

# 小豆抗性淀粉含量及蒸煮后硬度分析

周闲容<sup>1</sup>, 杨修仕<sup>1,2</sup>, 么 杨<sup>1</sup>, 朱志华<sup>1</sup>, 程须珍<sup>1</sup>, 王立侠<sup>1</sup>, 王素华<sup>1</sup>, 任贵兴<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> 中国农业科学院作物科学研究所, 北京 100081; <sup>2</sup> 山西大学环境科学与工程研究中心, 太原 030006)

**摘要:** 利用国内 140 个小豆种质资源, 探究其抗性淀粉含量与蒸煮后硬度的地域分布特征, 分析蒸煮后硬度与营养指标的相关性, 同时筛选抗性淀粉含量高与蒸煮后硬度低的种质资源, 结果表明: 140 份小豆抗性淀粉的平均含量为 14.25%, 蒸煮后硬度的平均值为 150.72 g。吉林地区小豆抗性淀粉含量最高, 为 15.71%; 内蒙古地区小豆蒸煮后硬度最低, 为 96.42 g。抗性淀粉与总淀粉之间呈极显著负相关; 蒸煮后硬度与抗性淀粉之间呈显著正相关性, 但与总淀粉及蛋白质之间无显著相关性。筛选出 12 份抗性淀粉含量 > 17.83% 的优异小豆种质资源, 可用于糖尿病人专用品种的选育及产品开发; 9 份蒸煮后硬度 < 76.48 g 的优异小豆种质资源可用于豆饭、豆粥产品的开发。

**关键词:** 小豆; 抗性淀粉; 硬度; 地域分布特征; 相关性分析

## Analysis of Adzuki Bean Resistant Starch Content and Cooking Hardness

ZHOU Xian-rong<sup>1</sup>, YANG Xiu-shi<sup>1,2</sup>, YAO Yang<sup>1</sup>, ZHU Zhi-hua<sup>1</sup>, CHENG Xu-zhen<sup>1</sup>,  
WANG Li-xia<sup>1</sup>, WANG Su-hua<sup>1</sup>, REN Gui-xing<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081;

<sup>2</sup> Research Center of Environmental Science and Engineering, Shanxi University, Taiyuan 030006)

**Abstract:** To investigate the geographical distribution profile of adzuki bean resistant starch and cooking hardness, analyze the correlation between cooking hardness and nutritive index, and screen the high resistant starch content or low cooking hardness germplasm resource, 140 adzuki bean resources were collected from different provinces in China. The results showed that the average content of 140 adzuki beans resistant starch and cooking hardness were 14.25% and 150.72 g, respectively. Adzuki bean germplasm resource in Jilin province had the highest resistant starch content (15.71%), while in Inner Mongolia had the lowest cooking hardness (96.42 g). There was a highly significant negative correlation between total starch and resistant starch. Cooking hardness showed no significant correlation with total starch or protein, but positive and significant correlation with resistant starch. And 12 elite resources with resistant starch content more than 17.83% and 9 resources with cooking hardness less than 76.48 g were screened respectively. The screened high resistant starch germplasm resources could be used for diabetic special adzuki bean breeding and product development, while the low cooking hardness resources could be utilized in bean meal or gruel manufacture.

**Key words:** Adzuki bean; resistant starch; hardness; geographical distribution profile; correlation analysis

小豆 (*Vigna angularis*) 又称赤小豆, 属豆科, 是一年生草本植物<sup>[1]</sup>。因其富含淀粉, 因此人们又称之为“饭豆”。我国是小豆主产国之一, 年产量约 40 万 ~ 50 万 t<sup>[2]</sup>。小豆含蛋白、淀粉、氨基酸与微量元素, 是我国人民所喜爱的优质食用豆类。小豆

中总淀粉含量因品种不同而具有较大差异, 变幅在 44.97% ~ 67.44%<sup>[3-4]</sup>, 其中, 抗性淀粉含量约为 13%<sup>[5]</sup>。抗性淀粉在食品中具有广泛的应用, 可以添加到挤压食品、焙烤食品和早餐食品中, 以增加膳食纤维的含量, 改善膳食纤维强化食品的品质。小

收稿日期: 2013-01-17      修回日期: 2013-01-30      网络出版日期: 2013-06-07

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.4996.S.20130607.1739.015.html>

基金项目: 国家食用豆产业技术体系 (CARS-09-01A)

第一作者研究方向为作物功能成分研究与利用。E-mail: zhouxianrong2010@hotmail.com

通信作者: 任贵兴, 博士, 研究员, 研究方向为作物种质资源品质评价及功能产品研发。E-mail: renguixing@caas.cn

豆除加工成豆沙外,还可与大米或其他粮食一起煮制成豆饭或粥等<sup>[6]</sup>。由于小豆的质地较硬,导致蒸煮后通常偏硬,影响食用的口感。随着经济的发展,人们的膳食结构发生变化,由此导致的高血糖、高血脂、高血压等心血管疾病的发病率日益升高。近年来,通过增加饮食中有益活性成分的摄入来预防疾病的膳食疗法成为了全球的关注热点。抗性淀粉具有降血糖、降血脂的生理功效<sup>[7-11]</sup>,逐渐受到营养学家的广泛关注。当前,有关小豆总淀粉和直链淀粉含量的报道较多<sup>[12-15]</sup>,但对不同种质资源间抗性淀粉差异性的研究较少,对抗性淀粉含量与蒸煮后硬度关系的研究尚未见开展。本研究收集了国内 140 份小豆种质资源,对其抗性淀粉与蒸煮后硬度进行分析,旨在为糖尿病人专用及豆饭、豆粥专用小豆品种选育、品质改良及产品开发提供理论依据和参考。

# 1 材料与方法

## 1.1 材料

140 份小豆分别由中国农科院作科所、天津农科院作物所、河北农科院粮油所、黑龙江农科院作物所、吉林农科院大豆所、辽宁农科院粮作所、内蒙古农科院原子能所、山东菏泽农科所及山西省农科院品资所提供(2011 年产),来源与样品份数见表 1。

表 1 小豆样品来源与样品份数

Table 1 Origin and amount of adzuki bean resources			
来源 Origin	样品数 No. of accessions	来源 Origin	样品数 No. of accessions
吉林 Jilin	51	北京 Beijing	6
黑龙江 Heilongjiang	30	河北 Hebei	6
山东 Shandong	19	山西 Shanxi	5
天津 Tianjin	11	内蒙古 Inner Mongolia	3
辽宁 Liaoning	9	总计 Total	140

## 1.2 方法

试验所用仪器与设备为 UV 2000 紫外-可见分光光度计(美国 UNICO 公司)、TA. XT plus 质构仪(英国 Stable Micro Systems 公司)、FOSS 2300 型自动定氮仪(瑞典 FOSS 公司)。

依据 Megazyme 试剂盒所示方法测定总淀粉与抗性淀粉的含量(AACC Method 32-40),依据农业行业标准《谷类、豆类作物种子粗蛋白质测定法(半微量凯氏法)》(NY/T 3-1982)测定蛋白质的

含量。小豆蒸煮后硬度的测定参照前人的研究方法<sup>[16-19]</sup>,并结合小豆的品质特性作适当修改。挑选 20 粒大小体积相近的小豆,置于单层纱布袋中,于沸水浴中煮 1 h,挑选 5 粒蒸煮后形态相近的小豆,使用 TA. XT plus 质构仪进行硬度测定,每次测定 1 粒,共测定 5 次。

## 1.3 统计分析

采用 Microsoft Excel 软件进行数据整理,用 SPSS 19.0 软件进行数据分析。

# 2 结果与分析

## 2.1 不同来源小豆的品质分析

不同来源小豆的总淀粉、抗性淀粉含量及蒸煮后硬度情况见表 2。从表中可以看出,140 份小豆的蛋白质、总淀粉、抗性淀粉平均含量及蒸煮后硬度的平均值分别为 24.43%、55.46%、14.25% 和 150.72 g。蛋白质的变幅为 22.33%~26.41%,变异系数为 3.18%,变异程度较小。小豆的总淀粉平均含量略低于金文林等<sup>[3]</sup>报道的 57.06%。抗性淀粉含量变幅为 8.60%~19.83%,变异系数达 19.57%。蒸煮后硬度的变幅为 45.37~329.41 g,变异系数达 38.43%,变异程度较大。

不同地区的小豆总淀粉含量存在一定差异,辽宁地区小豆总淀粉平均含量最高为 58.94%,内蒙古地区最低为 52.43%。小豆抗性淀粉平均含量地区间差异较大,吉林地区最高为 15.71%,其次黑龙江为 15.70%,2 个地区平均含量均超过 15.50%;山西地区最低,平均含量不足 11.50%。不同地区小豆蒸煮后硬度的平均值差异性很大,吉林地区最高为 174.04 g,其次是辽宁地区为 170.20 g,2 个地区平均值均大于 170.00 g,内蒙古地区最低,平均值小于 97.00 g。

## 2.2 小豆蛋白质、总淀粉、抗性淀粉及蒸煮后硬度的相关性分析

小豆蒸煮后的硬度影响了其食用口感。研究表明,抗性淀粉含量在一定程度上影响着物料的硬度<sup>[20-21]</sup>。小豆中除含淀粉外,还含有 25% 左右的蛋白质,但有关小豆蛋白质含量与蒸煮后硬度关系的研究尚未见开展。本研究相关性分析结果可知(表 3),蛋白质与蒸煮后硬度无显著相关性。总淀粉与抗性淀粉呈极显著负相关( $P<0.01$ ),但与蒸煮后硬度之间的相关性不显著。抗性淀粉与蒸煮后硬度呈显著正相关( $P<0.05$ ),与蛋白质之间的相关性不显著。

表 2 不同地区小豆蛋白质、总淀粉、抗性淀粉及蒸煮后硬度的描述性统计

Table 2 Descriptive statistic of adzuki bean protein, total starch, resistant starch, and hardness in different provinces

样品来源 Origin	蛋白质(%) Protein			总淀粉(%) Total starch			抗性淀粉(%) Resistant starch			蒸煮后硬度(g) Hardness		
	平均值	变幅	变异系数	平均值	变幅	变异系数	平均值	变幅	变异系数	平均值	变幅	变异系数
	Mean	Range	CV	Mean	Range	CV	Mean	Range	CV	Mean	Range	CV
吉林	24.18	22.82 ~ 26.11	2.77	54.67	49.66 ~ 61.55	5.02	15.71	11.11 ~ 19.83	11.98	174.04	65.41 ~ 329.41	38.14
黑龙江	24.63	22.91 ~ 26.41	3.18	53.55	49.77 ~ 58.61	4.19	15.70	10.49 ~ 19.79	16.70	145.34	61.32 ~ 305.04	34.91
山东	24.38	23.15 ~ 26.04	3.39	57.75	55.45 ~ 60.53	2.67	11.71	8.60 ~ 17.52	18.24	115.87	60.88 ~ 207.45	28.40
天津	24.94	24.02 ~ 26.10	2.66	56.47	49.79 ~ 62.97	7.08	14.18	9.34 ~ 16.83	14.07	144.47	78.42 ~ 215.14	23.13
辽宁	24.38	23.31 ~ 25.74	3.33	58.94	57.10 ~ 61.96	3.14	11.72	9.90 ~ 15.95	15.46	170.20	91.35 ~ 274.37	32.53
北京	24.86	24.02 ~ 25.93	2.71	57.83	55.26 ~ 60.35	2.81	11.76	8.94 ~ 15.84	20.59	162.28	120.56 ~ 250.97	30.22
河北	24.58	24.07 ~ 25.64	2.36	55.40	51.36 ~ 61.92	6.89	11.53	9.17 ~ 14.79	19.03	102.69	69.08 ~ 138.84	27.25
山西	23.82	22.33 ~ 25.14	4.25	56.81	49.45 ~ 62.40	8.20	11.25	9.37 ~ 13.21	13.31	132.54	45.37 ~ 209.85	49.06
内蒙古	25.17	24.21 ~ 25.73	3.33	52.43	51.69 ~ 52.90	1.24	14.25	11.07 ~ 16.45	19.78	96.42	61.41 ~ 133.22	37.27
供试群体	24.43	22.33 ~ 26.41	3.18	55.46	49.45 ~ 62.97	5.64	14.25	8.60 ~ 19.83	19.57	150.72	45.37 ~ 329.41	38.43

表 3 小豆蛋白质、总淀粉、抗性淀粉及蒸煮后硬度的相关性分析

Table 3 Correlation analysis of adzuki bean protein, total starch, resistant starch, and hardness

	蛋白质 Protein	总淀粉 Total starch	抗性淀粉 Resistant starch	蒸煮后硬度 Hardness
蛋白质 Protein	1	-0.155	-0.074	-0.036
总淀粉 Total starch		1	-0.417 **	-0.046
抗性淀粉 Resistant starch			1	0.181 *
蒸煮后硬度 Hardness				1

\* 与 \*\* 分别表示在 0.05 与 0.01 水平(双侧)上显著相关  
\* and \*\* represent significant at the 0.05 and 0.01 level(2-tailed), respectively

表 4 小豆优异资源来源地及种质代号

Table 4 Origin of the elite adzuki bean resources and code of the germplasm

高抗性淀粉资源 High resistant starch content resources			蒸煮后低硬度资源 Low hardness resources		
统一编号	抗性淀粉(%)	来源	统一编号	硬度(g)	来源
Unified code	Resistant starch	Origin	Unified code	Hardness	Origin
B0000795	19.83	吉林海龙	B0001815	45.37	山西晋城
B0000807	19.83	吉林柳河	B0001121	60.88	山东高青
B0001017	19.79	黑龙江克山	B0001071	61.32	黑龙江嫩江
B0000995	19.67	黑龙江延寿	B0000658	61.41	内蒙古乌盟
B0001008	19.40	黑龙江嫩江	B0000752	65.41	吉林和龙
B0000789	19.22	吉林辉南	B0001102	67.12	山东惠民
B0000983	19.03	黑龙江海林	B0001805	69.08	河北保定
B0001010	18.69	黑龙江嫩江	B0001768	71.51	河北大城
B0000778	18.25	吉林辉南	B0000749	75.04	吉林安图
B0000801	18.21	吉林靖宇			
B0000783	18.19	吉林辉南			
B0000802	17.89	吉林浑江			

硬度的材料主要分布在山东、吉林及河北等地区。在 12 份高抗性淀粉小豆资源中,黑龙江海林 B0000983 的蒸煮后硬度最低,为 97.71 g。在 9 份蒸煮后低硬度小豆资源中,吉林和龙 B0000752 的抗性淀粉含量最高,为 15.73%。

### 3 讨论

小豆富含淀粉,如何充分利用小豆中的淀粉资源是小豆深加工的关键所在。本研究测定了 140 份小豆的总淀粉、抗性淀粉、蛋白质含量及蒸煮后硬度,并对 4 个指标进行了相关性分析,分析结果表明,总淀粉与抗性淀粉含量存在极显著的负相关,而蒸煮后硬度与抗性淀粉含量呈显著的正相关。当前,有关小豆总淀粉、抗性淀粉及蒸煮后硬度相关性的研究尚未见报道,相关报道多与小麦有关。庞欢等<sup>[22]</sup>对小麦中抗性淀粉的研究表明,抗性淀粉含量与总淀粉含量之间存在显著的正相关(相关系数 0.151,  $P < 0.05$ )。这与本研究抗性淀粉与总淀粉呈极显著负相关的结论不一致。影响抗性淀粉含量的因素很多,包括作物本身的淀粉特性及淀粉与其他成分之间的相互作用,以及温度、水分等环境因素<sup>[23]</sup>。因而,本研究小豆抗性淀粉与总淀粉呈现极显著负相关的结论有待通过扩大样品数进一步验证。肖永霞等<sup>[21]</sup>研究了抗性淀粉添加量对面条物性参数的影响,结果表明添加一定量的抗性淀粉可增加面条的硬度。付蕾等<sup>[20]</sup>研究了抗性淀粉对小麦粉面包加工品质的影响,结果表明抗性淀粉的添加可增加面包的硬度。这与本研究抗性淀粉与蒸煮后硬度呈正相关的结论一致。但小豆抗性淀粉与蒸煮后硬度呈正相关的原因还有待进一步研究。

本研究筛选得到的 12 份抗性淀粉含量  $> 17.83\%$  的种质资源,全部分布在吉林与黑龙江地区,且此两区小豆种质资源的抗性淀粉平均含量高于其他 7 个地区。这部分高抗性淀粉种质资源可用于糖尿病人专用小豆品种的育种及产品加工。9 份蒸煮后硬度  $< 76.48$  g 的小豆种质资源分布范围较广,且各个地区的蒸煮后硬度平均值无明显规律,表明硬度的地域性分布特征不明显。这部分蒸煮后低硬度资源可用于小豆饭、豆粥等产品的加工。

### 参考文献

- [1] 杜连启,梁建兰. 杂豆食品加工技术[M]. 北京:化学工业出版社,2010:8-9
- [2] 林汝法,柴岩,廖琴,等. 中国小杂粮[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2002:215-216
- [3] 金文林,濮绍京,赵波,等. 小豆种质资源子粒淀粉和支链淀粉含量分析[J]. 植物遗传资源学报,2005,6(4):373-376
- [4] 贺微仙,郝惠斌,刘世民,等. 食用豆的营养品质鉴定[J]. 作物品种资源,1987(1):13-17
- [5] 刘明,谭斌,田晓红,等. 七种食用豆化学组成及挤压加工特性研究[J]. 食品科技,2010,35(8):189-197
- [6] 梁丽雅,闫师杰. 小豆的加工利用现状[J]. 粮油加工与食品机械,2004(3):68-69
- [7] 付蕾,田纪春. 抗性淀粉制备、生理功能和应用研究进展[J]. 中国粮油学报,2008,23(2):206-209
- [8] 冯钰涵,鞠宇,张璐,等. 抗性淀粉种类对大鼠肠道代谢产物和血脂的影响[J]. 食品科学,2012,33(19):289-294
- [9] Han K H, Iijuka, Shimada K, et al. Adzuki resistant starch lowered serum cholesterol and hepatic 3-hydroxy-3-methylglutaryl-CoA mRNA levels and increased hepatic LDL-receptor and cholesterol 7  $\alpha$ -hydroxylase mRNA levels in rats fed a cholesterol diet[J]. Brit J Nutr, 2005, 94(6):902-908
- [10] Han K H, Fukushima M, Shimizu K, et al. Resistant starches of beans reduce the serum cholesterol concentration in rats[J]. J Nutr Sci Vitaminol, 2003, 49(4):281-286
- [11] Fukushima M, Ohashi T, Kojima M, et al. Low density lipoprotein receptor mRNA in rat liver is affected by resistant starch of beans[J]. Lipids, 2001, 36(2):129-134
- [12] 武晓娟,薛文通,张惠. 不同品种小豆的品质评价研究[J]. 中国粮油学报,2011,26(9):20-24
- [13] 韩春然,姚珊珊,陈悦. 红豆淀粉的理化性质研究[J]. 现代食品科技,2011,27(11):1303-1306
- [14] 徐向东,黄立新,宁玄鹤,等. 红豆淀粉的性质研究[J]. 中国粮油学报,2010,25(25):34-38
- [15] Yousif A M, Kato J, Deeth H C. Effect of storage on the biochemical structure and processing quality of adzuki bean (*Vigna angularis*) [J]. Food Rev Int, 2007, 23(1):1-33
- [16] 孙海涛. 即食玉米物性学评价体系的研究[D]. 长春:吉林农业大学,2011
- [17] 高艺超,王丽丽,李再贵. 冷冻处理对黑豆吸水率和蒸煮时硬度变化的影响[J]. 农产品加工·学刊,2011,12:22-24
- [18] 马庆华,王贵禧,梁丽松. 质构仪穿刺试验检测大枣质地品质方法的建立[J]. 中国农业科学,2011,44(6):1210-1217
- [19] Yousif A M, Deeth H C, Caffin N A, et al. Effect of storage time and conditions on the hardness and cooking quality of adzuki (*Vigna angularis*) [J]. LWT-Food Sci Technol, 2002, 35(4):338-343
- [20] 付蕾,田纪春,高吉刚,等. 抗性淀粉与小麦粉配粉对面包加工品质的影响[J]. 中国粮油学报,2010,25(12):6-9,23
- [21] 肖永霞,邵秀芝,曲家妮,等. 抗性淀粉对面条品质影响的研究[J]. 食品科技,2008(10):32-35
- [22] 庞欢,李露,苑会功,等. 小麦抗性淀粉与其它淀粉性状间的相关及通径分析[J]. 石河子大学学报:自然科学版,2010,28(2):147-151
- [23] 张志转,陈多璞,沈希宏,等. 抗性淀粉形成的影响因素[J]. 核农学报,2008,22(4):483-487