

## 菜用大豆品质性状研究进展

张玉梅, 胡润芳, 林国强

(福建省农业科学院 作物研究所, 福建 福州 350013)

**摘要:**品质性状改良一直是菜用大豆育种的重要目标之一。随着近年来国际市场对菜用大豆需求的增加,对菜用大豆可溶性糖包括葡萄糖、果糖、蔗糖、棉子糖和水苏糖以及淀粉含量等营养品质性状以及香味主要成分2-乙酰-1-吡咯啉等食用品质性状进行了更深层次的研究。现对近年来菜用大豆的外观品质、营养品质、食味品质以及贮藏加工等方面取得的研究进展进行了综述,以期更好地了解国内外菜用大豆品质育种的现状和热点。

**关键词:**菜用大豆;品质;研究进展

中图分类号:S565.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2013)05-0698-05

## Research Advance on Quality Traits of Vegetable Soybean

ZHANG Yu-mei, HU Run-fang, LIN Guo-qiang

(Crop Sciences Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou 350013, China)

**Abstract:** Quality trait improvement is one of the important goals of vegetable soybean breeding. In recent years, the demand of vegetable soybean with good-eating quality is rapidly increasing, and soluble sugar contents including glucose, fructose, sucrose, raffinose and stachyose and starch content in nutritional quality traits as well as the main aroma compound 2-acetyl-1-pyrroline(2-AP) in good-eating quality traits are in deeper research. Detailed progress in quality traits is discussed, including appearance, nutritional value, sensory characteristics, storage and processing. The objective is to better understand the status and hotspots of research on quality traits of vegetable soybean at home and abroad.

**Key words:** Vegetable soybean; Quality traits; Progress

菜用大豆俗称毛豆(vegetable soybean),日本称枝豆(edamame),系豆荚鼓粒饱满,荚色、籽粒呈翠绿时采摘作为蔬菜食用的大豆,是大豆的专用型品种,富含蛋白质、碳水化合物、纤维素、维生素、矿物质以及植物雌激素等<sup>[1]</sup>,受到各国人们的喜爱<sup>[2]</sup>。我国是菜用大豆主要生产国之一,年产170万t<sup>[3]</sup>,南部沿海是我国菜用大豆的主要生产和消费地区。菜用大豆不仅是区域特色明显的优势农作物,同时也是主要的出口创汇农产品之一,在蔬菜生产中占有十分重要的地位,以速冻或保鲜等方式出口的菜用大豆在国外市场具有明显的优势<sup>[4]</sup>。

菜用大豆品质性状包括外观品质、营养品质、食用品质、卫生品质和贮藏加工品质等,其中外观品质和卫生品质是最重要的商品品质,是商品规格的一部分。食用品质和营养品质是内在属性,随着人们消费观念的转变,已变得越来越重要。目前国际市场对菜用大豆品质性状的要求越来越高,特别是食用品质和营养品质。现就近年来菜用大豆可溶性糖包括葡萄糖、果糖、蔗糖、棉子糖和水苏糖以及淀粉含量等营养品质性状和甜味、香味、感官评定等食用品质性状取得的进展进行概括,以期更好地了解国内外菜用大豆品质育种的现状和热点。

### 1 外观品质

外观品质作为菜用大豆的感官性状对菜用大豆的购买力起着重要的作用。目前国际和亚洲蔬菜研究与发展中心(AVRDC)要求菜用大豆荚色翠绿、每荚至少有2粒发育良好的籽粒,且2粒种子必须相邻;荚长至少4.5 cm、宽1.3 cm、厚0.6 cm,鲜荚每千克不超过340个荚,干籽粒百粒重30 g以上,并要求豆荚含菌量每克少于300万,不应含有大肠杆菌和沙门氏菌<sup>[5]</sup>。Sirisomboon等<sup>[6]</sup>提出菜用大豆筛选的8个外观标准:荚长、荚宽、荚厚、荚重、荚面积(pod projected area)、荚密度(apparent density)、容重(bulk density)以及种子硬度(seed firmness),其中优级菜用大豆具有较高的荚长、荚重、荚面积以及种子硬度。

### 2 营养品质

菜用大豆同粒用大豆一样,含有人体必需的营养成分,美国规定菜用大豆的营养品质应达到的标准为:蛋白含量 $12.95\text{ g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ ,维生素A $180\text{ IU}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ ,维生素C $29\text{ mg}\cdot 100\text{ g}^{-1}$ ,维生素B<sub>1</sub>

收稿日期:2013-03-27

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(200903002,201303094);福建省科技重大专项(2012NZ0002-1);福建省农业科学院创新团队项目(CXTD-1-1301);福建省农业科学院导师制青年科技创新基金项目(2012DQB-27)。

第一作者简介:张玉梅(1980-),女,博士,助理研究员,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:zym1122@126.com。

通讯作者:林国强(1965-),男,研究员,主要从事大豆遗传育种研究。E-mail:lgq308@163.com。

0.435 mg·100 g<sup>-1</sup>, 维生素 B<sub>2</sub> 0.175 mg·100 g<sup>-1</sup>, K 620 mg·100 g<sup>-1</sup>, P 194 mg·100 g<sup>-1</sup>, Ca 197 mg·100 g<sup>-1</sup>, 可食用纤维素 4.2 g·100 g<sup>-1</sup>[7]。菜用大豆是大豆的专用型品种,可溶性糖和淀粉作为菜用大豆重要的品质性状,近年来在种质资源筛选和 QTL 定位方面取得不少成果。

### 2.1 蔗糖

Mebrahtu 和 Devine<sup>[8]</sup>利用 10 个菜用大豆品种的完全双列杂交试验研究菜用大豆采青期的亲本、F<sub>2</sub>和 F<sub>3</sub>蔗糖和总糖含量,结果表明蔗糖和总糖含量的一般配合力和特殊配合力以及互作效应均达到显著水平,品种 Kanrich、Pella、Verde 和 V81-1603 对高蔗糖含量具有较好的一般配合力,通常,早熟品种 Kanrich、Pella 和 Verde 的杂交后代蔗糖含量较高,总糖含量高的最好杂交亲本是 Verde、V81-1603 和 PI 399055。Saldivar 等<sup>[9]</sup>对 7 个大豆品种籽粒发育过程中化学组分进行分析,表明蔗糖含量在发育过程中逐渐降低,相反不易消化的寡聚糖含量(棉子糖、水苏糖)在发育的早期阶段含量较低,在成熟前 3 周含量逐渐增加。Bellaloui 等<sup>[10]</sup>研究表明熟期与蔗糖含量成负线性关系,熟期对糖含量的影响显著高于温度的影响,并得出糖组分含量主要受基因型和熟期影响。Hou 等<sup>[11]</sup>利用 101 对 SSR 标记,对来自中国的 323 份菜用大豆的百荚鲜重、百粒鲜重、蔗糖含量以及游离氨基酸含量进行关联分析,结果将供试材料分为 2 个亚群,平均 D'值为 0.258,SSR 位点间 D'值的衰减速率较快,共检测到涉及 44 个 SSR 标记的 79 个位点的变异与 4 个性状相关联。Maughan 等<sup>[12]</sup>发现与大豆蔗糖含量有关的标记 17 个,其中最显著的 7 个标记 sg: laSU-A487V、sg: laSU-A136V、sg: laSU-A963H、sg: laSU-A186I、BARC-SC514、sg: laSUA23I 和 sg: laSU-A144H 分别位于 A1、A2、E、F、M、L 和 I 上,可以解释表型总变异的 53%。同时发现大豆蔗糖含量与大豆脂肪含量呈正相关。

### 2.2 可溶性糖组分

Rao 等<sup>[13]</sup>以 14 个菜用大豆品种(日本 10 个、中国 2 个、美国 2 个)进行为期 4 年的分析,结果表明葡萄糖含量平均为 67.1 g·kg<sup>-1</sup>。Hou 等<sup>[14]</sup>进一步对来源于 28 个国家的 3 个熟期组的 241 份大豆种质的糖组分(葡萄糖、果糖、蔗糖、棉子糖和水苏糖)以及总糖含量进行分析,结果表明蔗糖含量变幅为 1.6~95.4 mg·g<sup>-1</sup>,水苏糖为 0.2~69.6 mg·g<sup>-1</sup>,葡萄糖含量最高为 40.7 mg·g<sup>-1</sup>,果糖含量最高为 36.5 mg·g<sup>-1</sup>,总的来说,大豆种质糖组分及总糖含量存在丰富的遗传变异,为育种提供丰富的种质资源,尽管这只是对粒用大豆中糖分进行分析,但也可作为菜用大豆糖分表达谱提供参考依据。Kim 等<sup>[15]</sup>报道了 4 个 QTL 与低聚糖有关,分别位于连

锁群 C2、H、J、L 上,其中 C2 上的主效 QTL 可以解释表型变异的 14.48%;2 个与大豆蔗糖相关的 QTL 可以解释表型变异的 16.6%,分别位于连锁群 H 和 J。针对低寡聚糖含量大豆品系的选育已有报道<sup>[16]</sup>,但改良糖组分的大豆品种还没有释放或报道。Skoneczaka 等<sup>[17]</sup>在大豆种质 PI200508 中定位了 1 个低水苏糖的位点,并找到 1 个可直接选择低水苏糖表型的分子标记,该标记表型结实率可达 94%。

### 2.3 淀粉

Jeong 等<sup>[18]</sup>对日本大豆种质库中保存的 6 002 份材料进行分析,结果表明淀粉含量变幅为 2%~7%,从中筛选出 15 份淀粉含量超过 4% 的种质。大豆籽粒在发育过程中淀粉含量逐渐降低,到籽粒成熟时不足 1%<sup>[9,19]</sup>。Stevenson 等<sup>[20-21]</sup>对在籽粒成熟前 20 d 的淀粉结构和功能进行分析,结果表明大豆籽粒淀粉呈现 CB-型 X-射线衍射谱带,淀粉粒直径非常小,为 0.5~4.5 μm,支链淀粉聚合度较低,但是不同类型品种的支链淀粉含量以及支链淀粉结构与大豆籽粒成熟时脂肪酸组分的关系仍需进一步研究。

## 3 食用品质

菜用大豆的食用品质主要体现在香、甜、柔、糯等方面。普遍认为可溶性糖含量高的品种具有较强的甜味,淀粉含量高的品种糯性较强,脂肪含量高的品种质地较软,蛋白质中游离氨基酸含量较高的品种有较强的鲜味。

### 3.1 甜味

通常认为,菜用大豆的甜味主要归因于糖分含量,其中蔗糖和麦芽糖是影响菜用大豆甜味的主要成分之一<sup>[22-23]</sup>。Rackis 等<sup>[24]</sup>同样认为菜用大豆比成熟期食用具有较好的甜味而且易于吸收,因为 R6 期采摘食用的菜用大豆具有较高水平的蔗糖含量,而寡聚糖刚开始积累。Masuda<sup>[25]</sup>研究表明菜用大豆的甜味主要归因于蔗糖、谷氨酸和丙氨酸含量。王丹英等<sup>[26]</sup>研究表明菜用大豆籽粒中的甜味与籽粒的蔗糖含量显著正相关;鲜味主要取决于游离氨基酸的含量。Wszelaki 等<sup>[27]</sup>报道消费者偏好的毛豆品种具有较好的质地和甜味特性。

### 3.2 香味

香味是影响菜用大豆食味品质的重要因素之一,具有独特香味特性的菜用大豆备受广大消费者的欢迎和育种工作者的重视。相对于普通菜用大豆来说,具有香味的菜用大豆具有更强的市场需求。因此香味成为菜用大豆最为重要的育种目标之一,并被引进到全世界 107 个国家进行育种<sup>[28-29]</sup>。普遍认为菜用大豆中的香味与 2-乙酰-1-吡咯啉(2-acetyl-1-pyrroline, 2-AP)含量的多少有

关<sup>[3,30-35]</sup>,这与 Buttery 等<sup>[36]</sup>报道的香稻中的香味物质相同。在菜用大豆 Dadachamame 中 2-AP 的含量在采青食用时最高,之后逐渐下降<sup>[31]</sup>。遗传分析表明菜用大豆香味是单基因控制的隐性遗传<sup>[37]</sup>。Juwattanasomran 等<sup>[3]</sup>将香味基因定位在菜用大豆品种 Kaori 第 5 号染色体(连锁群 A1) BADH2-CDS5-6,进一步阐明 *GmBADH2* (*Glycine max* betaine aldehyde dehydrogenase) 的第 10 个外显子存在一个 SNPs 的无义突变,碱基 G 替换成 A 即甘氨酸(glycine, GGC; G) 替换成天冬氨酸(GAC; D),导致 *GmBADH2* 蛋白功能的丧失,从而使 Kaori 具有芳香物质,将这个香味的等位点命名为 *Gmbadh2-1*。Juwattanasomran 等<sup>[35]</sup>在对另一香味品种 Chamame 的 *GmBADH2* 进行测序时发现外显子 10 处存在一个 2 bp 的缺失,缺失产生移码突变导致翻译的提前终止, *GmBADH2* 蛋白功能的丧失,从而产生香味,并将这个等位点命名为 *Gmbadh2-2*。Wu 等<sup>[30]</sup>提出在具有香味的菜用大豆中,2-AP 的合成受甲基乙二醛(methylglyoxal, MG) 和吡咯啉-5-羧酸( $\Delta^1$ -pyrroline-5-carboxylate, P5C) 调控的机制。至今,在水稻中已报道有 9 个与香味有关的 *OsBADH2* 等位基因<sup>[38-41]</sup>。而在菜用大豆中有 2 个与香味有关 *GmBADH2* 等位基因<sup>[3,35]</sup>。虽然没有功能的 *BADH2* 是菜用大豆和香米产生香味的主要原因,但是这个基因也不能完全控制香味的产生<sup>[3,39,42]</sup>。如 Kovach 等<sup>[39]</sup>发现一些品种的 *OsBADH2* 基因并没有发生突变但仍具有香味,推测其他基因对香味的产生也有影响。Amarawathi 等<sup>[42]</sup>报道一些 RILs 含有 *Osbadh2* 但是没有香味, Juwattanasomran 等<sup>[3]</sup>也发现一些 RILs 含有 *Gmbadh2-1* 但缺少香味,这些都说明香味的产生是个复杂的性状,可能与环境有关,也可能受到多个基因的控制。

### 3.3 感官评定

感官评定是用人们的感觉器官(即嗅、味、触、听、视)对食品的感官特性进行评价的一门科学,其本质就是科学地量度和分析人们接触到食品时感觉器官所感知的各种物性反应。菜用大豆作为一种蔬菜,其感官品质的好坏十分重要。韩立德等<sup>[43]</sup>最先提出一套合理的烹煮方法及品尝方式,运用模糊综合感官评判法评定菜用大豆品质。在此基础上,又利用模糊数学理论结合现代食品感官分析技术,提出一套菜用大豆感官品质鉴定技术体系<sup>[44]</sup>。研究表明香味、鲜味、豆腥味、粘性和硬度 5 个二级感官性状的遗传变异度均大于熟食口味、粒色、生样可剥性、生食口感、熟食香味和粒荚外观 6 个一级感官性状,粒荚外观、熟食口味、生食口感对感官品质综合评定值直接效应显著并较大,其中荚厚、荚长、百荚鲜重对粒荚外观的直接效应显著,甜味及可溶性糖为影响熟食品质的主要因素,硬度对生

食口感直接负效应显著<sup>[45]</sup>。以全国菜用大豆主产区的菜用大豆初选核心种质 154 份品种为材料,依据感官品质性状,采用系统聚类方法构建了由 36 份材料组成的夏播菜用大豆感官品质性状核心种质,并将构建的核心种质与原有种质进行遗传资源代表性及表型相关分析,结果表明,核心种质较好地保持了原有种质的遗传多样性和复杂性<sup>[46]</sup>。进一步对菜用大豆核心种质进行研究,并提出核心取样的概念<sup>[47-48]</sup>。

近年来,菜用大豆风味特性的研究逐步深入<sup>[27,49-50]</sup>,建立了专门对菜用大豆风味进行描述的“风味词典”(flavor lexicon)<sup>[51]</sup>,并对影响菜用大豆香味的 13 个香味因子、基本风味以及 3 个感官因子进行了详细的描述。Da Silva 等<sup>[52]</sup>利用主观评价和电子舌对菜用大豆感官性状以及化学成分进行分析,结果表明电子舌可以区分出不同品种的风味差异,主观评价得分和电子舌评分具有显著相关性( $r = 0.50 \sim 0.80$ ),与化学成分的相关性达到( $r = 0.51 \sim 0.98$ ),而电子舌和籽粒化学成分具有显著相关性( $r = 0.50 \sim 0.94$ ),由此得出可以用电子舌对大豆品种进行感官评价。

## 4 贮藏加工品质

菜用大豆采摘后在常温下易衰老变质,主要表现为豆荚和豆肉黄化,同时豆荚易受微生物的侵染而出现褐斑,降低商品性,缩短保质期。最近,国外对菜用大豆采摘后的储藏工艺以及加工处理后的外观和化学品质等进行了较为深入的研究。相对来说,国内对这一过程的研究较少。菜用大豆在采后前 30 d 豆荚叶绿素和豆粒维生素 C 与还原糖含量迅速下降,豆荚失水率、膜透性和丙二醛(MAD)含量上升较快,30 d 后豆荚腐烂率迅速增加。低温能抑制豆荚贮藏期间的呼吸强度和蒸腾失水,保持较低的膜透性、MDA 含量和较高的叶绿素、维生素 C 及还原糖含量,从而延缓绿豆荚的衰老和品质下降,延长贮藏寿命<sup>[53]</sup>。在  $-4^{\circ}\text{C}$  连荚储藏 3 ~ 5 d 内菜用大豆外观和品质均可保持最佳状态<sup>[54]</sup>。Sugimoto 等<sup>[55]</sup>研究表明感官品质随储藏时间的延长逐渐降低,而代谢物呈现出 4 种不同的表达模式,特别是与感官特性有关的氨基酸水平的变化。莽草酸下游的代谢物以及磷脂、 $\gamma$ -氨基丁酸随储藏温度的升高而增加。Song 等<sup>[1]</sup>认为  $100^{\circ}\text{C}$  杀青 10 min 有助于保持荚粒绿色,降低籽粒硬度以及防止糖分和水溶性维生素流失。Mozzoni 等<sup>[56]</sup>研究表明蒸汽炉煮 2 min 胰蛋白酶抑制剂活性下降 80%,可保持荚粒具有较好的绿色、质地和蔗糖含量;带荚或脱壳杀青对胰蛋白酶抑制剂活性、颜色、质地的影响没有差异,但带荚杀青可以阻止蔗糖的流失;杀青不影响铁离子、单/寡聚糖含量,但可增加氮和钙离

子含量;用电炉杀青过程中除钙和氮含量增加,寡聚糖含量保持不变外,其他含量随煮沸时间而线性下降。

## 5 展 望

菜用大豆作为我国重要的出口类蔬菜之一,随着国际市场对其品质要求的提高,菜用大豆品质已成为我国菜用大豆生产和出口的主要制约因素。目前,国际上对菜用大豆的研究已从荚粒大小、颜色等外观品质逐渐向营养品质如可溶性糖含量、糖组分(葡萄糖、果糖、蔗糖、棉子糖、水苏糖)、淀粉含量和食用品质如甜味、香味、感官评定等方面深入。而国内对于菜用大豆的研究目前还鲜有涉及这些领域。因此,在今后的菜用大豆品种选育以及品质研究中,应着眼于高可溶性糖含量,适当配比的糖、氨基酸以及脂肪酸组分,高淀粉含量、香味等优异种质资源的鉴定和筛选,继而挖掘种质资源中的优异基因并对其实施知识产权保护,将种质资源优势逐渐转变为基因优势,避免“种中国大豆侵美国权”。

## 参考文献

- [1] Song J Y, An G H, Kim C J. Color, texture, nutrient contents, and sensory values of vegetable soybeans [*Glycine max* (L.) Merrill] as affected by blanching[J]. Food Chemistry, 2003, 83: 69-74.
- [2] Duppong L M, Hatterman-Valenti H. Yield and quality of vegetable soybean cultivars for production in North Dakota[J]. HortTechnology, 2005, 15: 896-900.
- [3] Juwattanasomran R, Sonta P, Chankaew S, et al. A SNP in *Gm-BADH2* gene associates with fragrance in vegetable soybean variety “Kaori” and SNAP marker development for the fragrance[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2011, 122: 533-541.
- [4] 刘欣,姚哈琚,章强华,等. 浙江省出口菜用大豆使用农药现状及风险分析[J]. 大豆科学, 2011, 30(2): 298-302. (Liu X, Yao H J, Zhang Q H, et al. Status of pesticide and risk analysis of exporting vegetable soybeans in Zhejiang province[J]. Soybean Science, 2011, 30(2): 298-302.)
- [5] 张秋英,李彦生,王国栋,等. 菜用大豆品质及其影响因素研究进展[J]. 大豆科学, 2010, 29(6): 1065-1070. (Zhang Q Y, Li Y S, Wang G D, et al. Quality and factors involved in vegetable soybean production [J]. Soybean Science, 2010, 29(6): 1065-1070.)
- [6] Sirisomboon P, Pornchaloempong P, Romphopphak T. Physical properties of green soybean; criteria for sorting[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 79: 18-22.
- [7] Department of Agriculture of the United States-USDA. National nutrient database for standard references[S]. Release 18. USDA. <http://www.nalusda.gov/fnci/foodcomp/search2005>, Acesso em: 28 maio 2006.
- [8] Mebrahtu T, Devine T E. Diallel analysis of sugar composition of 10 vegetable soybean lines [J]. Plant Breeding, 2009, 128: 249-252.
- [9] Saldivar X, Wang Y J, Chen P, et al. Changes in chemical composition during soybean seed development [J]. Food Chemistry, 2011, 124: 1369-1375.
- [10] Bellaloui N, Smith J R, Gillen A M, et al. Effect of maturity on seed sugars as measured on near-isogenic soybean (*Glycine max*) lines[J]. Crop Science, 2010, 50: 1978-1987.
- [11] Hou J, Wang C, Hong X, et al. Association analysis of vegetable soybean quality traits with SSR markers[J]. Plant Breeding, 2011, 130: 444-449.
- [12] Maughan P J, Maroof M A S, Buss G R. Identification of quantitative trait loci controlling sucrose content in soybean (*Glycine max*) [J]. Molecular Breeding, 2000, 6: 105-111.
- [13] Rao M S S, Bhagsari A S, Mohamed A I. Fresh green seed yield and seed nutritional traits of vegetable soybean genotypes[J]. Crop Science, 2002, 42: 1950-1958.
- [14] Hou A, Chen P, Alloatti J, et al. Genetic variability of seed sugar content in worldwide soybean germplasm collections[J]. Crop Science, 2009, 49: 903-912.
- [15] Kim H, Kang S, Oh K. Mapping of putative quantitative trait loci controlling the total oligosaccharide and sucrose content of *Glycine max* seeds[J]. Journal of Plant Research, 2006, 119: 533-538.
- [16] Neus J D, Fehr W R, Schnebly S R. Agronomic and seed characteristics of soybean with reduced raffinose and stachyose[J]. Crop Science, 2005, 45: 589-592.
- [17] Skoneczka J A, Maroof M A S, Shang C, et al. Identification of candidate gene mutation associated with low stachyose phenotype in soybean line PI 200508[J]. Crop Science, 2009, 49: 247-255.
- [18] Jeong W H, Harada K, Yamada T, et al. Establishment of new method for analysis of starch contents and varietal differences in soybean seeds[J]. Breeding Science, 2010, 60: 160-163.
- [19] Wilcox J R, Shibles R M. Interrelationships among seed quality attributes in soybean[J]. Crop Science, 2001, 41: 11-14.
- [20] Stevenson D G, Doorenbos R K, Jane J, et al. Structures and functional properties of starch from seeds of three soybean (*Glycine max* L. Merr.) varieties[J]. Starch-Stärke, 2006, 58: 509-519.
- [21] Stevenson D G, Jane J, Inglett G E. Structures and physicochemical properties of starch from immature seeds of soybean varieties (*Glycine max* L. Merr.) exhibiting normal, low-linolenic or low-saturated fatty acid oil profiles at maturity[J]. Carbohydrate Polymers, 2007, 70: 149-159.
- [22] Masuda R, Hashizume K, Kaneko K. Effect of holding time before freezing on constituents and flavour of frozen green soybeans (edamame)[J]. Journal of Japanese Society of Food Science and Technology, 1988, 35: 763-770.
- [23] Masuda R, Moscardi F, Hoffmann-Campo C, et al. The strategy for sweetness increase of vegetable soybeans; maltose, another sugar in boiled seeds [C]//Proceedings of VII World Soybean Research Conference. Foz do Iguassu, Brazilian Agricultural Research Corporation, National Soybean Research Center, 2004: 839-844.
- [24] Rackis J, Honig D, Sessa D, et al. Lipoxigenase and peroxidase activities of soybeans as related to flavor profile during maturation [J]. Cereal Chemistry, 1972, 49: 586-597.
- [25] Shanmugasundaram S. Vegetable soybean: research needs for production and quality improvement [C]. Taiwan: Proceedings of a workshop held at Kenting, Taiwan, 29 April-2 May, 1991.
- [26] 王丹英,汪自强,方勇,等. 菜用大豆食味品质及其内含物关系研究[J]. 金华职业技术学院学报, 2002, 2(3): 15-17. (Wang D Y, Wang Z Q, Fang Y, et al. Studies on the relationship between vegetable soybean eating quality and its components[J]. Journal of Jinhua College of Profession and Technology, 2002, 2(3): 15-17.)
- [27] Wszelaki A L, Delwiche J F, Walker S D, et al. Consumer liking and descriptive analysis of six varieties of organically grown

- edamame-type soybean [J]. Food Quality and Preference, 2005, 16:651-658.
- [28] Takashi M, Yan M R, Shanmugasundaram S. Activities of Asian Vegetable Research and Development Center(AVRDC) to develop and spread new edamame lines[J]. Journal of Japanese Edamame Science and Edamame Research, 2006, 4:2-8.
- [29] Shanmugasundaram S, Yan M. Global expansion of high value vegetable soybean [C]//World Soybean Research Conference, 7<sup>th</sup>, Londrina; Brazilian Agricultural Research Corporation, National Soybean Research Center, 2004, 915-920.
- [30] Wu M L, Chou K L, Wu C R, et al. Characterization and the possible formation mechanism of 2-acetyl-1-pyrroline in aromatic vegetable soybean (*Glycine max* L.) [J]. Journal of Food Science, 2009, 74: S192-S197.
- [31] Fushimi T, Masuda R. 2-acetyl-1-pyrroline concentration of the aromatic vegetable soybean "Dadacha-mame" [C]//Proceedings of Second International Vegetable Soybean Conference. Tacoma; Washington State University, 2001:39.
- [32] Plonjarean S, Phutdhawong W, Siripin S, et al. Flavour compounds of the Japanese vegetable soybean "Chakaon" growing in Thailand [J]. Maejo International Journal of Science and Technology, 2007, 1:1-9.
- [33] Arikiti S, Yoshihashi T, Wanchana S, et al. Deficiency in the amino aldehyde dehydrogenase encoded by *GmAMADH2*, the homologue of rice *Os2AP*, enhances 2-acetyl-1-pyrroline biosynthesis in soybeans (*Glycine max* L.) [J]. Plant Biotechnology Journal, 2011, 9:75-87.
- [34] Arikiti S, Yoshihashi T, Wanchana S, et al. A PCR-based marker for a locus conferring aroma in vegetable soybean (*Glycine max* L.) [J]. Theoretical and Applied Genetics, 2011, 122:311-316.
- [35] Juwattanasomran R, Somta P, Kaga A, et al. Identification of a new fragrance allele in soybean and development of its functional marker [J]. Molecular Breeding, 2012, 29:13-21.
- [36] Buttery R G, Ling L C, Juliano B O, et al. Cooked rice aroma and 2-acetyl-1-pyrroline [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1983, 31:823-826.
- [37] AVRDC. AVRDC progress report 2002 [R]. Shanhua, Taiwan; the World Vegetable Center, 2003, 182.
- [38] Bradbury L M T, Fitzgerald T L, Henry R J, et al. The gene for fragrance in rice [J]. Plant Biotechnology Journal, 2005, 3:363-370.
- [39] Kovach M J, Calingacion M N, Fitzgerald M A, et al. The origin and evolution of fragrance in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Proceedings of the National Academy of Science, 2009, 106:14444-14449.
- [40] Shi W, Yang Y, Chen S, et al. Discovery of a new fragrance allele and the development of functional markers for the breeding of fragrant rice varieties [J]. Molecular Breeding, 2008, 22:185-192.
- [41] Wanchana S. Identification of genes controlling grain aroma and amylose content for positional cloning and marker-assisted selection program in rice (*Oryza sativa* L.) [D]. Thailand; Kasetsart University, 2005.
- [42] Amarawathi Y, Singh R, Singh A, et al. Mapping of quantitative trait loci for basmati quality traits in rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Molecular Breeding, 2008, 21:49-65.
- [43] 韩立德, 盖钧镒, 邱家驹. 应用模糊数学方法评定菜用大豆感官品质 [J]. 大豆科学, 2002, 21(4):274-277. (Han L D, Gai J Y, Qiu J X. Study on evaluation method of quality traits of vegetable soybean [J]. Soybean Science, 2002, 21(4):274-277.)
- [44] 韩立德, 邱家驹, 盖钧镒. 夏播菜用大豆感官品质鉴定的研究 [J]. 大豆科学, 2003, 22(1):27-31. (Han L D, Qiu J X, Gai J Y. Study on evaluation of quality traits in genetic resources of summer-planted vegetable soybean [J]. Soybean Science, 2003, 22(1):27-31.)
- [45] 韩立德, 盖钧镒, 邱家驹, 等. 菜用大豆感官品质性状遗传变异及品质育种目标性状分析 [J]. 植物遗传资源学报, 2003, 4(1):16-20. (Han L D, Gai J Y, Qiu J X, et al. Genetic variation and breeding objective of sensory quality traits of vegetable soybean [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2003, 4(1):16-20.)
- [46] 韩立德, 胡晋, 徐海明, 等. 夏播菜用大豆感官品质性状核心种质构建方法的研究 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2005, 31(3):288-292. (Han L D, Hu J, Xu H M, et al. Study on method of core collection construction for sensory quality traits of summer-planted vegetable soybean [J]. Journal of Zhejiang University (Agriculture & Life Sciences), 2005, 31(3):288-292.)
- [47] 韩立德, 徐海明, 胡晋. 核心种质数量性状代表性评价指标的研究 [J]. 生物数学学报, 2006, 21(4):603-609. (Han L D, Xu H M, Hu J. A study on representative evaluation parameters of quantitative traits for core collection [J]. Journal of Biomathematics, 2006, 21(4):603-609.)
- [48] 韩立德, 邱家驹, 徐海明, 等. 夏播菜用大豆感官品质性状核心选样的构建 [J]. 大豆科学, 2008, 27(1):21-25. (Han L D, Qiu J X, Xu H M, et al. Construction of core selection of quality traits from genetic resources of summer-planted vegetable soybean [J]. Soybean Science, 2008, 27(1):21-25.)
- [49] Kelley K M, Sánchez E S. Accessing and understanding consumer awareness of and potential demand for edamame [J]. HortScience, 2005, 40:1347-1353.
- [50] Akazawa T, Shiraiwa E, Satoh N, et al. Variations in eating quality, flavor and pod color of green soybeans [*Glycine max*] from vegetable-type and grain-type plants stored at various temperatures [J]. Japanese Journal of Crop Science, 2002, 71:62-67.
- [51] Krinsky B F, Drake M A, Civile G V, et al. The development of a lexicon for frozen vegetable soybean (edamame) [J]. Journal of Sensory Studies, 2006, 21:644-653.
- [52] Da Silva J, Prudencio S, Carrão-Panizzi M, et al. Study on the flavour of soybean cultivars by sensory analysis and electronic tongue [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2012, 47:1630-1638.
- [53] 苏新国, 郑永华, 汪峰, 等. 贮藏温度对菜用大豆采后生理和品质变化的影响 [J]. 南京农业大学学报, 2003, 26(1):114-116. (Su X G, Zheng Y H, Wang F, et al. Effect of storage temperature on physiological and quality changes in vegetable soybean [J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2003, 26(1):114-116.)
- [54] 吴冬梅, 严菊敏, 何会超, 等. 不同贮藏方式对菜用大豆外观和品质的影响 [J]. 大豆科学, 2012, 31(1):155-158. (Wu D M, Yan J M, He H C, et al. Effects of different storage method on appearance and quality of vegetable soybean [J]. Soybean Science, 2012, 31(1):155-158.)
- [55] Sugimoto M, Goto H, Otomo K, et al. Metabolomic profiles and sensory attributes of edamame under various storage duration and temperature conditions [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2010, 58:8418-8425.
- [56] Mozzoni L A, Chen P, Morawicki R O, et al. Quality attributes of vegetable soybean as a function of boiling time and condition [J]. International Journal of Food Science & Technology, 2009, 44:2089-2099.