

程茜,黄璐,沈旭,等.基于电子舌和人工感官评价的菜用大豆食用品质特性分析[J].江苏农业科学,2023,51(7):161-167.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2023.07.022

# 基于电子舌和人工感官评价的菜用大豆食用品质特性分析

程茜<sup>1,2</sup>,黄璐<sup>2</sup>,沈旭<sup>1</sup>,张晓燕<sup>2</sup>,袁星星<sup>2</sup>,薛晨晨<sup>2</sup>,陈新<sup>1,2</sup>

(1.南京财经大学食品科学与工程学院,江苏南京 210023; 2.江苏省农业科学院经济作物研究所,江苏南京 210014)

**摘要:**以江苏省不同城市 6 种特色菜用大豆为研究对象,定性定量分析了与食用品质相关的化学组成(糖组分、游离氨基酸),利用人工感官评价结合电子舌智能感官技术分析不同品种的味觉属性,以多元统计学方法探究其相关性及其差异性。结果表明,蔗糖(75.32~108.56 mg/g)是菜用大豆中最主要的糖组分,通 7-391-1 的蔗糖含量最高。菜用大豆中共计检测出 15 种游离氨基酸,总含量范围 720.02~838.82 mg/100 g,其中通 7-391-1 中 15 种氨基酸均检出且总游离氨基酸含量最高,为 838.82 mg/100 g。人工感官评价中,通 7-391-1 甜味最高,为 5.50,但苏豆 18 号的综合平均得分最高,为 6.25。电子舌结果显示,苏豆 18 的鲜味响应值最高,为 2 947.47,甜味响应值最高的品种是通 7-391-1,为 3 472.11。主成分分析显示,电子舌技术能很好地区分不同品种菜用大豆。电子舌鲜甜味与人工感官评价的鲜甜味关联度较高,呈极显著正相关,鲜味相关系数达 0.926,甜味相关系数达 0.983。本研究结果能充分了解地方特色菜用大豆品种的化学组成,同时为菜用大豆甜味和鲜味等味觉属性的智能化评判提供有效参考和技术支撑。

**关键词:**菜用大豆;食用品质;化学组成;感官评价;电子舌;相关性

**中图分类号:**TS207.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2023)07-0161-07

我国作为最早驯化和种植大豆的国家,至少有 5 000 年的栽培历史。菜用大豆为豆科大豆属中

的一个栽培种,是指在 R6(鼓粒盛期)至 R7(初熟期)生育期间荚籽粒饱满、豆荚和籽粒都呈翠绿色时采摘,以豆粒供食用的大豆<sup>[1-2]</sup>。因其荚上有细毛,人们俗称为“毛豆”。菜用大豆因其独特的风味、丰富的营养,受到消费者喜爱;此外,具有调理肠道、降血压及胆固醇等药理活性,对调节人们膳食结构和改善营养状况具有重要作用<sup>[3]</sup>。近年来,菜用大豆的生产和市场得到迅速发展,市场供应期长、潜力大、经济效益好。目前栽培面积和出口量

收稿日期:2022-07-22

基金项目:江苏省研究生科研创新计划(编号:KYCX21\_1527);江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(20)2015]。

作者简介:程茜(1997—),女,安徽滁州人,硕士研究生,主要从事豆类功能育种与综合利用研究。E-mail:2113627665@qq.com。

通信作者:陈新,博士,研究员,主要从事豆类作物遗传育种研究, E-mail:cx@jaas.ac.cn;薛晨晨,博士,副研究员,主要从事豆类功能育种与综合利用研究, E-mail:xuecc@jaas.ac.cn。

[22] Howell C R. Cotton seedling preemergence damping-off incited by *Rhizopus oryzae* and *Pythium* spp. and its biological control with trichoderma spp. [J]. *Phytopathology*, 2002, 92(2): 177-180.

[23] Zhou H Y, Wang D, Zhao J, et al. First report of *Rhizopus* head rot of sunflower caused by *Rhizopus arrhizus* (syn. *R. oryzae*) in Xinjiang and Gansu provinces of China [J]. *Plant Disease*, 2018, 102(6): 1173.

[24] Askun T. Investigation of fungal species diversity of maize kernels [J]. *Journal of Biological Sciences*, 2006, 6(2): 275-281.

[25] Hsuan H M, Salleh B, Zakaria L. Molecular identification of *Fusarium* species in *Gibberella fujikuroi* species complex from rice, sugarcane and maize from peninsular Malaysia [J]. *International Journal of Molecular Sciences*. 2011, 12(10): 6722-6732.

[26] Sant D, Casanova E, Segarra G, et al. Effect of *Trichoderma asperellum* strain T34 on *Fusarium* wilt and water usage in carnation

grown on compost-based growth medium [J]. *Biological Control*, 2010, 53(3): 291-296.

[27] 陶玲芸,张怡雯,李雅乾,等.棘孢木霉挥发性次级代谢产物检测及抑菌活性分析[J]. *生物工程学报*, 2020, 36(6): 1181-1189.

[28] Wonglom P, Ito S, Sunpapao A. Volatile organic compounds emitted from endophytic fungus *Trichoderma asperellum* T1 mediate antifungal activity, defense response and promote plant growth in lettuce (*Lactuca sativa*) [J]. *Fungal Ecology*, 2020, 43: 100867.

[29] Sabuquillo P, de Cal A, Melgarejo P. Dispersal improvement of a powder formulation of *Penicillium oxalicum*, a biocontrol agent of tomato wilt [J]. *Plant Disease*, 2005, 89: 1317-1323.

[30] 张先富,相立,王艳芳,等.草酸青霉 A1 菌株的鉴定及对苹果 4 种镰孢病菌的拮抗作用[J]. *园艺学报*, 2016, 43(5): 841-852.

[31] 孙剑秋,阮永明,金世宇,等.篮状菌属的重要性及其分类学研究概况[J]. *菌物研究*, 2021, 19(2): 83-93.

均达世界前列<sup>[4]</sup>。菜用大豆符合我国农业未来的发展与要求,特别是在我国对农业供给侧结构不断地理解、深化、改革的阶段,研究和种植菜用大豆都将有利于生态环境的保护,带来较高的经济效益。

根据多年的研究,菜用大豆品质主要包括外观品质、营养品质和食用品质<sup>[5]</sup>。菜用大豆的外观品质包括豆荚的饱满程度、色泽的翠绿程度及豆粒的大小,决定了菜用大豆的商品性。营养品质是指菜用大豆中的营养成分含量和组成。食用品质是指消费者食用菜用大豆时所获得的感官享受<sup>[6-7]</sup>,一般体现在甜鲜度,其次是香味、口感、质地等方面。甜味是菜用大豆的食用品质之一,因个人差异,标准不一,但一般将甜味、鲜味、质地、香味作为评价菜用大豆的食味性状的指标<sup>[8]</sup>。研究表明,消费者尤其是年青人喜欢甜度高的菜用大豆<sup>[9]</sup>。一般来说,甜度高的菜用大豆口感好,这主要取决于籽粒中的蔗糖含量<sup>[10]</sup>,鲜味取决于游离氨基酸含量,质地和糯性主要受脂肪、蛋白质、淀粉等的影响,香味取决于挥发性成分,菜用大豆的食用品质与其化学成分存在着一定的相关性<sup>[11]</sup>。菜用大豆食用品质评价通常采用传统的人工感官评价方法,受主观因素(个人喜好、情绪等)和外部环境的影响较大,且当样品量较大时,很难在一定程度上保证结果的准确性和客观性<sup>[12]</sup>。近年来,电子舌作为一种智能感官分析技术,逐步替代感官评价应用到食品品质检测领域中,具有操作简单、检测快速等优点,弥补了传统人工感官品评法主观性强且重复性差,费时费力、极易受环境因素影响的缺陷。电子舌自问世至今几十年,目前已应用于食品生产加工检测的产品风味评价及比较<sup>[13-14]</sup>、产地溯源<sup>[15-17]</sup>、质量分级<sup>[18-19]</sup>、成熟前后风味变化<sup>[20-22]</sup>、食品加工<sup>[23-24]</sup>等各个领域。

江苏省作为我国菜用大豆主要种植和出口省份,其菜用大豆产业发展对全国生产有着重要的影响,目前,对于菜用大豆品种食用品质研究及相关化学组成报道略少,且长期以来对口感的评价一直以传统人工感官判断为主,口感风味智能化检测也缺少相应研究。本研究选择江苏省不同城市 6 种特色菜用大豆为研究对象(南通市、扬州市、泰州市、徐州市、盐城市、南京市),解析了菜用大豆主要品质性状组成(糖组分、氨基酸组分),采用电子舌和人工感官评价对菜用大豆食用品质进行分析,并分析二者之间的关联性,旨在充分了解菜用大豆食用

品质相关主要化学成分组成、不同品种差异与共性特征,为菜用大豆食用品质的智能化评判提供有效参考和技术支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

从江苏省菜用大豆种植面积排行前 6 位的地级市中各选取 1 个菜用大豆品种,包括通 7-391-1(南通市)、四粒黄(扬州市)、青棵圆豆(泰州市)、邳县四粒糙(徐州市)、青 6 号(盐城市)、苏豆 18 号(南京市),于 2020 年 6 月种植于江苏省农业科学院南京玄武区试验田,2020 年 9 月收获。试验种植在一个完整的区块,设计为 3 个重复,种植 7 行,每行行长 4 m,试验收获材料选自内层 5 行,外层作为隔离保护行。大豆种植行距为 0.4 m,株距为 0.15 m。保持所选材料在灌溉、施肥与病虫害防治等方面一致。所有的菜用大豆都是在种子发育的鼓粒盛期 R6 期收获。选择成熟且无物理损伤或感染、色泽均一的菜用大豆嫩荚为试验材料。

乙腈(色谱纯),国药集团化学试剂有限公司生产;磺基水杨酸、亚铁氰化钾三水合物,上海源叶生物科技有限公司生产;果糖、蔗糖、葡萄糖标准品(纯度 98% 以上),北京索莱宝科技有限公司生产;氨基酸混合标准溶液,美国 Sigma 公司生产;其他试剂均为分析纯。

### 1.2 仪器与设备

ASTREE 电子舌,法国 Alpha M. O. S 公司生产;L-8900 氨基酸分析仪,日本株式会社日立制作所生产;1260 HPLC 高效液相色谱仪,美国 Agilent 公司生产;GL-21M 高速冷冻离心机,上海市离心机机械研究所有限公司生产;JYL-C020E 九阳打浆机,九阳股份有限公司生产。

### 1.3 试验方法

1.3.1 糖组分分析 菜用大豆糖组分分析的参考 GB 5009.8—2016《食品安全国家标准 食品中果糖、葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、乳糖的测定》,采用高效液相色谱法(HPLC)。精确称取 1 g 菜用大豆冻干粉于 50 mL 离心管中,加入 20 mL 80% 乙醇溶液,于 70 ℃ 水浴锅中提取 1 h,待冷却至室温,5 000 r/min 离心 10 min,吸取上清液,经 0.22 μm 微孔滤膜过滤,待测。每个样品重复测定 3 次。

色谱参考条件为色谱柱:氨基柱(4.6 mm × 250 mm × 5 μm);柱温:40 ℃;流动相:乙腈 + 水 =

70% +30% (体积分数);进样体积:20 μL;流速:1.0 mL/min;洗脱时间:18 min。

定量方法:本试验以果糖、葡萄糖和蔗糖为标准品,采用外标法定性定量分析菜用大豆糖组分含量。

1.3.2 游离氨基酸测定 参考方萍的方法<sup>[25]</sup>,略有修改。称取 0.500 g 冻干粉碎样置于 50 mL 离心管中,加入 30 mL 0.1mol/L HCl,涡旋振荡 2 min,以 10 000 r/min 离心 10 min,取离心后的上清液 1.5 mL,加入 10% 的磺基水杨酸 4.5 mL,混合后静置 15 min,再次以 12 000 r/min 离心 10 min,吸取 1.5 mL 离心后的上清液,0.22 μm 微孔滤膜过滤,待全自动氨基酸分析仪进行检测。采用游离氨基酸标准物的混合物进行定量。每个样品重复检测 3 次。

1.3.3 感官评价 随机称取 20 个颗粒饱满、形态相近的豆荚放入足量煮沸纯净水的电锅中,煮沸 4 min,将豆荚捞出立即放入常温的纯净水中冷却,捞出置于白色瓷盘中备用。样品以 3 位数编码。采用 9 分嗜好法对菜用大豆进行感官评定。感官评定标准见表 1,其指标包括鲜味、甜味、香味、硬度、糯性、整体接受度。1、5、9 分分别表示极度不能接受、一般、非常喜欢。结果表示为评分的平均值。感官评定小组由江苏省农业科学院豆类研究室的 8 名老师及研究生组成,年龄段为 20~40 岁。对各样品分别进行品尝,剥出豆粒,慢慢咀嚼,在咀嚼过程中品味其滋味和口感,根据口感品尝评分的赋分标准评分。品评结束后,对各品评员的评定结果进行收集并统计分析。评定人员品尝前不得食用辛、辣、苦、酸、甜味食物和酒等。品评时不得交流讨论,每个样品品尝前用纯净水漱口。

1.3.4 电子舌的测定 采用法国 Alpha M. O. S 公司生产的 ASTREE 电子舌系统,主要由味觉传感器、信号采集器和模式识别系统 3 个部分组成,包括 1 个 AlCl<sub>3</sub> 参比电极和 7 个传感器,7 个传感器分别为 AHS(酸味)、CTS(咸味)、NMS(鲜味)、ANS(甜味)、SCS(苦味)、PKS 和 CPS 是感知复合味道的探头。菜用大豆蒸煮至熟后,将籽粒和超纯水以 1:3 (质量比)的比例倒入打浆机中,打浆 3 min,在 42 ℃ 的摇床中提取 1 h,待样品冷却后离心 10 min (10 000 r/min),离心 2 次,取出上清液待测。在分析之前,按照说明对仪器进行校准和诊断,以确保试验的稳定性和可靠性。然后,设置样品检测方

表 1 菜用大豆口感品尝评分项目及其赋分标准

项目	评估标准	分值
甜味	甜味明显	9
	有一定的甜味或甜味较淡	5
	基本无甜味	1
鲜味	鲜味明显	9
	有一定的甜味或鲜味较淡	5
	基本无鲜味	1
香味	有菜用大豆固有的香气,无豆腥味或不良气味	9
	香气适中,有少许或没有豆腥味	5
	有豆腥味或其他不良气味	1
硬度	柔软	9
	脆	5
	硬	1
糯性	富有软糯	9
	糯性一般	5
	基本无糯性	1
整体评价	食用品质佳,非常喜欢该品种菜用大豆	9
	食用品质一般,对该品种菜用大豆喜爱程度一般	5
	食用品质较差,不能接受该品种菜用大豆	1

注:满分 9 分。

法、检测顺序和清洗程序。样品采集和清洗交替进行。使用超纯水来清洗传感器。仪器参数设置如下:延迟=0 s,采集时间=120 s,间隔=1 s,清洁时间=120 s。在电子舌体系中味觉物质的信号由传感器获得,并以类似人味觉感受方式检测出味觉物质,经数据分析处理获得最终结果。

1.4 数据处理

单项试验重复 3 次,结果表示为“平均值±标准差”;使用 Excel 2016 软件整理试验数据;使用 SPSS 26.0 统计软件进行单因素方差分析和显著性分析。由 Origin 2021 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 糖组分分析

如表 2 所示,不同菜用大豆样品间糖组分含量存在显著性差异,蔗糖在菜用大豆中均检测出且在糖组分中占比最高,含量范围为 75.32~108.56 mg/g。青 6 号的葡萄糖含量最高,为 5.86 mg/g,邳县四粒糙果糖含量最高,为 2.31 mg/g。菜用大豆食用品质主要体现在甜度方面,其次是香味、口感、质地等方面。甜味是菜用大豆的食用品质之一,研究表明,消费者一般喜欢有甜味的菜用大豆,<sup>[26]</sup>。甜度主要取决于籽粒中的蔗糖含量<sup>[27]</sup>。一般甜度高的菜用大豆口感相对较好,王丹英等把菜用大豆的甜味得

分与糖组分含量、游离氨基酸含量进行相关分析, 相关系数最高的为蔗糖, 其次是葡萄糖, 可以把蔗糖含量作为评价菜用大豆食用品质中甜味的指标<sup>[28]</sup>。由图 2 可知, 6 种菜用大豆样品之间存在显著性差异。品种通 7-391-1 的蔗糖含量最高, 为 108.56 mg/g, 其次依次为苏豆 18 号为 95.45 mg/g、邳县四粒糙为 93.70 mg/g、青 6 号为 89.08 mg/g、青棵圆豆为 81.23 mg/g、四粒黄为 75.32 mg/g。表明通 7-391-1 可能具有最高的甜味值, 需要进一步进行味觉属性鉴定。

表 2 菜用大豆糖组分比较

菜用大豆 名称	糖组分含量(mg/g)		
	果糖	葡萄糖	蔗糖
通 7-391-1	0.44 ± 0.38a	2.76 ± 1.65ab	108.56 ± 0.37e
四粒黄	ND	ND	75.32 ± 0.68a
青棵圆豆	ND	2.35 ± 2.59a	81.23 ± 0.38b
邳县四粒糙	2.31 ± 0.11d	5.45 ± 0.58c	93.70 ± 1.16d
青 6 号	1.69 ± 0.16c	5.86 ± 0.48c	89.08 ± 2.47c
苏豆 18 号	1.05 ± 0.11b	4.93 ± 0.19bc	95.45 ± 0.29d

注: 同列不同小写字母表示不同品种菜用大豆间存在显著差异 ( $P < 0.05$ ), ND 表示未检出。

表 3 菜用大豆游离氨基酸组成

氨基酸 种类	氨基酸含量(mg/100 g)					
	通 7-391-1	四粒黄	青棵圆豆	邳县四粒糙	青 6 号	苏豆 18 号
天冬氨酸	29.45 ± 0.58d	16.40 ± 0.34a	21.41 ± 0.96b	31.58 ± 0.99e	24.94 ± 0.55c	29.17 ± 0.28d
苏氨酸	40.96 ± 0.00a	ND	ND	172.55 ± 1.56c	161.70 ± 2.34c	129.88 ± 0.55b
丝氨酸	248.99 ± 1.39f	87.98 ± 3.16a	178.81 ± 4.83c	202.98 ± 0.62d	210.04 ± 0.74e	164.46 ± 0.40b
谷氨酸	148.08 ± 3.91b	253.00 ± 3.16c	122.98 ± 2.86a	ND	ND	ND
甘氨酸	0.02 ± 0.01a	ND	8.15 ± 0.49b	8.93 ± 0.26c	10.56 ± 0.17d	8.41 ± 0.10bc
丙氨酸	44.04 ± 0.84d	23.60 ± 0.82b	38.53 ± 1.52c	0.01 ± 0.01a	ND	ND
半胱氨酸	7.72 ± 0.10	ND	ND	ND	ND	ND
缬氨酸	28.81 ± 0.63a	36.92 ± 1.01d	46.35 ± 0.83f	34.51 ± 0.68c	40.32 ± 0.06e	31.92 ± 0.54b
蛋氨酸	23.00 ± 0.28c	20.93 ± 3.49c	16.62 ± 0.24b	10.89 ± 0.15a	24.20 ± 0.32c	11.20 ± 0.49a
异亮氨酸	0.20 ± 0.00a	ND	10.85 ± 0.00b	7.40 ± 0.01ab	10.53 ± 0.21b	5.57 ± 0.05ab
亮氨酸	7.08 ± 0.00ab	6.42 ± 0.31b	10.08 ± 0.00a	ND	ND	ND
酪氨酸	33.51 ± 1.01b	57.05 ± 1.54d	34.04 ± 5.21b	42.47 ± 0.81c	42.22 ± 0.83c	28.22 ± 0.36a
苯丙氨酸	41.37 ± 1.28a	58.27 ± 1.00d	48.11 ± 2.00b	50.67 ± 1.08b	49.18 ± 0.90b	55.00 ± 0.36c
赖氨酸	70.28 ± 1.82a	88.96 ± 1.44c	80.34 ± 3.88b	80.79 ± 2.05b	75.86 ± 1.82b	95.10 ± 0.55d
组氨酸	128.77 ± 1.22b	96.04 ± 2.06a	200.84 ± 8.69e	144.05 ± 1.25c	158.95 ± 2.36d	161.09 ± 1.61d
总氨基酸	838.82 ± 14.92e	745.57 ± 3.00b	817.11 ± 8.58d	786.82 ± 3.01c	808.5 ± 2.34de	720.02 ± 1.23a

注: 同行数据后不同小写字母表示不同品种菜用大豆间存在显著差异 ( $P < 0.05$ )。ND 表示未检出。

2.3 感官评价结果

菜用大豆感官评价结果见图 1, 对于不同的评估项目, 菜用大豆样品间显著性  $P(P < 0.05)$  分别

2.2 氨基酸组分析

由表 3 可以看出, 共检测出 15 种氨基酸, 其中, 通 7-391-1 均检测出。检测出来的氨基酸在不同菜用大豆品种间都表现出显著差异性 ( $P < 0.05$ )。氨基酸总量范围为 720.02 ~ 838.82 mg/100 g, 与 Song 等的报道<sup>[29]</sup>相一致。通 7-391-1 的总游离氨基酸含量最高, 为 838.82 mg/100 g, 其次是青棵圆豆, 为 817.11 mg/100 g, 青 6 号为 808.50 mg/100 g。苏豆 18 号的总游离氨基酸含量最低, 为 720.02 mg/100 g。15 种氨基酸中, 丝氨酸含量相对较高, 最高的品种是通 7-391-1, 含量为 248.99 mg/100 g。此外, 通 7-391-1 的丙氨酸含量也最高, 为 44.04 mg/100 g。这些都是菜用大豆甜味的主要贡献者。氨基酸组成及含量是消费者在意的营养成分, 游离氨基酸含量也影响菜用大豆鲜味<sup>[30]</sup>, 王艳等报道, 进行菜用大豆氨基酸营养评价时, 应以氨基酸总含量为主要评价指标<sup>[31]</sup>。由于菜用大豆是在相同的气候条件和相同的管理因素 (灌溉、施肥、害虫管理) 下种植的, 本试验游离氨基酸的含量主要由品种因素决定, 根据分析结果, 通 7-391-1 食用品质更佳。

为 0.138、0.045、0.521、0.401、0.029、0.079, 即除鲜味和糯性方面, 其他均无显著性差异。不同类型的菜用大豆的感官评价得分存在较大的差异性。

通 7-391-1 甜味最高,为 5.50,甜味明显。苏豆 18 号在鲜味(6.25)、香味(5.75)、糯性(6.75)、硬度(6.75)方面得分最高,而且综合平均得分最高,为 6.25,说明从整体来看,苏豆 18 号具有菜用大豆固有的香气,鲜味,口感软糯滋味相对较好。四粒黄得分最低,为 3.67,且与其他样品的得分离散程度最大,说明口感滋味不符合大众喜欢。味道是味觉器官受到食物的刺激后所产生的一种感觉,目前人类对于味觉的分类并没有一致的看法,但都包含了酸、甜、苦、咸这 4 种味感。菜用大豆的食用品质主要是通过风味和口感而被区分,外观对菜用大豆的食用品质影响不明显<sup>[30]</sup>。人工感官评价是在食品风味评定中常用的方法之一,受主观因素影响较大,特别是当样品量较大时,结果的准确性和客观性很难保证,还需采用智能感官评价方式电子舌对菜用大豆口感进行进一步鉴定。

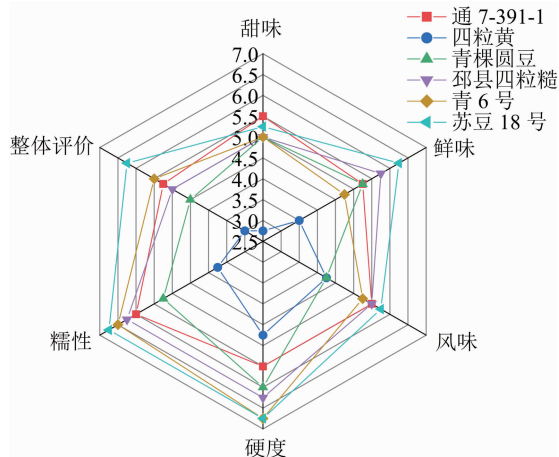


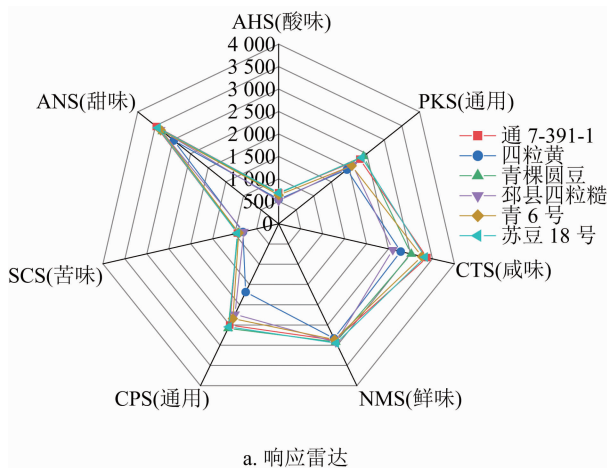
图1 菜用大豆感官评价的雷达图

## 2.4 菜用大豆电子舌味觉属性分析

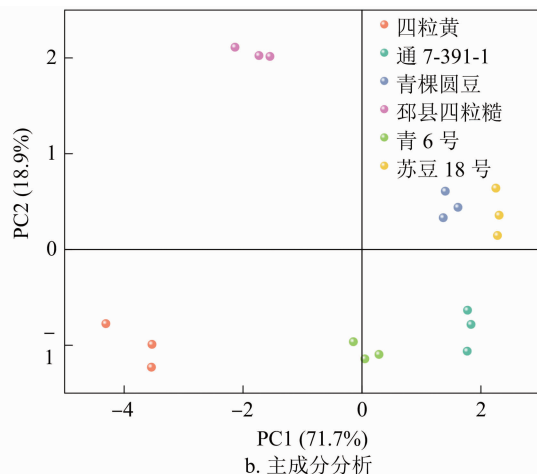
菜用大豆酸味、苦味、甜味、鲜味及咸味 5 种味

觉属性值见图 2-a。菜用大豆各滋味值之间存在显著性差异( $P < 0.05$ ),其中在 5 个味觉属性中,鲜甜咸味突出。从鲜味值来看,苏豆 18 号的鲜味的响应值为 2 947.47,高于其他 5 个品种的响应值。在甜味的响应值上,响应值范围在 2 975.50 ~ 3 472.11,各样品甜味响应值从大到小依次为通 7-391-1 为 3 472.11、苏豆 18 号为 3 427.22、邳县四粒糙为 3 352.83、青 6 号为 3 344.78、青棵圆豆为 3 297.19、四粒黄为 2 975.50,与感官评价各样品鲜甜味数值大小排序一致。从味觉响应值数据可以看出,电子舌分析的结果和感官评价评分的结果有一定相关性,但需要进行进一步的相关性分析。

此外,本研究对 6 种不同品种菜用大豆的电子舌响应值进行了主成分分析(图 2-b)。第 1 主成分贡献率为 71.7%,第 2 主成分贡献率为 18.9%,第 1 主成分、第 2 主成分的累计贡献率达到 90.6%,几乎包含了样品的全部信息,可很好地表征各菜用大豆样品间的差异性。不同区域代表不同菜用大豆样品的整体味觉特性分布,不同区域间的距离表明菜用大豆样品间的差异性。在 PCA 得分图中,根据样品在横坐标、纵坐标轴上的距离判断样品之间的差异性:横坐标表示第 1 主成分贡献率的大小,通常情况下,第 1 主成分贡献率较大,因此,如果不同样品之间在横坐标上的距离差距较大,说明它们之间的差异较明显;而样品在纵坐标上的距离即使很大,由于第 2 主成分的贡献率较小,不同样品之间的实际差异可能较小。从图 2-b 可以看出,不同品种菜用大豆所在区域互不重叠,说明利用电子舌可很好地区分不同菜用大豆样品,差异显著,其中青棵圆豆和苏豆 18 号较类似,与其他样品味觉



a. 响应雷达



b. 主成分分析

图2 菜用大豆电子舌评价结果

有较大差异。四粒黄分布区域和其他样品距离较远,差异尤其明显,与感官评价结果一致。

2.5 电子舌和感官评价相关性分析

为了探究菜用大豆感官评价与电子舌响应值的相关性,利用皮尔逊系数对菜用大豆电子舌评价值和人工感官评价得分进行相关性分析,结果(图3)表明,电子舌酸味与咸味和苦味呈极显著正相关,相关系数分别为 0.919、0.996。咸味与苦味呈极显著正相关, $r > 0.930$ 。同时,在感官评价中,发现对菜用大豆的整体评价与其甜味、鲜味、风味、硬

度和糯性均呈现高度相关性。说明整体食用品质较好的菜用大豆,必然呈现鲜甜软糯,具有大豆固有的清甜香味。菜用大豆主要味觉差异表现在甜味和鲜味上。值得注意的是,电子舌鲜甜味与人工感官评价的鲜甜味关联度较高,电子舌鲜甜味与感官评价鲜甜味呈极显著正相关,鲜味相关系数达 0.926,甜味的相关系数达到 0.983。说明电子舌与感官评价对菜用大豆的滋味品评具有一致性,尤其体现在菜用大豆的甜味和鲜味 2 个味觉属性,采用电子舌技术可以实现对甜味、鲜味的精准测定和评价。

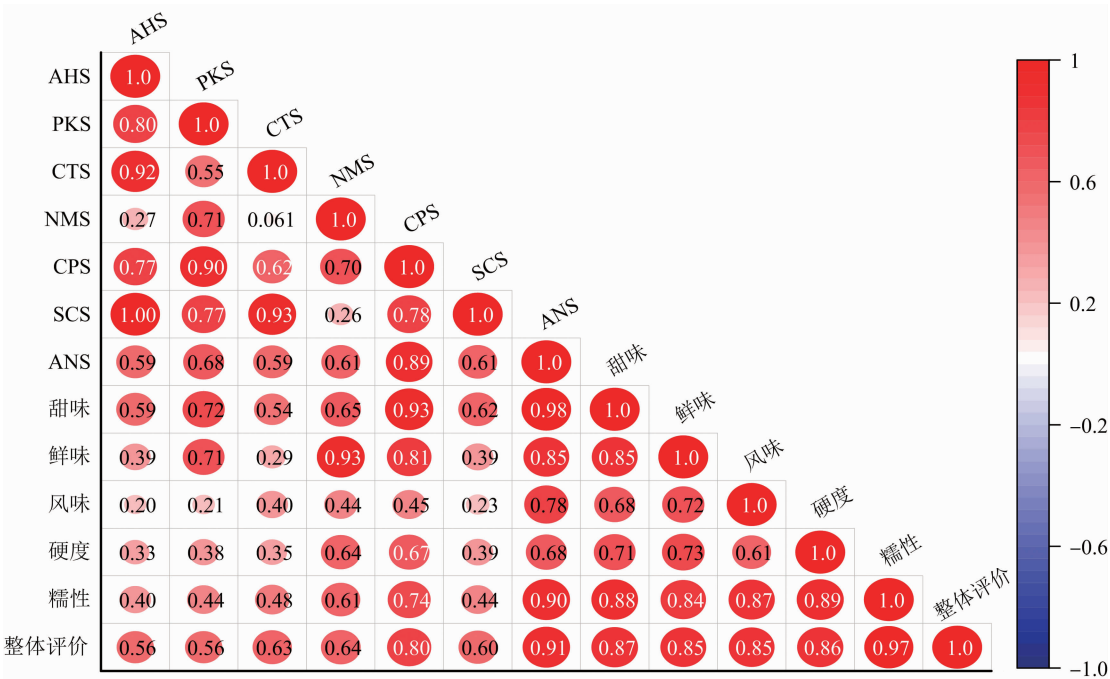


图3 菜用大豆电子舌和感官评价间相关性分析

3 讨论与结论

菜用大豆作为我国农业的重要模块,近年来,国内外研究学者对其遗传育种研究较为关注,但对其食用品质特性研究较少。本研究旨在从营养组成探讨江苏省不同地区特色菜用大豆品种之间差异,同时以传统人工感官评价结合电子舌技术,对菜用大豆食用品质进行定量表征。结果表明,6 种菜用大豆蔗糖含量为 75.32 ~ 108.56 mg/g。共检出 15 种游离氨基酸,品种通 7-391-1 中均检出,不同品种在氨基酸组成和含量上差异显著,总游离氨基酸含量为 720.02 ~ 838.82 mg/100 g。在人工感官评价中,通 7-391-1 甜味最高,为 5.50。苏豆 18 在鲜味(6.25)、香味(5.75)、糯性(6.75)、

硬度(6.75)方面得分最高,而且综合平均得分最高,为 6.25。从整体来看,苏豆 18 号更易受消费者欢迎。此外,电子舌分析结果显示,苏豆 18 号的鲜味的电子舌响应值最高,为 2 947.47,甜味响应值最高的品种是通 7-391-1,为 3 472.11。主成分分析结果表明,电子舌技术能很好地区分不同品种菜用大豆。通过人工感官评价和电子舌滋味响应值数值进行相关性分析,二者在鲜甜味方面呈现极显著相关性,鲜味相关系数达 0.926,甜味的相关系数达 0.983,说明电子舌与人工感官评价的结果在菜用大豆甜味和鲜味上具有高度一致性。由此可见,电子舌在不同品种菜用大豆滋味区分鉴别上具有较大的应用潜力,可以实现菜用大豆甜鲜味智能化评判,提高优质品种筛选和选育效率。



## 参考文献:

- [1] Mimura M, Coyne C J, Bambuck M W, et al. SSR diversity of vegetable soybean[ *Glycine max* (L.) Merr. ] J]. Genetic Resources and Crop Evolution, 2007, 54(3): 497–508.
- [2] Czaikoski K, Leite R S, Mandarino J M G, et al. Canning of vegetable – type soybean in acidified brine: effect of the addition of sucrose and pasteurisation time on color and other characteristics[ J]. Industrial Crops and Products, 2013, 45: 472–476.
- [3] 顾卫红, 郑洪建, 张 燕, 等. 菜用大豆的国际需求及科研生产动态[ J]. 上海农业学报, 2002, 18(2): 45–48.
- [4] 韩天富, 盖钧镒. 世界菜用大豆生产、贸易和研究的进展[ J]. 大豆科学, 2002, 21(4): 278–284.
- [5] 张玉梅, 胡润芳, 林国强. 菜用大豆品质性状研究进展[ J]. 大豆科学, 2013, 32(5): 698–702.
- [6] 李彦生. 菜用大豆食用品质形成及调控研究[ D]. 哈尔滨: 中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所), 2013: 1–3.
- [7] 许竹激, 雷 俊, 邵晓伟, 等. 播期对鲜食春大豆衢春豆 1 号农艺性状和可溶性糖含量的影响[ J]. 大豆科学, 2021, 40(4): 490–496.
- [8] 张秋英, 李彦生, 刘长锴, 等. 菜用大豆食用品质关键组分及其积累动态研究[ J]. 作物学报, 2015, 41(11): 1692–1700.
- [9] 王丹英. 菜用大豆品质生理研究[ D]. 杭州: 浙江大学, 2001: 16–17.
- [10] 马丽萍, 张彩英, 张丽娟. 菜用大豆的研究进展[ J]. 河北农业科学, 2001, 5(3): 53–57.
- [11] 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.
- [12] 赵童瑶, 尹海波, 李 旭, 等. 基于电子舌技术对不同来源龙胆的苦味与品质相关性研究[ J]. 中国现代中药, 2018, 20(9): 1068–1073.
- [13] 吴梦紫. 黄酒风味的智能感官评判方法研究[ D]. 镇江: 江苏大学, 2019: 41–51.
- [14] 李露芳. 电子舌技术在酱油滋味评价中的应用研究[ D]. 广州: 华南理工大学, 2019: 14–44.
- [15] 陈栋杰, 郭 盛, 卢有媛, 等. 基于电子舌技术的不同产地枸杞子鉴别研究[ J]. 南京中医药大学学报, 2020, 36(5): 615–622.
- [16] Oliveri P, Baldo M A, Daniele S, et al. Development of a voltammetric electronic tongue for discrimination of edible oils[ J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2009, 395(4): 1135–1143.
- [17] Zappi D, Sadun C, Gontrani L, et al. A new electrochemical sensor for extra – virgin olive oils classification[ J]. Food Control, 2020, 109: 106903.
- [18] 王新宇, 陈全胜. 利用电子舌识别炒青绿茶的等级[ J]. 安徽农业科学, 2007, 35(28): 8872–8873.
- [19] 彭金月, 姜 水, 高韶婷, 等. 基于智能感官与人工感官评价的中国三大干腌火腿风味特性分析[ J]. 食品工业科技, 2020, 41(17): 231–236.
- [20] 马佳佳, 李华佳, 魏冰倩, 等. 徐香猕猴桃果酒发酵过程中品质动态变化的研究[ J]. 中国酿造, 2020, 39(4): 86–90.
- [21] 王毓宁, 马佳佳, 张 鹏, 等. 基于 HS – SPME – GC – MS 与电子舌分析冷藏冠玉枇杷的风味特性[ J]. 包装工程, 2020, 41(23): 11–18.
- [22] 杨正伟, 张 鑫, 李庆盛, 等. 基于电子舌及一维深度 CNN – ELM 模型的普洱茶贮藏年限快速检测[ J]. 食品与机械, 2020, 36(8): 45–52.
- [23] 仲梦涵, 陆晨浩, 王曦如, 等. 烘烤和发芽对大麦挥发性风味影响的分析研究[ J]. 食品工业科技, 2020, 41(7): 220–225, 232.
- [24] 文 攀, 薛长风, 裴志胜, 等. 基于电子舌与电子鼻评价烘培时间对黄秋葵籽风味品质的影响[ J]. 食品工业科技, 2018, 39(24): 289–293.
- [25] 方 萍. 玉 – 豆间作对菜用大豆干物质积累、产量及品质的影响[ D]. 雅安: 四川农业大学, 2016: 8.
- [26] 王丹英. 菜用大豆品质生理研究[ D]. 杭州: 浙江大学, 2001: 16–17.
- [27] 马丽萍, 张彩英, 张丽娟. 菜用大豆的研究进展[ J]. 河北农业科学, 2001, 5(3): 53–57.
- [28] 王丹英, 汪自强. 播期、密度、氮肥用量对菜用大豆产量和品质的效应[ J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2001, 27(1): 69–72.
- [29] Song J F, Liu C Q, Li D J, et al. Evaluation of sugar, free amino acid, and organic acid compositions of different varieties of vegetable soybean ( *Glycine max* [ L. ] Merr. ) [ J]. Industrial Crops and Products, 2013, 50: 743–749.
- [30] Flores D, Giovanni M, Kirk L, et al. Capturing and explaining sensory differences among organically grown vegetable – soybean varieties grown in northern California[ J]. Journal of Food Science, 2019, 84(3): 613–622.
- [31] 王 艳, 张 越, 陈姗姗, 等. 食荚菜豆氨基酸组成与含量及其品质评价[ J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2014, 42(8): 155–161.