

# 豌豆尖主要营养成分、生物活性物质 及抗氧化能力分析

Analysis of main nutrients, bioactive compounds and  
antioxidant capacities in pea tip

马杰<sup>1,2</sup> 孙勃<sup>1</sup> 薛生玲<sup>1</sup> 夏雪<sup>1</sup>

MA Jie<sup>1,2</sup> SUN Bo<sup>1</sup> XUE Sheng-ling<sup>1</sup> XIA Xue<sup>1</sup>

田玉肖<sup>1</sup> 张芬<sup>1</sup> 王嵩<sup>2</sup>

TIAN Yu-xiao<sup>1</sup> ZHANG Fen<sup>1</sup> WANG Song<sup>2</sup>

(1. 四川农业大学园艺学院, 四川 成都 611130; 2. 毕节市农业科学研究所, 贵州 毕节 551700)

(1. College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China;

2. Bijie Institute of Agricultural Science, Bijie, Guizhou 551700, China)

**摘要:**对豌豆尖叶片、卷须和茎不同食用部位主要营养成分、生物活性物质含量及抗氧化能力进行了分析。结果表明:不同食用部位间的营养成分和生物活性物质含量及抗氧化能力存在显著差异。可溶性蛋白、可溶性固形物和叶绿素、类胡萝卜素、V<sub>C</sub>、原花青素、类黄酮、总酚 6 种生物活性物质含量及抗氧化能力均呈现叶片>卷须>茎的趋势,而总糖和还原糖则在卷须中含量最高。相关性分析表明,6 种生物活性物质与抗氧化能力间均呈极显著正相关关系,且 FRAP 对应的相关系数均高于 ABTS。通过与 5 种常见叶菜类蔬菜进行比较发现,豌豆尖,特别是其叶片,含有更为丰富的生物活性物质和具有更强的抗氧化能力。

**关键词:**豌豆尖;营养成分;生物活性物质;抗氧化能力;食用部位

**Abstract:** The contents of main nutrients, bioactive compounds and antioxidant capacities among different edible parts (leaves, tendrils and stems) in pea tip were investigated. The results indicated that significant differences were found among different edible parts. The levels of soluble proteins, soluble solids, six bioactive compounds (chlorophyll, carotenoids, vitamin C, proanthocyanidins, flavonoids and total phenolics), and antioxidant capacities were followed as the

trends of leaves> tendrils> stems; whereas the highest contents of total sugars and reducing sugars were observed in tendrils. Moreover, extremely significant positive correlation were found between antioxidant capacities and all bioactive compounds, and all the correlation coefficients associated with FRAP were higher than the corresponding values with ABTS. Then the levels of nutrients, bioactive compounds and antioxidant capacities were compared between pea tip and five kinds of common leafy vegetables, and the results showed that pea tip, especially leaves, contained more abundant bioactive compounds and higher antioxidant capacity.

**Keywords:** pea tip; nutrients; bioactive compounds; antioxidant capacities; edible parts

豌豆(*Pisum sativum* L.)又名荷兰豆、小寒豆、青小豆等,原产地中海沿岸和亚洲西部,在中国四川、贵州、云南等地广泛栽培,近年来在湖北、广东、上海也多有栽培<sup>[1]</sup>。豌豆尖,又名龙须菜、豌豆苗,是豌豆在采摘豆荚前,以其嫩梢嫩叶作为食用部分而得名,豌豆尖可做汤食和炒食,口感肥腴爽口,味浓而又清香,其茎叶具有清凉解暑的功效<sup>[2-3]</sup>。

目前国内外对豌豆尖的研究,主要集中在栽培技术<sup>[4]</sup>与卷须形态发育<sup>[5-6]</sup>方面,对其营养品质的研究较少且局限于常规营养成分<sup>[4]</sup>,而对具有保健价值的生物活性物质及抗氧化能力等方面的研究还处于空白状态。另一方面,蔬菜的食用部位往往同时包括多个不同组织器官,而这些不同食用部位间的营养成分、生物活性物质含量和抗氧化能力也存在明显差异<sup>[7-8]</sup>,以往针对豌豆尖的研究均是将其作为整体来进行,并未针对叶片、卷须和茎等不同食用部位进行过系统研究。

**基金项目:**四川农业大学本科质量工程项目(编号:04052109);贵州毕节七星关果蔬农业科技示范园区项目(编号:黔科合农园字(2015)5011-4号)

**作者简介:**马杰,男,贵州省毕节市农业科学研究所助理研究员,硕士。

**通讯作者:**孙勃(1983-),男,四川农业大学副教授,博士。

E-mail: sunadam011@163.com

**收稿日期:**2015-11-13

本试验拟以豌豆尖为材料,分析其叶片、卷须和茎的主要营养成分、生物活性物质含量及抗氧化能力,并与5种常见的叶菜类蔬菜进行比较,全面系统地揭示豌豆尖营养价值和保健功能,旨为人们日常膳食选择和营养配餐提供科学参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 材料与试剂

豌豆尖:雅安雨城区田贸农产品种植有限公司。挑选生长健壮,无病虫害及机械损伤的豌豆尖4 kg,每千克作为一个重复,共4个重复,迅速运回实验室。在实验室中,将试材清洗后,按照卷须、叶片和茎3个部位进行分割取样,混匀后作为营养成分、生物活性物质和抗氧化能力测定的样品。

抗坏血酸、考马斯亮蓝 G250、3,5-二硝基水杨酸、2,6-二氯酚、丙酮、乙醇、草酸、醋酸、三氯化铝、醋酸钾、碳酸钠、三氯化铁、硫酸亚铁:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

福林酚、没食子酸:分析纯,生工生物工程(上海)股份有限公司;

原花青素 B2、槲皮素、DMACA、TPTZ、ABTS:分析纯,美国 Sigma 公司。

### 1.2 仪器与设备

电子天平:BAS124S型,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;

紫外可见分光光度计:UV-1100型,上海美谱达仪器有限公司;

离心机:5804R型,德国艾本德仪器有限公司;

酶标仪:680型,美国伯乐仪器有限公司;

电热恒温鼓风干燥箱:101-2型,上海跃进医疗器械厂;

水浴锅:HH-8型,常州澳华仪器有限公司;

手持折光仪:PAL-1型,日本 ATAGO 仪器有限公司。

### 1.3 测定方法

1.3.1 相对生物量、含水量、可溶性固形物、可溶性蛋白、总糖、还原糖、叶绿素、类胡萝卜素和 VC 含量测定 将卷须、叶片和茎分别称重,计算各部位重量与总重的比例,得到相对生物量<sup>[7]</sup>;含水量测定采用烘干法,新鲜样品称重后,105℃杀青2 h,80℃烘干至恒重<sup>[8]</sup>;可溶性固形物用手持折光仪测定<sup>[8]</sup>;可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 染色法测定<sup>[8]</sup>;总糖和还原糖采用 3,5-二硝基水杨酸比色法测定<sup>[8]</sup>;叶绿素和类胡萝卜素用乙醇溶液提取,分光光度法测定<sup>[7]</sup>;V<sub>c</sub>含量参照 GB 6195—1986,采用 2,6-二氯酚滴定法测定。

1.3.2 原花青素含量测定 根据文献[9]修改如下:称取 1.0 g 样品,置入 50 mL 离心管中,室温条件下加入 20 mL 提取液(丙酮:去离子水:醋酸体积比为 150:49:1),振荡 1 h。5 000 r/min 离心 10 min,吸取上清液作为原花青素提取液。在酶标板上每孔加入 DMACA 溶液 210 μL,样品 70 μL,640 nm 下进行吸光度扫描,以原花青素 B2 为标准品绘制回归曲线,进而计算各样品中原花青素的含量。

1.3.3 类黄酮含量测定 根据文献[10]修改如下:称取 1.0 g 样品,置入 80% 丙酮溶液中,室温下抽提 1 h 后,4℃

5 000 r/min 离心 10 min,收集上清液作为类黄酮提取液。在酶标板上每孔分别加入上清液 30 μL,95% 乙醇 90 μL,10% 三氯化铝 6 μL,1 mol/L 醋酸钾 6 μL 和去离子水 168 μL,室温反应 40 min。用酶标仪测定 415 nm 下的吸光度,以槲皮素为标样作标准曲线,计算类黄酮含量(mg/kg·槲皮素)。

1.3.4 总酚含量测定 根据文献[2]修改如下:称取 1.0 g 样品,加入乙醇溶液 5 mL,充分研磨后用乙醇溶液定容至 25 mL,80℃水浴 1 h,7 000 r/min 离心 10 min,吸取上清液作为总酚提取液。取提取液 0.3 mL 分别加入 0.2 mol/L 福林酚溶剂 1.5 mL 和饱和碳酸钠溶液 1.2 mL,室温下避光静置 2 h,在 760 nm 下测量吸光值。用不同浓度的没食子酸标样作标准曲线,计算样品中总酚的含量。

1.3.5 FRAP 法测定抗氧化能力 根据文献[11]修改如下:称取 1.0 g 样品,在乙醇溶液中研磨后,80℃水浴 1 h,7 000 r/min 离心 10 min,吸取上清液作为提取液。提取液中加入 FRAP 工作液(pH 3.6 的醋酸缓冲溶液 250 mL 中加入 10 mmol/L TPTZ 溶液 10 mL,20 mmol/L 三氯化铁溶液 10 mL)2.7 mL,37℃水浴 10 min,593 nm 波长测吸光值。以硫酸亚铁溶液作为标样作标准曲线,计算样品的抗氧化能力。

1.3.6 ABTS 法测定抗氧化能力 根据文献[12]修改如下:称取 1.0 g 样品,在乙醇溶液中研磨后,80℃水浴 1 h,5 000 r/min 离心 10 min,吸取上清液作为提取液。在酶标板上每孔加入上清液 6 μL 和 ABTS 工作液 320 μL,室温反应 30 s,734 nm 下进行吸光度扫描,每 3 min 扫描记录一次,共 30 min,计算样品与对照的 OD 差值占对照 OD 值的百分比,得到样品的 ABTS 清除率。

### 1.4 数据分析

试验数据以 4 次重复的平均值±标准差表示,数据处理采用 Excel 2010 软件,差异显著性分析和相关性分析采用 SPSS 18.0 软件。热图分析采用 TIGR Mev 4.1 软件完成<sup>[13]</sup>。

## 2 结果分析与讨论

### 2.1 主要营养成分、相对生物量和水分含量分析

由表 1 可知,豌豆尖叶片中的可溶性蛋白和可溶性固形物含量最高,其次是卷须,茎中的含量最低,3 部位间含量均存在显著性差异,叶片中的可溶性蛋白和可溶性固形物含量分别达到茎中的 4.60 倍和 2.12 倍。卷须中的总糖含量最高,叶片中含量也较高,茎中含量最低,且显著低于卷须和叶片。还原糖在卷须中含量最高,其次是茎,叶片中含量最低。叶片和茎占到豌豆尖的绝大部分生物量,而卷须相对生物量极低,不足总生物量的 2%。豌豆尖含水量非常高,其中卷须和茎中的含水量最高,叶片最低,但仍高达 88.83%。

糖类是植物中一类重要的能量物质,在植物生长发育全过程占有非常重要的作用,除提供能量外,还可以作为信号分子参与调控植物的多项代谢过程。本试验中,与其它营养成分含量分布情况不同,总糖和还原糖含量最多的不是叶片,而是卷须。卷须是豌豆尖适应攀缘的一种变态器官,通

过卷须在株间缠绕,使整个群体形成棚架结构,从而提高植株直立和抗倒伏能力<sup>[6]</sup>。总糖和还原糖在卷须中含量最高,为卷须作为植物尖端部分完成其特殊的生理功能提供了能量保证,并有可能涉及到糖信号途径,然而目前未见这方面的报道,需要研究人员未来进一步研究,阐明其机理。

## 2.2 生物活性物质含量分析

由表 2 可知,豌豆尖 3 个不同食用部位 6 种主要生物活性物质含量差异显著。叶片中 6 种生物活性物质含量均最丰富,其次是卷须,茎中含量最低。同时,各生物活性物质在食用部位间含量差异的倍数也明显不同,叶绿素在叶片中含量达到茎中的 11.78 倍,而总酚含量在叶片与茎中相差仅为 2.61 倍。

豌豆尖在采摘豆荚前进行收获,营养生长旺盛。本试验

结果表明(表 1),除总糖和还原糖外,叶片各类营养物质含量最高,其次是卷须,茎最低。这可能与各部位在植株生长发育中承担的作用有关。作为植株非常重要的营养器官,叶片承担大部分的光合作用,合成和存储大量养分和能量用于植株的生长发育。同时,叶片的相对生物量和面积也很大,在生长发育的同时还需面对各种生物与非生物胁迫。因此,叶片中积累丰富的营养成分和生物活性物质对于植株的生长发育和抗逆具有重要作用。卷须为变态叶,其生物量和体积很小,主要用于豌豆生长过程中的缠绕攀爬<sup>[5-6]</sup>,由于叶变态的原因,卷须中的光合作用可能受到影响,进而导致合成和存储各类营养物质的能力要低于叶片。而茎主要负责形态支撑和养分与水分的运输,本身并不合成或较少合成营养物质,因此相关物质含量较低。

表 1 豌豆尖不同食用部位主要营养成分、相对生物量和水分含量<sup>†</sup>

Table 1 The content of main nutrients, relative biomass, and water among different edible parts of pea tip %

食用部位	可溶性蛋白	总糖	还原糖	可溶性固形物	相对生物量	含水量
卷须	1.10 ± 0.04 <sup>b</sup>	1.50 ± 0.24 <sup>a</sup>	0.58 ± 0.08 <sup>a</sup>	3.65 ± 0.17 <sup>b</sup>	1.85 ± 0.26 <sup>c</sup>	94.65 ± 1.18 <sup>a</sup>
叶片	2.30 ± 0.17 <sup>a</sup>	1.26 ± 0.27 <sup>a</sup>	0.30 ± 0.06 <sup>c</sup>	5.20 ± 0.45 <sup>a</sup>	54.06 ± 1.55 <sup>a</sup>	88.83 ± 0.04 <sup>b</sup>
茎	0.50 ± 0.08 <sup>c</sup>	0.69 ± 0.13 <sup>b</sup>	0.42 ± 0.07 <sup>b</sup>	2.45 ± 0.25 <sup>c</sup>	44.09 ± 1.44 <sup>b</sup>	93.55 ± 0.79 <sup>a</sup>

† 同列数据后无相同小写字母者表示差异显著(P<0.05)。

表 2 豌豆尖不同食用部位生物活性物质含量<sup>†</sup>

Table 2 The content of bioactive compounds among different edible parts of pea tip mg/kg

食用部位	叶绿素	类胡萝卜素	V <sub>C</sub>	原花青素	类黄酮	总酚
卷须	594.70 ± 105.66 <sup>b</sup>	144.75 ± 16.15 <sup>b</sup>	728.40 ± 46.78 <sup>b</sup>	543.20 ± 45.49 <sup>b</sup>	2 406.55 ± 263.62 <sup>b</sup>	2 482.98 ± 381.06 <sup>b</sup>
叶片	2 516.52 ± 220.02 <sup>a</sup>	501.75 ± 26.13 <sup>a</sup>	1 659.58 ± 150.05 <sup>a</sup>	1 628.19 ± 253.47 <sup>a</sup>	3 938.50 ± 732.95 <sup>a</sup>	3 379.79 ± 461.15 <sup>a</sup>
茎	213.56 ± 24.32 <sup>c</sup>	44.55 ± 10.24 <sup>c</sup>	570.98 ± 88.22 <sup>b</sup>	253.44 ± 50.29 <sup>c</sup>	1 059.11 ± 157.31 <sup>c</sup>	1 292.55 ± 210.12 <sup>c</sup>

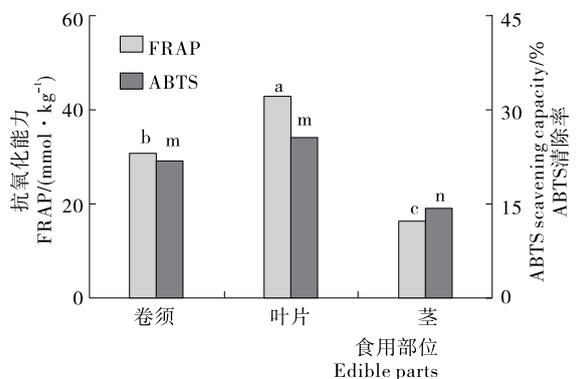
† 同列数据后无相同小写字母者表示差异显著(P<0.05)。

## 2.3 抗氧化能力测定结果

科学研究<sup>[2,9,14-16]</sup>证明,叶绿素、类胡萝卜素、V<sub>C</sub>、原花青素、类黄酮和总酚等生物活性物质均具有较强的抗氧化性,而抗氧化能力是反映样品所有抗氧化物综合效果的指标。由图 1 可知,豌豆尖不同食用部位间的抗氧化能力存在明显差异。FRAP 法结果表明,叶片的抗氧化能力最强,达到 43.09 mmol/kg,茎最弱,仅为 16.24 mmol/kg,两者相差达 2.65 倍,且不同部位间均差异显著。ABTS 法结果表明,叶片和卷须的 ABTS 清除率较高,分别达到 34.15% 和 29.35%,两者间无显著差异,茎最低,仅为 19.07%,不足叶片含量的 60%。

## 2.4 豌豆尖抗氧化能力、生物活性物质和营养成分间的相关性分析

绝大多数的相关系数为正值,除总糖和还原糖外,其它指标间均呈极显著正相关关系,且相关系数均大于 0.7,其中叶绿素和类胡萝卜素的相关系数最高,达到 0.997。进一步观察发现,所有相关性不显著的数据均与总糖和还原糖有关,而所有负相关值都与还原糖有关,总糖仅与 FRAP 和总酚呈显著正相关关系,且相关系数较低,不足 0.7,还原糖则



无相同字母者表示不同食用部位间差异显著(P<0.05)

图 1 豌豆尖不同食用部位抗氧化能力 (FRAP 法和 ABTS 法)

Figure 1 The antioxidant capacities among different edible parts of pea tip

与原花青素、V<sub>C</sub>、类胡萝卜素和叶绿素呈显著负相关关系,与其它指标间无显著相关性。FRAP 和 ABTS 两种抗氧化能力测定方法间的相关系数高达 0.917,呈极显著正相关关系,同时,两种方法与各项生物活性物质及可溶性蛋白和可

溶性固形物间均呈极显著正相关关系,FRAP和ABTS均与类黄酮间相关系数最高,分别为0.981和0.899。值得注意的是,FRAP与各项生物活性物质和营养成分间的相关系数均高于ABTS。

本试验采用的FRAP和ABTS是果蔬类生物样品总抗氧化能力测定常用的两种方法,其中FRAP法具有原理明确、操作简便、易于标准化、反应时间短等优点;ABTS法具有快速简便、与抗氧化剂的生物活性相关性等优点<sup>[17]</sup>。

表3 豌豆尖抗氧化能力、生物活性物质和营养成分间的相关性<sup>†</sup>

Table 3 Correlation coefficients among antioxidant capacities, bioactive compounds and nutrients in pea tip

指标	FRAP	ABTS	总酚	类黄酮	原花青素	V <sub>c</sub>	类胡萝卜素	叶绿素	可溶性蛋白	总糖	还原糖
ABTS	0.917**										
总酚	0.938**	0.870**									
类黄酮	0.981**	0.899**	0.936**								
原花青素	0.826**	0.722**	0.859**	0.885**							
V <sub>c</sub>	0.871**	0.761**	0.837**	0.917**	0.965**						
类胡萝卜素	0.856**	0.764**	0.859**	0.892**	0.979**	0.974**					
叶绿素	0.820**	0.718**	0.831**	0.863**	0.983**	0.969**	0.997**				
可溶性蛋白	0.922**	0.849**	0.913**	0.939**	0.948**	0.960**	0.983**	0.968**			
总糖	0.586*	0.570	0.668*	0.555	0.415	0.356	0.381	0.343	0.455		
还原糖	-0.366	-0.267	-0.351	-0.404	-0.596*	-0.631*	-0.612*	-0.644*	-0.550	0.356	
可溶性固形物	0.932**	0.830**	0.966**	0.949**	0.936**	0.910**	0.941**	0.925**	0.968**	0.555	-0.468

† \*. 差异显著(P<0.05); \*. 差异极显著(P<0.01)。

2.5 豌豆尖与常见叶菜类蔬菜比较分析

为了进一步揭示豌豆尖的营养价值,将文献<sup>[18-21]</sup>中报道的5种常见叶菜类蔬菜的部分营养成分、生物活性物质含量和抗氧化能力与豌豆尖进行了比较,并以热图形式直观反映(见图2)。

由图2可知,按照测定指标将比较结果分为三组,第一组为总糖和还原糖,其特点是结球甘蓝、白菜、芹菜和生菜中的含量高于豌豆尖各部位;第二组为可溶性蛋白、叶绿素和类胡萝卜素,其特点是豌豆尖叶片含量最高,其次是菠菜和芹菜,再次是结球甘蓝、白菜和豌豆尖卷须,豌豆尖茎和生菜

含量最低;第三组为V<sub>c</sub>、总酚、类黄酮和FRAP,其特点是豌豆尖含量最高,其次是白菜和菠菜,结球甘蓝、芹菜和生菜含量最低。综上,豌豆尖,特别是叶片部分的叶绿素、类胡萝卜素、V<sub>c</sub>、总酚、类黄酮等生物活性物质含量及抗氧化能力显著高于其他几种常见蔬菜。

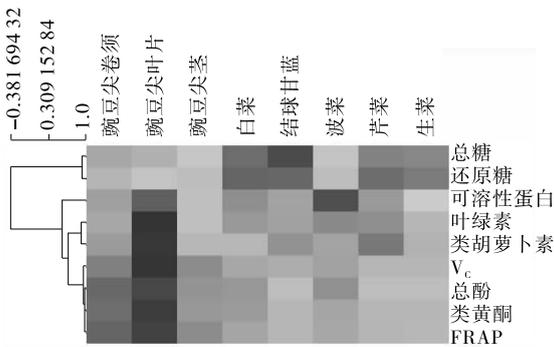
3 结论

(1) 不同食用部位间的营养成分和生物活性物质含量及抗氧化能力存在显著差异。可溶性蛋白、可溶性固形物和叶绿素、类胡萝卜素、V<sub>c</sub>、原花青素、类黄酮、总酚6种生物活性物质含量及抗氧化能力均为叶片>卷须>茎的趋势,而总糖和还原糖则在卷须中含量最高。

(2) 所有生物活性物质与抗氧化能力间均呈极显著正相关关系,表明这些生物活性物质对豌豆尖的抗氧化能力均有所贡献。FRAP对应的相关系数均高于ABTS,表明FRAP法可能更适用于豌豆尖抗氧化能力测定。

(3) 通过与5种常见叶菜类蔬菜进行比较发现,豌豆尖,特别是其叶片,含有更为丰富的生物活性物质和具有更强的抗氧化能力。

(4) 品种和栽培环境对蔬菜营养品质具有明显影响,本试验中仅采用一个品种进行分析,结果具有一定的偶然性,今后可进一步探讨不同品种及不同环境条件对豌豆尖营养品质方面的影响研究。



每行中单元格颜色由浅到深表示含量从低到高。

图2 豌豆尖与几种常见叶菜营养成分和生物活性物质含量热图

Figure 2 The heatmap of content of main nutrients and bioactive compounds between pea tip and several common leafy vegetables

参考文献

[1] 中国农业科学院蔬菜花卉研究所. 中国蔬菜栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2012: 287-288.

- [2] Volden J, Bengtsson G B, Wicklund T. Glucosinolates, L-ascorbic acid, total phenols, anthocyanins, antioxidant capacities and colour in cauliflower (*Brassica oleracea* L. ssp. *botrytis*); effects of long-term freezer storage[J]. Food Chemistry, 2009, 112(4): 967-976.
- [3] 朱军伟, 谢晶, 林永艳, 等. 贮藏温度和包装方法对两种叶菜采后品质的影响[J]. 食品与机械, 2012, 28(4): 175-178.
- [4] Uzun A, Bilgili U, Sincik M, et al. Yield and quality of forage type pea lines of contrasting leaf types[J]. European Journal of Agronomy, 2005, 22(1): 85-94.
- [5] Kumar S, Rai S K, Pandey-Rai S, et al. Regulation of unipinnate character in the distal tendrilled domain of compound leaf blade by the gene *MULTIFOLIATE PINNA* (*MFP*) in pea *Pisum sativum*[J]. Plant Science, 2004, 166(4): 929-940.
- [6] 付金锋, 王凤宝, 董立峰, 等. 卷须对半无叶豌豆生长发育的影响[J]. 作物杂志, 2009(3): 48-51.
- [7] 张皓月, 吴益梅, 夏雪, 等. 青萝卜与红萝卜的生物活性物质及抗氧化能力分析[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2015, 41(1): 75-81.
- [8] 孙勃, 许映君, 徐铁峰, 等. 青花菜不同器官生物活性物质和营养成分的研究[J]. 园艺学报, 2010, 37(1): 59-64.
- [9] Prior R L, Fan E, Ji H P, et al. Multi-laboratory validation of a standard method for quantifying proanthocyanidins in cranberry powders[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2010, 90(9): 1 473-1 478.
- [10] Chang Chia-chi, Yang Ming-hua, Wen Hwei-mei, et al. Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2002, 10(3): 178-182.
- [11] Benzie I F, Strain J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay[J]. Analytical Biochemistry, 1996, 239(1): 70-76.
- [12] Wootton-Beard P C, Moran A, Ryan L. Stability of the total antioxidant capacity and total polyphenol content of 23 commercially available vegetable juices before and after in vitro digestion measured by FRAP, DPPH, ABTS and Folin-Ciocalteu methods[J]. Food Research International, 2011, 44(1): 217-224.
- [13] Sun Bo, Zhang Fen, Zhou Guo-jun, et al. Genetic variation in alkaloid accumulation in leaves of *Nicotiana* [J]. Journal of Zhejiang University Science B, 2013, 14(12): 1 100-1 109.
- [14] 曲云卿, 张同刚, 刘敦华. 不同产地枸杞中主要类胡萝卜素的聚类分析[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 76-79.
- [15] 伍鹤, 王远亮, 赵琳, 等. 蓝莓多酚提取方法及功能活性研究进展[J]. 食品与机械, 2015, 31(2): 257-261.
- [16] 周凯, 胡卓炎, 周沫霖, 等. 龙眼核提取物的体外抗氧化剂抑菌活性研究[J]. 食品与机械, 2015, 31(4): 167-171.
- [17] 朱玉昌, 焦必宁. ABTS 法体外测定果蔬类总抗氧化能力的研究进展[J]. 食品与发酵工业, 2005, 31(8): 77-80.
- [18] Bahorun T, Luximon-Ramma A, Crozier A, et al. Total phenol, flavonoid, proanthocyanidin and vitamin C levels and antioxidant activities of Mauritian vegetables[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2004, 84(12): 1 553-1 561.
- [19] 郭长江, 徐静, 韦京豫, 等. 我国常见蔬菜类黄酮物质的含量[J]. 营养学报, 2009, 31(2): 185-190.
- [20] Šamec D, Bogovic M, Vincek D, et al. Assessing the authenticity of the white cabbage (*Brassica oleracea* var. *Capitata* f. *alba*) cv. 'Varazdinski' by molecular and phytochemical markers[J]. Food Research International, 2014, 60(1): 266-272.
- [21] Altemimi A, Choudhary R, Watson D G, et al. Effects of ultrasonic treatments on the polyphenol and antioxidant content of spinach extracts[J]. Ultrasonics Sonochemistry, 2015, 24(25): 247-255.

(上接第 8 页)

- [4] Martin M, Fitzgerald A. Proteins in rice grains influence cooking properties[J]. J. Cereal Sci., 2002(36): 285-294.
- [5] Singh N, Pal N, Mahajan G, et al. Rice grain and starch properties: Effects of nitrogen fertilizer application [J]. Carbohydr Polym, 2011, 86: 219-225
- [6] Yi Cui-Ping, Gao Wen-Ming, Zhong Chun-Mei, et al. The effect of alkaline soluble proteins on pasting properties of indica rice [J]. Cereal Chem, 2014, 91(5): 502-507.
- [7] 易翠平, 姚惠源. 高纯度大米蛋白和淀粉的分离提取[J]. 食品与机械, 2004, 20(6): 18-21.
- [8] Sujka M, Jamroz J. Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behavior [J]. Food hydrocolloids, 2013, 31(2): 413-419.
- [9] Oetterer M, Wosiacki G. Characterization of chest-nut starch for industrial utilization[J]. Braz. Arch. Biol. Techn., 2001, 44(1): 72-73.
- [10] Varavinit S, Shobngob S, Varayanond W, et al. Effect of amylose content gelatinization and pasting of properties of flours from different cultivars of thai rice[J]. Starch/Starke, 2003, 55: 410-415.
- [11] Park IM, Zhong Fang, Shoemaker C F. Gelatinization and pasting properties of waxy and non-waxy rice starches [J]. Starch/Starke, 2007, 59: 388-396.
- [12] 冷雪, 曹龙奎. 利用差示扫描量热仪研究小米淀粉及小米粉的糊化特性[J]. 食品科学, 2015, 36(19): 60-66.
- [13] Sulaiman R, Dolan R. Effect of amylase content on estimated kinetic parameters for a starch viscosity model[J]. J. Food Engineer, 2012, 114(1): 75-82.
- [14] Eliasson A C. Starch in food: structure, function and applications[M]. Boca Raton: CRC Press, 2009: 87.
- [15] 余世峰, 杨秀春, Menager L, 等. 直链淀粉、蛋白质及脂类对大米粉热特性的影响[J]. 食品与发酵工业, 2009, 35(4): 38-44.
- [16] Sujka M, Jamroz J. Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behaviour [J]. Food Hydrocoll, 2013, 31(2): 413-419.
- [17] Fredriksson H, Silverio J, Andersson R, et al. The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starch[J]. Carbohydrate, 1998, 35: 119-134.
- [18] Zheng Yan-kun, Wang Zhong. Protein accumulation in aleurone cells, sub-aleurone cells and the center starch endosperm of cereals[J]. Plant Cells Rep, 2014, 33: 1 607-1 615.
- [19] Baxter G, Blanchard C, Zhao Jian. Effects of glutelin and globulin on the physicochemical properties of rice starch and flour [J]. J. Cereal Sci., 2014, 60(2): 414-420.