 男, 研究员, 主要从事谷物加工与栽培方面的研究

脂肪、多种维生素与硒、铁等多种人体所必需的营养物质, 具有健胃消食安神的作用、滋阴养血和催乳补身的功能, 被视为产妇、婴儿及老人的滋补佳品^[2,3]。

小米的主要成分是淀粉, 约占小米质量的 60%~70%^[4]。淀粉是食品加工的基础原料, 淀粉理化特性影响着小米的食用品质、加工品质及贮藏特性^[5-11]。我国谷子种子资源丰富, 不同品种淀粉理化特性具有较大差异, 直接影响其在加工中的应用^[11-13], 因此, 对不同品种小米淀粉理化特性进行综合研究,

对选育新品种和合理的食品加工具有重要的意义。目前国内缺乏对小米淀粉理化特性方面的综合研究,已有的研究主要是对小米淀粉单个指标的分析^[14-16],而单一指标不能综合评价小米淀粉的性质,对于多指标进行评价时又会因为各指标间存在程度不同的相关性,导致各单项指标提供的信息发生重叠,不易得出简明的规律^[17]。主成分分析是将多指标线性组合为较少的综合指标,这些综合指标彼此间既不相关,又能反应原来多指标的信息,其结果可以进一步用于回归、聚类分析等^[18]。本研究通过测定 17 个小米品种淀粉的粒径大小、直链淀粉含量、透光率、碘蓝值及糊化特性等指标进行测定分析,用主成分分析与聚类分析的统计方法综合评价不同品种小米淀粉的理化特性,筛选出最优的小米淀粉,旨在为小米深加工提供技术指导 and 理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

谷子品种鲁谷 10、济谷 11 和济谷 13 由山东省农科院提供;安 4738、豫谷 1 和豫谷 9 由河南省农科院提供;夏 1、冀谷 20 和冀谷 21 由河北省农科院提供;晋谷 21 和晋谷 41 由山西省农科院经济作物研究所提供;晋谷 36 由山西省农科院作物研究所提供;晋谷 38 由山西省农科院高粱研究所提供;大同 29 由山西省农科院高寒研究所提供;A1、A2 和 A3 由山西省农科院谷子研究所育成,其中 A2 为糯性品种。

1.2 仪器与设备

FW100 高速万能粉碎机,天津泰斯特仪器有限公司;JEOL JFC-1600 离子溅射镀膜仪、JEOL JEM-6490 LV,扫描电子显微镜,日本电子公司;B3-223PHK 型偏光显微镜,麦克奥迪实业集团中国有限公司;Mastersizer2000 激光粒度仪,英国马尔文公司;UV1700 紫外可见分光光度计,捷森科技发展有限公司;Brabender 微型黏度糊化仪,德国布拉本德公司。

1.3 试验方法

1.3.1 小米淀粉的制备

小米籽粒粉碎后过 0.25 mm 筛。取适量小米粉,按 1:3 的比例浸于乙醚中,重复脱脂 2 次,每次 2 h,期间搅拌数次;脱脂后的样品按 1:3 的比例浸于 60% 乙醇溶液中重复脱糖 2 次,每次 2 h,期间搅拌数次。将脱脂脱糖后的样品于 4000 r/min 离心 10 min,用蒸馏水洗涤 3 次,调节 pH 至 10.0。加入 0.03% 的碱性

蛋白酶(10000 U/g),在 45 °C 下搅拌水解 6 h,4000 r/min 离心 10 min,用蒸馏水洗涤 3 次。沉淀分为三层,剔除上层后于烘箱中 45 °C 烘干,粉碎过 0.15 mm 筛,装入干燥容器中备用。

1.3.2 淀粉颗粒的粒度分布分析

称取 0.3 g 左右淀粉,置于装有蒸馏水的样品池中,用超声波振荡 30 s,使淀粉颗粒分布均匀,当遮光率达到 10~15% 时开始测定,重复 3 次。测试条件:遮光率:10~15%;转速:3000 r/min。

1.3.3 直链淀粉含量的测定

采用 GB/T 15683-2008 中稻米直链淀粉含量的测定方法。

1.3.4 淀粉糊黏度

使用布拉本德黏度糊化仪分析,称取适量的淀粉与蒸馏水,配制成质量浓度为 0.08 kg/L 的淀粉乳。测定参数设定为:从 30 °C 开始升温,升温速度为 7.5 °C/min,至 93 °C 保温 5 min,以相同速度将温度降至 50 °C,保温 1 min。测量转速为 250 r/min,黏度单位为 BU。黏度曲线上 A 点为起始糊化温度,B 点为峰值黏度,C 点为起始恒温糊化阻力,C-B 表示淀粉糊化的难易,差值越大表示淀粉越易于糊化,D 点为起始降温糊化阻力,用 B-D 反映淀粉糊的热黏度稳定性,E 点为降温结束糊化阻力,E-D 反映淀粉糊的老化或回生程度,F 点为 50 °C 恒温结束糊化阻力,F-E 反映淀粉糊的冷黏度稳定性。

1.3.5 淀粉糊的透明度

将淀粉样品配制成 10 g/L 的淀粉乳,于沸水浴上加热搅拌 30 min,使之充分糊化。冷却至室温,以蒸馏水为参比,用分光光度计在 620 nm 处测定淀粉糊的透光率。

1.3.6 数据处理

采用 SPSS 18.0 统计分析软件,进行小米淀粉性质的主成分分析与聚类分析

2 结果分析

2.1 不同品种小米淀粉特性的相关性分析

用 SPSS 18.0 软件处理标准化的数据可得 8 个变量的相关系数矩阵如表 1 所示,体积平均粒径与透光率显著相关,直链淀粉含量与透光率、糊化温度、峰值黏度、破损值和回升值极显著相关,与碘蓝值显著相关;透光率与糊化温度、峰值黏度和破损值极显著相关,与回升值显著相关;糊化温度与峰值黏度、破损值极显著相关,与回升值显著相关;峰值黏度与破损值极显著相关,与回升值显著相关。总的数据来看,

表 1 相关系数矩阵

Table 1 Correlation coefficient matrix

指标	体积平均粒径	直链淀粉含量	透光率	碘蓝值	糊化温度	峰值黏度	破损值	回升值
体积平均粒径	1.000							
直链淀粉含量	0.425	1.000						
透光率	-0.509*	-0.820**	1.000					
碘蓝值	-0.297	0.538*	-0.414	1.000				
糊化温度	0.289	0.624**	-0.715**	0.555*	1.000			
峰值黏度	-0.262	-0.896**	0.806**	-0.613**	-0.682**	1.000		
破损值	-0.379	-0.948**	0.858**	-0.648**	-0.715**	0.930**	1.000	
回升值	0.357	0.750**	-0.567*	0.450	0.528*	-0.577*	-0.684**	1.000

注: *在 0.05 水平上显著相关; **在 0.01 水平上显著相关。

79%的数据绝对值大于 0.30, 各变量两两之间显著相关, 因而适宜用主成分分析法来研究变量之间的关系。

2.2 小米淀粉特性的主成分分析

表 2 小米淀粉特性的特征值及贡献率

Table 2 Eigenvalues and contributions of millet starches

properties			
指标	总方差	方差贡献率/%	方差累计贡献率/%
1	5.295	66.184	66.184
2	1.343	16.792	82.976
3	0.537	6.718	89.694
4	0.429	5.362	95.056
5	0.165	2.068	97.123
6	0.151	1.883	99.006
7	0.054	0.679	99.685
8	0.025	0.315	100.000

表 3 因子载荷矩阵

Table 3 Components Matrix

	成分	
	1	2
体积平均粒径	0.332	0.910
直链淀粉含量	0.938	0.151
透光率	-0.871	-0.279
碘蓝值	0.701	-0.653
糊化温度	0.803	-0.002
峰值黏度	-0.928	0.024
破损值	-0.974	-0.056
回升值	0.753	0.138

对小米淀粉理化特性的 8 个指标进行主成分分析

(表 2 和表 3), 前 2 个主成分的特征值分别为 5.295 和 1.343, 其方差贡献率分别为 66.184% 和 16.792%, 前两个主成分的累计贡献率已达 82.976%, 说明前 2 个主成分所包含的要素信息量可以反映出 8 个变量的大部分信息, 因此可以分别用这 2 个主成分对 17 个小米品种的淀粉特性进行概括分析。

从表 4 可看出, 第一主成分与直链淀粉含量、起始糊化温度高度正相关, 与透光率、峰值黏度和破损值高度负相关, 与碘蓝值和回升值中度正相关; 第二主成分与体积平均粒径高度正相关; 总方差 50% 以上的贡献来自第一主成分, 因此糊化温度、峰值黏度和回升值是淀粉的特征指标。

2.3 不同品种小米淀粉特性的综合评价

根据特征值和相应的特征向量, 计算 17 个品种的各自的主成分得分, 按前 2 个主成分大小依次排序(表 4), 可较直观地判断小米淀粉品质的优劣。

从表 4 可以看出, 17 个品种中, 大同 29 的第一主成分得分最高, A2 得分最低; A3 的第二主成分得分最高, A1 的第二主成分得分最低。

从综合特性上看, 综合主成分得分越高, 综合品质越好。大同 29、A3、豫谷 9、豫谷 1 和晋谷 36 这 5 个小米品种综合主成分得分排在前 5 名, 说明大同 29、A3、豫谷 9、豫谷 1 和晋谷 36 的小米淀粉的综合特性表现最好; 济谷 11、晋谷 41、夏 1、冀谷 21 和 A2 的综合主成分得分排在最后 5 名, 说明这 5 个小米品种淀粉综合特性表现最差。对小米淀粉特性评价时, 不能单一考虑某个性状或某几个性状, 应该对其进行全面综合评价。

表4 不同品种小米淀粉特性的主成分值、综合主成分值及排序

Table 4 Principal components value, comprehensive principal components value of millet starches properties in different cultivars

品种	第一主成分	排序	第二主成分	排序	综合主成分	排序
大同 29	2.1	1	1.65	2	1.67	1
A3	1.81	2	2.09	1	1.55	2
A1	1.17	3	-2.18	17	0.41	10
豫谷 1	1.13	4	-0.96	14	0.59	4
豫谷 9	0.85	5	1.02	4	0.73	3
鲁谷 10号	0.83	6	-0.46	13	0.47	6
冀谷 20	0.71	7	-0.08	9	0.46	7
晋谷 36	0.56	8	0.65	6	0.48	5
济谷 13	0.51	9	0.69	5	0.45	9
安 4738	0.49	10	-0.34	12	0.27	11
晋谷 41	0.47	11	-1.78	16	0.01	14
晋谷 38	0.44	12	-0.27	10	0.24	12
晋谷 21	0.44	13	1.05	3	0.46	8
济谷 11	0.43	14	-1.42	15	0.04	13
夏 1	-0.28	15	-0.29	11	-0.23	15
冀谷 21	-4.66	16	0.33	7	-3.03	16
A2	-7	17	0.31	8	-4.58	17

2.4 不同品种小米淀粉特性的聚类分析

表6 不同品种小米淀粉各类特性的平均值

Table 6 Classification results of millet starches properties in different cultivars

类别	I	II	III
体积平均粒径	9.92	8.65	8.43
直链淀粉含量	15.52	13.98	2.57
透光率	7.9	10.5	25.8
碘蓝值	0.724	0.782	0.694
糊化温度	75.9	75.6	69.4
峰值黏度	267	275	447
破损值	96	113	275
回升值	227	223	99

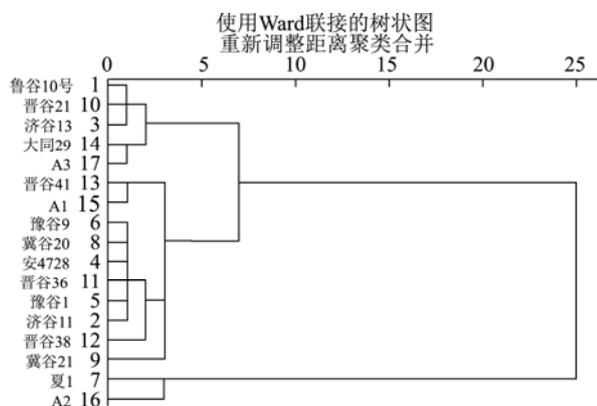


图1 小米淀粉特性的聚类图

Fig.1 Cluster charter of millet starches properties

表5 不同品种小米淀粉特性的分类结果

Table 5 Classification results of millet starches property of different varieties

类别	品种数	名称
I	5	鲁谷 10、晋谷 21、 济谷 13、大同 29、A3
II	11	晋谷 41、A1、豫谷 1、冀谷 20、 豫谷 9、安 4738、晋谷 36、 济谷 11、晋谷 38、冀谷 21
III	1	夏 1、A2

聚类分析是对研究对象或者指标的诸多特性进行分类^[19]，即将样品按照品质特性相似程度逐渐聚合在一起相似度最大的优先聚合在一起，最终按照类别的综合性质的多个品种聚合，从而完成聚类分析的过程^[20,21]。本实验对 17 个品种的小米淀粉特性采用离差平方和法进行 Q 型系统聚类分析，系统聚类结果如图 1 所示，结果见表 5，小米淀粉特性平均值列于表 6 由表 5 和表 6 可以看出，第一类聚集了 5 个样品即鲁谷 10、晋谷 21、济谷 13、大同 29 和 A3，这一类主要聚集了大颗粒淀粉，直链淀粉含量最高、糊化温度最高，回升值最高，此类小米不宜做米粥类食品，与综合主成分得分结果基本一致；第二类聚集了 10

个小米样品即晋谷 41、A1、豫谷 1、冀谷 20、豫谷 9、安 4738、晋谷 36、济谷 11、晋谷 38 和冀谷 21, 这些品种透光率、碘蓝值、峰值黏度和破损值高, 此类小米适宜做米粥类的食品; 第三类为 A2 和夏 1, A2 和夏 1 本身为糯性小米, 直链淀粉含量显著低于其他小米品种, 透光率大, 峰值黏度最高, 回升值最低最不易老化, 破损值最高, 热稳定性差, 此品种适宜开发小米薄膜。

3 结论与讨论

3.1 淀粉是小米加工利用的基础原料, 其淀粉结构和性质在小米的加工中起决定作用。前人研究主要是通过直连淀粉含量、溶解度、峰值黏度、透明度、破损值、回生值和回冷值等单个指标分析比较小米淀粉的特性, 采用主成分分析和聚类分析对多样品多指标的综合分析能更全面体现淀粉特性。

3.2 本研究对小米淀粉的 8 个指标进行主成分分析, 提取了 2 个主成分反映原变量的 82.976% 的信息, 以方差贡献率作为权重, 构建综合评价模型, 得出小米淀粉特性的综合得分和排序, 根据综合得分值, 大同 29、A3、豫谷 9、豫谷 1 和晋谷 36 这 5 个小米品种综合主成分得分排在前 5 名, 淀粉品质较好, 有利于小米的进一步深加工, 济谷 11、晋谷 41、夏 1、冀谷 21 和 A2 这 5 个品种综合得分低, 淀粉品质差。根据小米淀粉理化特性采用聚类分析将 17 个小米品种分为 3 类, 聚类分析结果与综合得分结果较为一致, 不同小米淀粉聚类结果在一定程度上反映了淀粉特性在不同品种间存在较大差异, 小米的淀粉特性与其亲缘关系之间有一定的联系, 亲缘关系相近的淀粉特性往往相近, 同时, 淀粉特性存在地域性特征, 来源相近的小米样品其淀粉特性也相近。

参考文献

- [1] Ibrahima O, Dhifi W, Raies A, et al. Study of the variability of lipids in some millet cultivars from Tunisia and Mauritania [J]. *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, 2004, 81(2): 112-116
- [2] 陈正宏, 乐静, 沈爱光. 小米淀粉特性的研究[J]. 郑州粮食学院学报, 1993, 1: 38-43
CHEN Zheng-hong, LE Jing, SHEN Ai-guang. Study on the characteristic of millet starch [J]. *Journal of Zhengzhou Grain College*, 1993, 1: 38-43
- [3] 孙翠霞, 郭晓冬, 李颖, 等. 不同品种小米淀粉品质特性研究[J]. 粮食与油脂, 2012, 25(5): 10-13
SUN Cui-xia, GUO Xiao-dong, LI Ying, et al. Study on starch properties of different varieties millet [J]. *Cereals & Oils*, 2012, 25(5): 10-13
- [4] 焦华杰. 方便小米粥生产工艺及糊化回生机理研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013
JIAO Hua-jie. Processing of instant millet gruel and mechanism of its gelatinization and retrogradation [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2013
- [5] 马力, 李新华, 路飞, 等. 小米淀粉与玉米淀粉糊性质比较研究[J]. 粮食与油脂, 2005, 2: 22-25
MA Li, LI Xin-hua, LU Fei, et al. Study on pasting properties between millet starch and maize starch [J]. *Cereals & Oils*, 2005, 2: 22-25
- [6] 周文超, 李强双, 曹龙奎. 我国不同地区特色品种小米淀粉性质[J]. 食品科学, 2014, 35(5): 59-63
ZHOU Wen-chao, LI Qiang-shuang, CAO Long-kui. Starch properties of different millet varieties from different regions of China [J]. *Food Science*, 2014, 35(5): 59-63
- [7] Matalanis A M, Campanella O H, Hamaker B R. Storage retrogradation behavior of sorghum, maize and rice starch pastes related to amylopectin fine structure [J]. *Journal of Cereal Science*, 2009, 50(1): 74-81
- [8] 杨斌, 张喜文, 张国权, 等. 夏谷区主栽谷子品种淀粉理化特性研究[J]. 食品科学, 2012, 33(17): 58-63
YANG Bin, ZHANG Xi-wen, ZHANG Guo-quan, et al. Physical and chemical properties of starch from major summer millet cultivars in China [J]. *Food Science*, 2012, 33(17): 58-63
- [9] Lindeboom N, Chang P R, Tyler R T. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review [J]. *Starch-Starke*, 2004, 56(3/4): 89-99
- [10] 刘成, 张佩丽, 沈群. 河北产区 9 个谷子品种淀粉性质的研究[J]. 食品工业科技, 2010, 31(1): 81-83
LIU Cheng, ZHANG Pei-li, SHEN Qun. Study on the starch properties of nine varieties of millet in Hebei province [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2010, 31(1): 81-83
- [11] Whattam J, Cornell H J. Distribution and composition of the lipids in starch fractions from wheat flour [J]. *Starch Starke*, 1991, 43(4): 152-156
- [12] Peterson D G, Fulcher R G. Variation in Minnesota HRS wheats: starch granule size distribution [J]. *Food Research International*, 2001, 34(4): 357-363
- [13] 郭晓冬, 李颖. 小米淀粉提取方法的比较[J]. 中国粮油学报, 2011, 26(5): 26-29
GUO Xiao-dong, LI Ying. Comparative study on methods for

- extracting starch from millet [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2011, 26(5): 26-29
- [14] 陈正宏,乐静,沈爱光.小米淀粉特性的研究[J].郑州粮食学院学报,1992,3:38-43
CHEN Zheng-hong, LE Jing, SHEN Ai-guang. Study on the characteristic of millet starch [J]. Journal of Zhengzhou Institute of Technology, 1992, 3: 38-43
- [15] 马金丰.直链淀粉含量对谷子淀粉黏滞特性的影响[J].中国农学通报,2010,26(15):195-198
MA Jin-feng. Effects of amylose content on RVA profile character of millet starch [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(15): 195-198
- [16] 刘辉,张敏.不同品种小米的直链淀粉含量与快速黏度分析仪谱特征值关系研究[J].食品科学,2010,31(15):31-33
LIU Hui, ZHANG Min. Relationships between amylose content and gelatinization characteristics of different varieties of millet [J]. Food Science, 2010, 31(15): 31-33
- [17] 周广生,梅方竹,周竹青,等.小麦不同品种耐湿性生理指标综合评价及其预测[J].中国农业科学,2003,36(11): 1378-1382
ZHOU Guang-sheng, MEI Fang-zhu, ZHOU Zhu-qin, et al. Comprehensive evaluation and forecast on physiological indices of waterlogging resistance of different wheat varieties [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(11): 1378-1382
- [18] 袁志发,周静芋.多元统计分析[M].北京:科学出版社,2002
YUAN Zhi-fa, ZHOU Jing-yu. Multivariate statistical analysis [M]. Beijing: Science Press, 2002
- [19] 公丽艳,孟宪军,刘乃侨,等.基于主成分与聚类分析的苹果加工品质评价[J].农业工程学报,2014,30(13):276-285
GONG Li-yan, MENG Xian-jun, LIU Nai-qiao, et al. Evaluation of apple quality based on principal component and hierarchical cluster analysis [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(13): 276-285
- [20] 张敏,刘辉.基于主成分分析法的小米食用品质评价模型的建立[J].东北农业大学学报,2011,42(8):7-12
ZHANG Min, LIU Hui. Assessment model of taste quality of millet based on principal component analysis method [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2011, 42(8): 7-12
- [21] 钱丽丽,李平惠,杨义杰,等.不同产地芸豆中矿物元素的因子分析与聚类分析[J].食品科学,2015,36(14):102-106
QIAN Li-li, LI Ping-hui, YANG Yi-jie, et al. Factor analysis and clustering analysis of trace elements in kidney beans from different producing areas [J]. Food Science, 2015, 36(14): 102-106