

超声波预处理对苹果片真空冷冻干燥过程的影响

周 颀¹, 孙艳辉¹, 蔡华珍¹, 王海鸥^{2,*}

(1. 滁州学院生物与食品工程学院, 安徽滁州 239000 ;

2. 南京晓庄学院食品科学学院, 江苏南京 211171)

摘要:为缩短果蔬真空冷冻干燥时间、提高干燥效率,本研究以典型仁果类物料苹果作为实验对象,采用超声波预处理技术,以超声波功率、超声水温、超声处理时间为影响因素,以冻干时间和干制品复水比为考察指标,分别进行单因素和正交优化实验。其后测试了经超声波预处理后干制品的色泽、质构等品质指标。结果表明,经正交实验优化后的超声波处理(超声波功率200 W,超声温度35 ℃,超声时间10 min),可显著缩短苹果片冻干总时间,且提高成品的复水比。品质测试结果显示苹果片经超声波预处理后,其干制品 V_c 保留量更高、颜色更加洁白、硬度变小更加疏松。
关键词:苹果片,超声波,预处理,真空冷冻干燥

Effect of ultrasonic pretreatment on vacuum freeze drying process of apple slices

ZHOU Di¹, SUN Yan-hui¹, CAI Hua-zhen¹, WANG Hai-ou^{2,*}

(1. College of Biotechnology and Food Engineering, Chuzhou University, Chuzhou 239000, China ;

2. School of Food Science, Nanjing Xiaozhuang University, Nanjing 211171, China)

Abstract: To shorten the vacuum freeze drying time and improve the efficiency of drying, the effect of ultrasonic pretreatment on the typical pip fruit—apple was studied. Taking the freeze drying time and rehydration ratio of dried apple slices as the evaluating indexes, to optimize the ultrasonic technology from the aspects of ultrasonic power, ultrasonic temperature and processing time, single-factor and orthogonal experiments was used in this paper. Color, texture and other quality indicators of dried apple slices after ultrasonic pretreatment were also tested in this paper. The results showed that an optimized strategy (ultrasound power 200 W, ultrasound water temperature 35 ℃, treatment time 10 min) by orthogonal test could reduce the drying time and improve the rehydration ratio. Quality test results showed that the dried apple slices prepared by ultrasonic pretreatment had higher V_c retention amount, more white color, and more loose.

Key words: apple slices; ultrasonic; pretreatment; vacuum freeze drying

中图分类号: TS205.1

文献标识码: B

文章编号: 1002-0306(2015)22-0282-05

doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2015.22.050

真空冷冻干燥技术是国际公认的生产高品质、高附加值脱水食品的加工方法,完全符合当前“绿色、方便、营养、安全”的食品发展趋势,是一项极具发展潜力的高新食品加工技术。当前国际消费市场对于冻干食品需求巨大,产量以每年30%的速度递增,且还存在较大供应缺口^[1]。与热风干燥等常规方法相比,真空冷冻干燥技术虽可获得极佳的产品品质,但仍存在干燥时间长、能耗大、产品成本高等缺陷,较大程度上限制了其在果蔬等食品加工业的广泛应用。果蔬冷冻干燥成本通常是热风干燥的4~8倍^[2],在

实际生产中冻干技术主要用于高附加值果蔬产品加工,且冻干制品多数以出口外销为主。因此,如何在保证冻干制品品质的同时,尽可能缩短冷冻干燥时间、降低生产成本、提高干燥效率,仍是当前食品真空冷冻干燥技术面临的主要问题和研究热点。

真空冷冻干燥工艺过程分为预处理、预冻、冻干(升华和解析干燥)和后处理4大工序。其中预冻和冻干是冷冻干燥关键环节,也是食品冷冻干燥学术领域的研究重点,人们对其研究和认知相对较为深入和全面。在冷冻干燥前对物料进行特殊的预处理,是

收稿日期: 2015-04-20

作者简介: 周颀(1989-),女,硕士研究生,研究方向:食品加工技术, E-mail: zhoudi06@163.com。

* 通讯作者: 王海鸥(1978-),男,博士,副研究员,研究方向:农产品加工技术与装备, E-mail: who1978@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(31301592),安徽省专业改造及新专业建设(2013zytz072),滁州学院校级规划项目(2014GH42)。

提高冷冻干燥效率、降低生产成本的新途径和新方法,近年来,国内外一些学者采用糖液渗透、超声波处理、高压脉冲电场等特殊预处理技术和方法对冷冻干燥前处理环节开展了一些探索研究,取得较好的冷冻干燥效果^[3]。其中,超声波技术因其独特的热效应、机械效应和空化效应在食品干燥上所起的作用受到越来越广泛的关注^[4-7],一些国内外研究者已在食品加工领域将超声波技术与真空冷冻干燥技术结合起来,取得了较好的研究成果^[8-11],然而果蔬冷冻干燥的超声波预处理技术还有很大的探索和研究空间。

本研究拟将超声波技术用于苹果片真空冷冻干燥前处理,探索不同的超声波预处理条件对苹果片真空冷冻干燥速率及成品复水比的影响,从而优化出较优的超声波预处理工艺参数,并对冻干苹果片的部分品质指标进行测定,以期对超声波和真空冷冻干燥技术的结合应用提供一定的理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

新鲜红富士苹果 市售;草酸、碳酸氢钠、抗坏血酸 天津市科密欧化学试剂有限公司;2,6-二氯酚酚钠 上海金穗生物科技有限公司。

SCIENTZ-10ND冷冻干燥机 宁波新芝生物科技股份有限公司;UWave-1000型微波-紫外-超声波三位一体合成萃取反应仪 上海新仪微波化学科技有限公司;TA.XTplus物性测试仪 英国Stable Micro System公司;3nh高品质电脑色差仪 深圳市三恩时科技有限公司;DHG-9101-OSA型电热恒温鼓风干燥箱 上海三法科学仪器有限公司;HHS型电热恒温水浴锅 上海博讯实业有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 苹果的前处理 苹果洗净去皮、去核、切片,切片厚度5 mm,分别插入具有编号的牙签进行标记,待用。

1.2.2 工艺流程 苹果前处理→超声波处理→预冻2 h(超低温冰箱-50℃)→真空冷冻干燥(抽真空、升华干燥、解析干燥)→出仓→确定冻干时间、干制品品质分析。

1.2.3 超声波预处理的单因素实验 实验组经不同超声波条件处理(影响因素:超声波功率、超声水温、超声处理时间)后,预冻2 h、真空冷冻干燥、测定冻干时间及干制品品质指标。对照组除未进行超声波处理外,其余条件严格保持一致。每组实验重复3次,具体参数如下:

1.2.3.1 超声波功率的影响 在超声水温25℃,超声处理时间10 min的条件下,调节超声波功率为100、200、300、400、500 W,进行单因素实验。

1.2.3.2 超声水温的影响 在超声波功率200 W,超声处理时间10 min的条件下,调节超声水温为25、30、35、40、45℃,进行单因素实验。

1.2.3.3 超声处理时间的影响 在超声波功率200 W,超声水温35℃的条件下,调节超声处理时间为5、10、15、20、25 min,进行单因素实验。

1.2.4 正交实验设计及综合评分设定 在单因素实

验的基础上,采用三因素三水平,按 $L_9(3^3)$ 正交设计进行超声波预处理缩短真空冷冻干燥时间的正交实验,各因素及水平设计如表1所示。

表1 正交设计因素与水平表

Table 1 Factors and levels of the orthogonal design

水平	因素		
	A 超声波功率 (W)	B 超声水温 (℃)	C 超声处理时间 (min)
1	100	30	5
2	200	35	10
3	300	40	15

综合考虑干燥时间和复水比两个指标,采用综合加权评分法进行参数优化^[12],其中冻干时间越短、复水比越大,表明真空冷冻干燥结果越好。由于果蔬制品冻干的主要目标是去除水分,因此在加权评分时,设定真空冷冻干燥时间10.0 h为100分,之后冻干时间每增加0.5 h,扣减5分,其权重系数为0.7;设定最大复水比为100分,其权重系数为0.3。

综合评分 $= (100 - (T_1 - 10) \times 5 / 0.5) \times 0.7 + (T_2 / T_{\max}) \times 0.3$

式中: T_1 为每一组的真空冷冻干燥时间; T_2 为每一组的复水比; T_{\max} 为实验组的最大复水比。

1.2.5 单因素及正交实验指标测定

1.2.5.1 含水率的测定 参照GB 5009.3-2010^[13]。

1.2.5.2 复水比的测定 将真空冷冻干燥好的苹果片(m_1)放入蒸馏水中充分吸水30 min,复水后快速沥干表面和四周的水,准确称重(m_2),复水比(g/g)= m_2/m_1 ^[14]。

1.2.5.3 真空冷冻干燥终点的确定 将物料平铺于真空冷冻干燥仓料盘中,当物料温度与冻干机隔板温度基本一致时,判定为冻干终点,记录相应的真空冷冻干燥时间,测定产品复水比。

1.2.6 品质指标测定

1.2.6.1 维生素C含量的测定 采用2,6-二氯酚酚法^[15]。测试结果按每100 g冻干苹果片含维生素C的毫克数表示。

1.2.6.2 色泽的测定 取处理完毕的苹果片用色差计进行色差值的测定。根据CIELAB表色系统, L^* 为明亮度指数, a^* 和 b^* 为彩度指数。 L^* 值越大表明样品颜色越接近于白色;当 a^* 值为正值时,值越大说明样品的颜色越接近红色;当 a^* 值为负值时,绝对值越大说明样品的颜色越接近绿色;当 b^* 值为正值时,值越大说明样品的颜色越接近黄色;当 b^* 值为负值时,绝对值越大说明产品的颜色越接近蓝色。

1.2.6.3 质构的测定 采用TA.XTplus物性测试仪进行测试,参数设置如下:P/2型穿刺探头,测试速率0.5 mm/s,测试距离8 mm,触发点10 g。产品硬度以质构图中的峰值表示,数值越大表明样品硬度越大,单位为“g”;产品脆度以穿刺过程中因力值变化波动而凸显出的峰个数多少表示,峰数越多产品脆度越大,单位为个^[16]。

1.2.6.4 感官评定 根据食品感官评价标准,结合冻干苹果片的特点,制定本实验的感官评价标准,

采用10分制,使用加权法对苹果片干制品的感官品质进行评价,将外观、质地和风味用分数表示,由得分进行综合评定^[17]。具体方法见表2。

表2 感官评定分值表

Table 2 The value of evaluation for apple slices

指标	状态	得分
外观	乳白色或浅黄色,表面平整,皱缩度很小	3
	黄色,表面较平整,皱缩度小	2
	深黄色或褐色,表面不平整,皱缩度很大	1
质地	口感疏松、质脆	3
	口感较疏松、质脆	2
	柔软、无脆感	1
风味	果香味浓郁	4
	有明显的果香味,较浓郁	3
	果香味清淡	2
	无果香味,有焦糊味或其他异味	1

1.2.7 数据处理 采用Excel进行数据计算及作图,采用SPSS软件对实验数据进行显著性分析,显著性水平 $p < 0.05$ 。

2 结果与讨论

2.1 超声波处理对苹果片真空冷冻干燥时间和复水比的影响

2.1.1 超声波功率对苹果片冻干时间和干制品复水比的影响 由图1可知,随着超声波功率的增加,苹果片真空冷冻干燥所需时间呈现先减少后增加的趋势,超声功率200 W时所需冻干时间最短,为12.5 h,比未经超声处理的苹果片冻干时间缩短了22%;复水比呈现先增大后减小的趋势,200 W时复水比最高,为5.06,比未经处理的苹果片复水比提高了33.9%。适当的超声功率使苹果片产生空化效应或组织破碎,从而形成微孔道,使其在冻干过程中水分逸出更加顺利,而功率过大,可能使得苹果片的内部组织破坏剧烈,反而不利于水分的逸出,导致冻干时间增加、复水比降低^[18]。

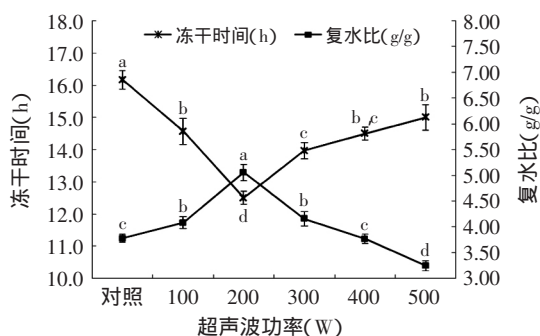


图1 超声波功率对苹果片真空冷冻干燥时间和复水比的影响

Fig.1 The effect of different ultrasonic power on the vacuum freeze drying time and rehydration ratio of apple slice

注:同一条曲线上字母不同者表示有显著性差异($p < 0.05$),图2、图3同。

2.1.2 超声水温对苹果片冻干时间和干制品复水比

的影响 由图2可知,随着超声水温的增加,苹果片冷冻干燥所需时间呈现先减少后增加的趋势,超声水温35℃时所需冻干时间最短,为11.5 h,比未经处理的苹果片冻干时间缩短了28%;复水比呈现先增大后减小的趋势,35℃时复水比最高,为6.13,比未经处理的苹果片复水比提高了62.2%。超声时水温的适当提高可辅助超声波对苹果片组织进行机械作用,内部组织更为疏松,使其在冻干过程中更易升华水分,而当温度过高,苹果片内部组织受到破坏,反而不利于冻干过程中水分的升华。

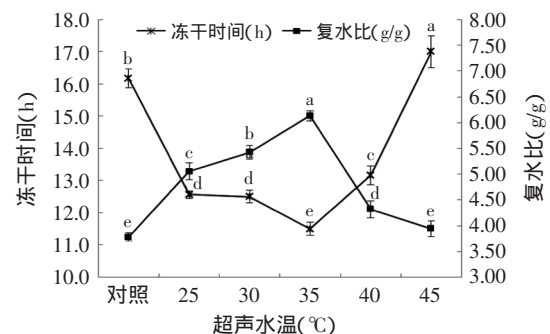


图2 超声水温对苹果片真空冷冻干燥时间和复水比的影响

Fig.2 The effect of different ultrasonic water temperature on the vacuum freeze drying time and rehydration ratio of apple slice

2.1.3 超声处理时间对苹果片冻干时间和干制品复水比的影响 由图3可知,随着超声时间的增加,苹果片冷冻干燥所需时间呈现先减少后增加的趋势,超声10 min可使冻干时间缩短为11.5 h,比未经处理的苹果片冻干时间缩短了28%;复水比呈现先增大后减小的趋势,10 min时复水比最高,为6.13,比未经处理的苹果片复水比提高了62.2%。适当时间的超声处理使得苹果片内部组织逐渐形成海绵状疏松结构,形成的冰晶明显减小,分布更加均匀,在冻结过程中利于升华通道的生成,从而缩短冻干总时间。当超声时间过长,机械作用可能使得苹果片内部组织发生闭塞,不利于后期水分的升华。

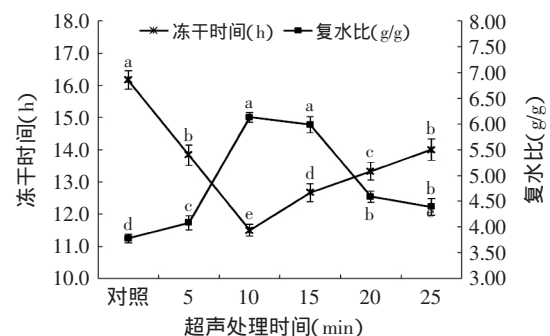


图3 超声处理时间对苹果片真空冷冻干燥时间和复水比的影响

Fig.3 The effect of different ultrasound time on the vacuum freeze drying time and rehydration ratio of apple slice

2.2 超声波预处理正交实验结果与分析

按照表1设计正交实验,测定苹果片真空冷冻干燥时间和冻干制品的复水比,正交实验结果及方差

分析如表3、表4所示。

表3 正交实验结果分析表 $L_9(3^3)$

Table 3 The results of orthogonal test $L_9(3^3)$

实验号	A	B	C	空白	真空冷冻干燥时间(h)	复水比(g/g)	综合评分
1	1	1	1	1	14.5	5.13	63.4
2	1	2	2	2	13.5	5.81	73.7
3	1	3	3	3	14.5	6.17	68.5
4	2	1	2	3	12.5	5.42	78.8
5	2	2	3	1	12.5	5.99	81.6
6	2	3	1	2	13.0	5.06	73.6
7	3	1	3	2	14.0	4.90	65.8
8	3	2	1	3	13.0	4.53	71.0
9	3	3	2	1	13.5	4.19	65.9
k_1	68.6	69.4	69.4	70.3			
k_2	78.0	75.5	72.8	71.0			
k_3	67.6	69.3	72.0	72.8			
R	10.5	6.1	3.5	2.5			

由表3可知,综合考虑苹果片真空冷冻干燥总时间及复水比两个因素,各因素对其影响的大小依次为超声波功率(A)>超声水温(B)>超声处理时间(C),最佳工艺参数组合为 $A_2B_2C_2$,即超声波功率200 W、超声水温35℃、超声处理时间10 min。

表4 方差分析结果

Table 4 Variance analysis of orthogonal experiments

因素	偏差平方和	自由度	F比	$F_{0.05}$ 临界值
A	199.41	2	20.71	19.00
B	74.42	2	7.73	19.00
C	19.65	2	2.04	19.00
误差	9.63	2		

由表4可知,超声波功率对苹果片真空冷冻干燥总时间和复水比的影响最为显著($F_A > F_{0.05}(2, 2)$),而超声水温和超声处理时间对其无显著影响($F_B < F_{0.05}(2, 2)$),其中超声处理时间的影响最小。

基于正交实验结果分析,再次进行验证实验,即将苹果片进行超声波预处理(超声波功率200 W、超声水温35℃、超声处理时间10 min),预冻后冻干至终点,测得所需苹果片冻干总时间为11.5 h、复水比为6.11(g/g),综合评分为89.2。

2.3 超声波预处理苹果片的品质测试

由表5可知,在维生素C含量上,经超声波预处理的冻干苹果片较未经超声处理的高。干燥过程会造成水溶性维生素的损失,其中维生素C受温度、水分活度等影响会发生降解^[9],经超声波预处理后的苹果片冻干时间显著缩短,且可能受到水分活度等综合因素的影响,使得维生素C的保留量增加。

在色泽上,两组冻干苹果片的明亮度 L^* 和红绿值 a^* 无显著差异,而黄蓝值 b^* 差异显著,超声组的 b^* 值明显低于常规组。这表明苹果片经超声波预处理

表5 冻干苹果片品质指标

Table 5 Quality indexes of freeze dried apple slice

指标	对照组	超声组
维生素C(mg/100g)	11.24±1.19 ^a	20.89±2.01 ^b
色泽 L^*	84.51±1.44 ^a	85.92±1.73 ^a
色泽 a^*	4.60±1.66 ^a	0.64±1.16 ^a
色泽 b^*	28.24±2.22 ^a	19.46±1.12 ^b
硬度(g)	321.98±24.96 ^a	198.38±22.09 ^b
脆性(个)	9.21±2.87 ^a	8.63±2.92 ^a
感官评价总分	8.00 ^a	8.80 ^a

注:同一栏中字母不同者表示有显著性差异($p < 0.05$)。

再冻干颜色会更加洁白,更易于被消费者接受。

在质构上,经超声波预处理的冻干苹果片较未经超声处理的硬度小,脆性无显著差异,这表明超声波预处理使得冻干苹果片更加疏松且可维持其原有脆度。

感官评价总分显示两组冻干苹果片均具有较好的外观、口感好、风味佳,两组之间无显著差异。

3 结论

3.1 超声波预处理苹果片的最优工艺条件为:超声波功率200 W、超声水温35℃、超声处理时间10 min。在此条件下,相较于未经超声波处理的苹果片,其真空冷冻干燥总时间可由16 h缩短至11.5 h,缩短了22%;且复水比可由3.78增大至6.11,提高了61.6%。

3.2 超声波预处理技术中,影响苹果片真空冷冻干燥效率及冻干苹果片复水比的因素主次顺序为:超声波功率>超声水温>超声处理时间,且超声波功率对结果有显著影响。

3.3 品质测试结果显示:经超声波预处理的冻干苹果片维生素C保留量更高,外观色泽更加洁白,口感更加疏松且可维持其原有脆度,总体感官评价良好。

本文可为超声波和真空冷冻干燥技术结合使用生产冻干苹果片提供一定的工艺参数支持,同时也为果蔬脆片的干燥奠定一些研究基础。

参考文献

[1] 乔晓玲, 闰祝伟, 张原飞, 等. 食品真空冷冻干燥技术研究进展[J]. 食品科学, 2008, 29(5): 469-474.
 [2] Ratti C. Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review[J]. Journal of Food Engineering, 2001, 49(4): 311-319.
 [3] 吴亚丽, 郭玉明. 高压脉冲电场预处理对土豆真空冷冻干燥的影响[J]. 山西农业大报, 2010, 30(5): 464-467.
 [4] 梁华, 钮琰星, 黄凤洪, 等. 超声波在食品工业上的应用[J]. 食品工业科技, 2008, 29(7): 293-296.
 [5] Farid Chemat, Zill-e-Huma, Muhammed Kamran Khan. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2011, 18(4): 813-835.
 [6] Mulet A, Carcel J A, Sanjuan N. New food drying technologies use of ultrasound[J]. Food Science and Technology International, 2003, 9(3): 215-221.
 [7] Fuente-Blanco S, Riera-Francod E, Sarabia V M, et al.

- Food drying process by power ultrasound[J]. Ultrasonics 2006 , 44 :523-527.
- [8] 段续,任广跃,朱文学,等. 超声波处理对香菇冷冻干燥过程的影响[J]. 食品与机械 2012 28(1) :41-43.
- [9] Liyun Zheng ,Da-Wen Sun. Innovative applications of power ultrasound during food freezing processes—a review[J]. Trends in Food Science and Technology 2006 ,17(1) :16-23.
- [10] Fernandes F A N ,Rodrigues S. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits :Dehydration of banana[J]. Journal of Food Engineering 2007 83(4) :1-24.
- [11] Rawson A ,Tiwan B K ,Tuohy M G et al. Effect of ultrasound and blanching pretreatments on polyacetylene and carotenoid content of hot air and freeze dried carrot discs[J]. Ultrasonics Sonochemistry 2011 ,18(5) :1172-1179.
- [12] 胡林子,李新华,黄燕明,等. 综合加权评分法优化山毛豆油脂脱酸工艺[J]. 中国粮油学报 2011 26(7) :53-57.
- [13] 中华人民共和国卫生部中国国家标准化管理委员会. GB/T 5009.3-2010食品中水分的测定[S]. 北京 :中国标准出版社 , 2010.
- [14] 徐建国,徐刚,张森旺,等. 热泵-热风分段式联合干燥胡萝卜片研究[J]. 食品工业科技 2014 35(12) :230-235.
- [15] 中华人民共和国卫生部中国国家标准化管理委员会. GB/T 6195-1986水果、蔬菜维生素C含量测定法(2,6-二氯酚酚滴定法)[S]. 北京 :中国标准出版社 ,1986.
- [16] 吕健,毕金峰,卢勇,等. 响应面法优化桃变温压差膨化干燥工艺[J]. 中国食品学报 2014 14(6) :110-119.
- [17] 张水华,孙君社,薛毅. 食品感官鉴评[M]. 广州 :华南理工大学出版社 ,1998 8(2) :59-105.
- [18] 林平,朱海翔. 超声波预处理对真空冷冻干燥胡萝卜的影响研究[J]. 食品科技 2010 35(7) :116-119.
- [19] Nawirska A ,Figiel A ,Kucharska A Z et al. Drying kinetics and quality parameters of pumpkin slices dehydrated using different methods[J]. Journal of Food Engineering 2009 94(1) :14-20.

(上接第124页)

- 生素K₂(20)[J]. 云南大学学报 :自然科学版 2008 30(4) :405-407.
- [9] Buchanan RE ,Bergey NE. 伯杰细菌鉴定手册[M]. 第八版. 北京 :科学出版社 ,1981.
- [10] MARK Messina , VIRGINIA Messina. The role of soy in vegetarian diets [J]. Nutrients 2010(2) :855-888.
- [11] MICHEAL Ero ,CONNIE Ng ,TAMARA Mihailovski et al. A pilot study on the serum pharmacokinetics of Nattokinase in humans following a single oral daily dose[J]. Alternative Therapies , 2013 ,19(3) :16-20.
- [12] JIN Hwan-lee , MYOUNG Gun-choung. Comparison of nutritional components in soybean varieties with different geographical origins[J]. Journal of Korean Society Applied Biological Chemistry 2011 54(2) :254-263.
- [13] WANG Q , GE X , TIAN Y , et al. Soy isoflavone :The multipurpose phytochemical(Review)[J]. Biomed Rep 2013 ,1 (5) :697-701.
- [14] JAFFE G. Phytic Acid in Soybeans[J]. Journal of the American Oil Chemist' Society ,1981 58(3) :493-495.
- [15] OLTMANS SE , FEHR WR , WELKE GA , et al. Agronomic and seed traits of soybean lines with low-phytate phosphorus[J]. Crop Science 2005 45(2) :593-598.
- [16] URBANO G , LOPEZ-JURADO M , ARANDA P , et al. The role of phytic acid in legumes :antnutrient or beneficial function? [J]. Journal of Physiology and Biochemistry 2000 56(3) :283-294.
- [17] KASUKAWA Y , MIYAKOSHI N , EBINA T et al. Effects of risedronate alone or combined with vitamin K₂ on serum undercarboxylated osteocalcin and osteocalcin levels in postmenopausal osteoporosis[J]. Journal Bone Miner Metab 2014 , 32(3) :290-297.
- [18] TANAKA S , MIYAZAKI T , UEMURA Y et al. Design of a randomized clinical trial of concurrent treatment with vitamin K₂ and risedronate compared to risedronate alone in osteoporotic patients Japanese Osteoporosis Intervention Trail-03(JOINT-03) [J]. Journal Bone Miner Metab 2014(32) :298-304.

一套《食品工业科技》在手，
纵观食品工业发展全貌