

不同品种蓝莓果实品质和香气物质 差异分析

魏鑫,郭丹,王宏光,刘成*

(辽宁省果树科学研究所,辽宁 营口 115009)

摘要:为明确不同品种蓝莓果实品质和香气物质的差异,选择3种类型的20个品种的蓝莓为试材,对果实可溶性总糖、可滴定总酸、维生素C进行测定,计算糖酸比,并利用电子鼻系统对果实香气进行测定和评价。结果表明,在参试蓝莓品种间可溶性总糖、可滴定总酸、维生素C和糖酸比4个单一指标均达到极显著水平($P<0.01$)。参试蓝莓品种香气物质的构成具有差异,发现“奥尼尔”品种香气物质构成与其他品种具有较大差异。主成分分析(principal component analysis,PCA)可以将“瑞卡”、“晚蓝”、“斯巴坦”、“喜来”、“伯克利”、“蓝鸟”、“蓝金”和“海岸”8个品种区分开,线性判别分析(linear discriminant analysis,LDA)可以将“奥尼尔”、“布里吉塔”和“瑞卡”3个品种区分开,可以作为对PCA分析结果的补充,但PCA和LDA分析对于整体香气组分相似的品种区分效果不佳。W1W、W1S、W5S、W2W、W2S和W1C 6个传感器对区分香气物质的贡献率较大。

关键词:蓝莓;果实品质;香气物质;电子鼻;差异分析

Fruit Quality and Aroma Substances of Different Blueberry Cultivars

WEI Xin, GUO Dan, WANG Hong-guang, LIU Cheng*

(Liaoning Institute of Pomology, Yingkou 115009, Liaoning, China)

Abstract:In order to clarify the fruit quality and aroma substances in different cultivars of blueberry, the total soluble sugar, total titratable acid, and vitamin C, calculated the ratio of sugar to acid, and used electronic nose system to evaluate the fruit aroma of 20 blueberry cultivars in three types. The results showed that total soluble sugar, total titratable acid, vitamin C, and sugar-to-acid ratio were different among all the cultivars ($P<0.01$). The composition of aroma substances of blueberry varied among cultivars. In particular, the composition of aroma substances in “O’Neal” was significantly different from that of other cultivars. Principal component analysis (PCA) distinguished eight cultivars including “Reka”, “Lateblue”, “Spartan”, “Sierra”, “Berkeley”, “Bluejay”, “Bluegold”, and “Coastal”. Linear discriminant analysis (LDA) distinguished three cultivars including “O’Neal”, “Brigitta”, and “Reka”, which could be used as a supplement to PCA. However, PCA and LDA were not obvious effect in distinguishing the cultivars with similar aroma substances. Six sensors (W1W, W1S, W5S, W2W, W2S, and W1C) contributed significantly to distinguishing the aroma substances.

Key words:blueberry; fruit quality; aroma substance; electronic nose; difference analysis

引文格式:

魏鑫,郭丹,王宏光,等.不同品种蓝莓果实品质和香气物质差异分析[J].食品研究与开发,2022,43(6):149-156.

WEI Xin, GUO Dan, WANG Hongguang, et al. Fruit Quality and Aroma Substances of Different Blueberry Cultivars[J]. Food Research and Development, 2022, 43(6):149-156.

基金项目:财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系资助(CARS-29);辽宁省重点实验室建设项目(2020JH13/10200051);辽宁省“一带一路”联合实验室项目(2020JH2/10500005);辽宁省农业科学院学科建设计划(2019DD164924)

作者简介:魏鑫(1982—),男(汉),副研究员,硕士,主要从事小浆果种质资源、栽培生理与技术推广。

*通信作者:刘成(1966—),男(汉),研究员,博士,主要从事小浆果种质资源、遗传育种、栽培生理与技术推广。

蓝莓学名越橘,杜鹃花科(Ericaceae)越橘属(Vaccinium spp.)多年生落叶或常绿灌木,蓝莓果肉细腻,味道酸甜并有清爽宜人的香气,种子极小,可食率达100%。蓝莓果实中富含多种抗氧化物质如花色苷、原花青素、绿原酸、黄酮醇及有机酸、维生素C、维生素E等^[1-2],具有延缓衰老、预防疾病、提高免疫力和提高记忆力的作用,可加工成果汁、果酒、果酱、酵素等,是目前具有较高经济价值和广阔开发前景的果树树种之一,被国际粮农组织列为人类五大健康食品之一,有“浆果之王”的美誉^[3-6]。果实的品质不仅取决于其形状、大小、颜色、质地、口感、糖酸等,同时也受香气的影响。香气成分是决定果实鲜食和加工产品品质的重要因素,蓝莓因富含芳香呈味物质而具有独特的气味,这与其成熟度、贮藏时间及腐败程度均有密切关联^[7-8]。消费者在购买过程中除关心水果糖酸比例与味道外,香气作为风味的重要指标也受到高度关注,因此,将香气作为蓝莓的品质评价指标具有重要意义^[9]。

传统研究果实香气的方法有人工感官和气相色谱法、色谱-质谱联用法、电化学法等方法^[10]。传统的人工感官方法依赖人的嗅觉系统,因而受人个体主观因素影响较大、重复性差,容易出现嗅觉疲劳从而影响分析结果^[11]。而气相色谱法、色谱-质谱联用法、电化学法等方法虽然可以对香气成分进行定性定量分析,但受样品前处理复杂、检测费用高昂、测定时间长、需要专业人员操作等因素制约^[12]。如何快速、简便和重复性好的检测、评价果实香气已成为一个热点问题。电子鼻技术是一种通过模拟人类嗅觉系统来实现对检测对象进行气味分析的技术,具有样品处理简单、检测速度快、识别效果好、实时和无损等优点^[13-15]。近年来,电子鼻无损检测技术已在苹果^[16]、梨^[17]、桃^[18]等水果果实香气的表征、识别以及品种区分中得到了探究与利用。本研究通过对3种类型的20个品种的蓝莓果实的可溶性总糖、可滴定总酸、维生素C测定分析,同时结合电子鼻对参试品种的香气进行识别区分,比较主成分分析和线性判别分析对不同蓝莓品种的区分效果及电子鼻各传感器对蓝莓香气的载荷分析,探讨不同品种间的香气差异,为特异资源筛选和电子鼻无损检测技术对蓝莓品种香气物质的快速识别奠定基础。

1 材料和方法

1.1 试验材料与仪器

1.1.1 试验材料

选择20个蓝莓品种作为参试材料,如表1所示。果实由辽宁省果树科学研究所蓝莓资源圃提供,

表1 参试蓝莓品种与类型

Table 1 Cultivars and types of blueberry

序号	品种名	类型
a	北陆	半高丛蓝莓品种
b	齐佩瓦	半高丛蓝莓品种
c	奥尼尔	南高丛蓝莓品种
d	海岸	南高丛蓝莓品种
e	布里吉塔	北高丛蓝莓品种
f	达柔	北高丛蓝莓品种
g	杜克	北高丛蓝莓品种
h	伯克利	北高丛蓝莓品种
i	蓝丰	北高丛蓝莓品种
j	蓝金	北高丛蓝莓品种
k	蓝鸟	北高丛蓝莓品种
l	蓝片	北高丛蓝莓品种
m	北卫	北高丛蓝莓品种
n	日出	北高丛蓝莓品种
o	瑞卡	北高丛蓝莓品种
p	斯巴坦	北高丛蓝莓品种
q	陶柔	北高丛蓝莓品种
r	晚蓝	北高丛蓝莓品种
s	喜来	北高丛蓝莓品种
t	泽西	北高丛蓝莓品种

选取各品种充分成熟果实1.5 kg,果实采摘后装入塑料盒中,于4℃下贮藏备用。将各品种果实分成两组(每组3份,即3次重复),一组测定可溶性总糖、可滴定总酸和维生素C,另一组测定香气物质。

1.1.2 试验仪器

电子鼻(PEN3):德国AIRSENSE公司。

1.2 测定方法

可溶性总糖:采用斐林试剂法测定,结果用质量分数表示^[19]。

可滴定总酸:采用酸碱滴定法测定,以柠檬酸计,结果用质量分数表示^[19]。

维生素C:采用2,6-二氯酚酚测定法测定,结果用mg/100 g表示^[19]。

所有指标重复测定3次。

蓝莓香气检测:将蓝莓果实[约(125±5)g]置于250 mL烧杯中,用保鲜膜封口,在25℃下放置10 min,应用电子鼻获取果实挥发性气体响应值,每次检测后进行清零和标准化。电子鼻测定的参数:样品测定间隔时间1 s;样品准备时间3 s;样品测试时间20 s;测量计数1 s;清洗时间60 s;自动调零时间10 s;自动稀释0;内部流量400 mL/min;进样流量400 mL/min。PEN3型电子鼻包含S1(W1C,芳香苯类)、S2(W5C,氮氧化物)、S3(W3C,氨类)、S4(W6S,氢气)、S5(W5S,烷烃)、S6(W1S,甲烷)、S7(W1W,硫化氢)、S8(W2S,乙

醇)、S9(W2W,有机硫化物)、S10(W3S,芳香烷烃) 10个金属氧化物传感器,各传感器对不同香气物质有不同的响应值。每个品种3次重复。

1.3 数据分析

电子鼻分析通过 Winmuster 软件对采集的数据进行分析,采用主成分分析(principal component analysis, PCA)、线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)和负荷加载分析(Loadings)对不同样品的响应信号值

进行分析。应用 SPSS20 软件进行统计分析,采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 不同品种蓝莓品质分析

分别测定 20 个不同品种蓝莓果实的可溶性总糖、可滴定总酸、维生素 C 含量,计算糖酸比,试验结果如表 2 所示。

表 2 不同蓝莓品种品质指标

Table 2 Quality index of different blueberry cultivars

序号	品种	可溶性总糖/%	可滴定总酸/%	维生素 C/(mg/100 g)	糖酸比
a	北陆	11.44±0.65 ^{DEFG}	0.64±0.06 ^{DEF}	3.29±0.18 ^{HU}	17.95±2.65 ^{BDE}
b	齐佩瓦	13.65±0.26 ^{AB}	0.45±0.02 ^{GH}	6.07±1.28 ^{FG}	30.26±0.93 ^A
c	奥尼尔	11.21±0.61 ^{EPG}	0.42±0.05 ^H	6.38±0.18 ^{EPG}	27.00±2.02 ^A
d	海岸	13.01±1.12 ^{BCD}	0.76±0.03 ^{BCD}	2.88±0.18 ^U	17.02±1.44 ^{CEP}
e	布里吉塔	11.27±0.47 ^{EPG}	1.09±0.03 ^A	8.95±0.53 ^{CD}	10.36±0.69 ^{GH}
f	达柔	12.39±0.71 ^{BCDE}	0.63±0.01 ^{DEF}	9.67±0.94 ^{CD}	19.53±1.12 ^{BCD}
g	杜克	10.81±1.07 ^{EPG}	1.13±0.14 ^A	6.38±0.18 ^{EPG}	9.70±1.65 ^H
h	伯克利	11.72±0.62 ^{CEP}	0.63±0.20 ^{DEF}	5.83±0.37 ^{FG}	19.87±6.51 ^{BC}
i	蓝丰	13.32±0.50 ^{ABC}	0.63±0.04 ^{DEF}	4.32±0.01 ^{GHE}	21.11±0.59 ^{BC}
j	蓝金	10.06±0.34 ^{FG}	1.12±0.05 ^A	5.86±2.02 ^{FG}	8.97±0.41 ^H
k	蓝鸟	11.19±0.41 ^{EPG}	0.62±0.03 ^{DEF}	13.68±1.70 ^A	18.14±1.18 ^{BDE}
l	蓝片	12.03±0.27 ^{BCDE}	0.54±0.01 ^{EPGH}	10.49±0.53 ^{BC}	22.2±0.49 ^B
m	北卫	12.16±0.17 ^{BCDE}	1.07±0.11 ^A	8.23±0.36 ^{DE}	11.41±1.08 ^{GH}
n	日出	10.03±0.38 ^G	0.68±0.01 ^{CDE}	1.65±0.18 ^J	14.82±0.56 ^{DEFG}
o	瑞卡	12.23±0.35 ^{BCDE}	0.91±0.06 ^B	4.73±1.08 ^{FGHE}	13.41±0.62 ^{EPGH}
p	斯巴坦	11.91±0.85 ^{CDE}	0.91±0.01 ^B	5.14±1.25 ^{FGH}	13.03±0.93 ^{FGH}
q	陶柔	12.01±0.41 ^{BCDE}	0.59±0.04 ^{EPG}	1.65±0.36 ^J	20.56±2.12 ^{BC}
r	晚蓝	12.18±0.23 ^{BCDE}	1.19±0.03 ^A	6.89±0.78 ^{EF}	10.26±0.22 ^{GH}
s	喜来	14.75±1.22 ^A	0.81±0.06 ^{BC}	11.73±0.31 ^B	18.15±1.22 ^{BDE}
t	泽西	14.67±1.14 ^A	0.49±0.01 ^{FGH}	6.07±0.99 ^{FG}	30.07±2.33 ^A
	平均值	12.10	0.76	6.50	17.69
	标准差	1.38	0.25	3.23	6.52

注:同列数据间相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异极显著($P < 0.01$)。

参试品种可溶性总糖含量在 10.03%~14.75% 之间,其中“喜来”含量最高,极显著高于除“泽西”、“蓝丰”和“齐佩瓦”外的其他品种,“日出”含量最低,且最高值是最低值的 1.47 倍;参试品种可滴定总酸含量在 0.42%~1.19% 之间,其中“晚蓝”含量最高,极显著高于除“杜克”、“蓝金”、“布里吉塔”和“北卫”外的其他品种,“奥尼尔”含量最低,极显著低于除“齐佩瓦”、“泽西”和“蓝片”外的其他品种,且最高值是最低值的 2.83 倍;参试品种维生素 C 含量在 1.65 mg/100 g~13.68 mg/100 g 之间,其中“蓝鸟”含量最高,极显著高于其他品种,“日出”和“陶柔”含量最低,极显著低于除“海岸”和“北陆”外的其他品种,且最高值是最低值的 8.29 倍;参试品种糖酸比在 8.97~30.26 之间,其中“齐佩瓦”含量最高,

极显著高于除“泽西”和“奥尼尔”外的其他品种,“蓝金”含量最低,极显著低于除“杜克”、“布里吉塔”、“晚蓝”、“北卫”、“瑞卡”和“斯巴坦”外的其他品种,且最高值是最低值的 3.37 倍;参试品种 4 项指标的变异系数分别为 11.41%、32.50%、49.78% 和 36.84%,其大小顺序依次为维生素 C 含量>糖酸比>可滴定总酸>可溶性总糖。

不同品种间可溶性总糖、可滴定总酸、维生素 C 和糖酸比的试验结果采用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验,试验结果如表 3 所示。

可溶性总糖、可滴定总酸、维生素 C 含量和糖酸比等指标在参试蓝莓品种间差异显著,说明参试蓝莓品种 4 项指标变异程度较大。

表3 方差分析

Table 3 Analysis of variance

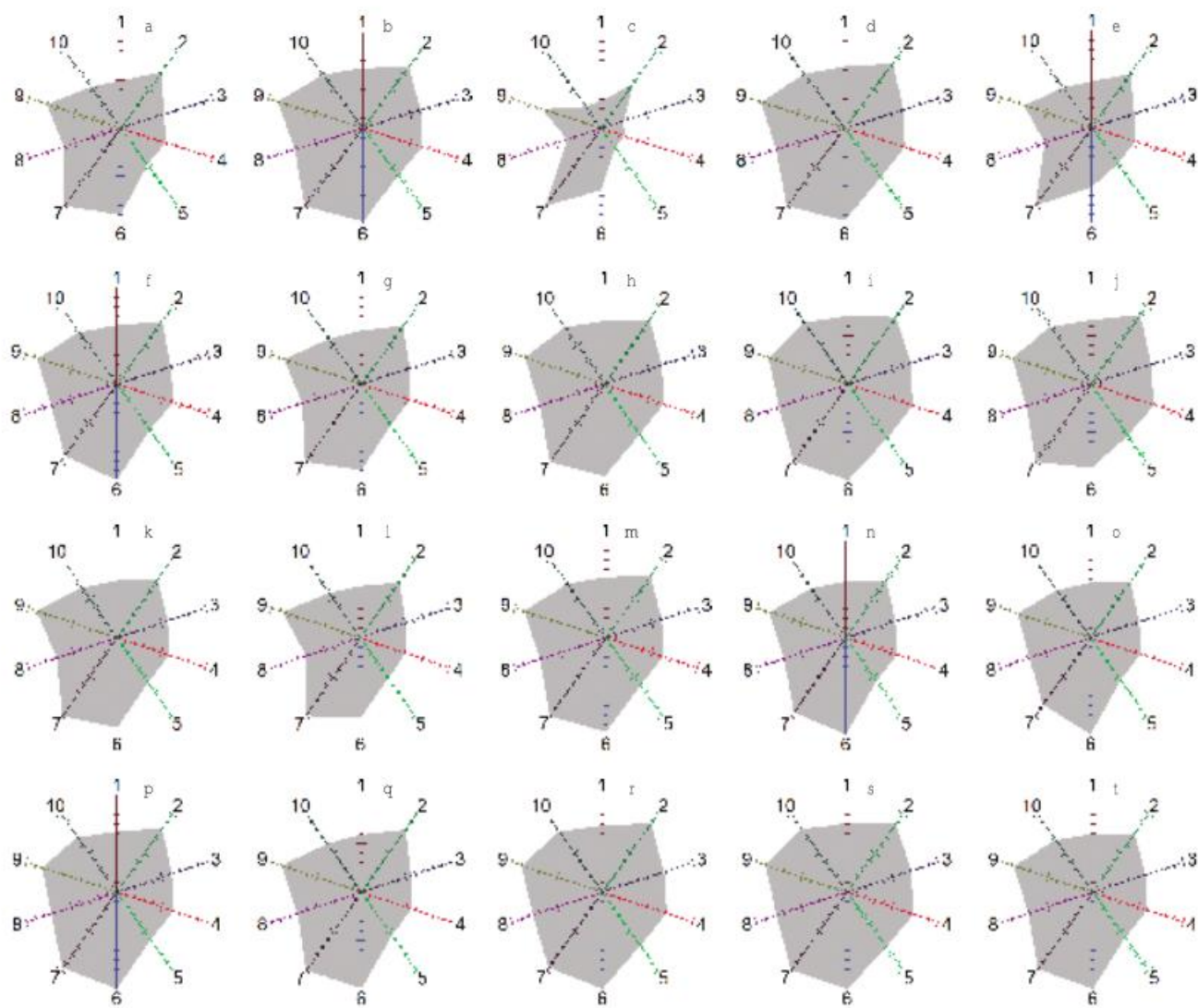
变异来源	SS	DF	MS	F	P
可溶性总糖	94.433	19	4.970	11.063	0.000
可滴定总酸	3.476	19	0.183	39.881	0.000
维生素C	586.678	19	30.878	41.000	0.000
糖酸比	2 351.262	19	123.751	32.032	0.000

2.2 蓝莓果实电子鼻无损伤分析

2.2.1 样品在趋于平衡时刻的特征雷达图

参试的20个蓝莓品种果实利用电子鼻检测香气

物质,不同品种雷达图的外形和面积存在着差异,表明参试蓝莓品种香气物质的构成具有差异,结果如图1所示。



图中标注字母代表的品种与表1中序号代表品种相同;数字1~10表示10个传感器。

图1 蓝莓品种挥发性物质的雷达图

Fig.1 Radar chart of volatile compounds in blueberry cultivars

10个传感器对蓝莓香气物质都有响应,且响应值存在差异。参试的20个蓝莓品种果实同一传感器响应值也存在差异,结果如表4所示。

传感器W1W、W1S、W2W和W5S的响应值分别为2.11、1.88、1.70和1.50,显著高于其他传感器的,且

四者间差异显著。传感器W2S的响应值为1.28,显著高于W6S(1.05)、W5C(0.98)、W3C(0.98)、W1C(0.93)传感器的,但与传感器W3S(1.16)的差异不显著。传感器W1C的响应值显著低于其他传感器的。传感器W1W和W1S的响应值最高,说明在参试的品种果实香

表4 蓝莓品种电子鼻传感器响应值

Table 4 Response value of electronic nose sensor for blueberry cultivars

序号	品种	响应值(G/G _s)									
		W1C	W5S	W3C	W6S	W5C	W1S	W1W	W2S	W2W	W3S
a	北陆	0.89±0.01 ^B	1.76±0.18 ^B	0.97±0.01 ^A	1.05±0.01 ^{AB}	0.97±0.01 ^A	2.28±0.12 ^B	2.53±0.21 ^{BC}	1.45±0.05 ^B	1.94±0.11 ^B	1.17±0.01 ^{AB}
b	齐佩瓦	0.93±0.01 ^{ABC}	1.35±0.03 ^B	0.98±0.01 ^A	1.05±0.01 ^{AB}	0.98±0.01 ^A	1.85±0.18 ^B	1.84±0.07 ^{BC}	1.28±0.06 ^{BC}	1.61±0.05 ^{BC}	1.15±0.01 ^{AB}
c	奥尼尔	0.76±0.06 ^C	3.76±1.20 ^A	0.94±0.02 ^B	1.07±0.03 ^{AB}	0.94±0.02 ^B	3.71±0.79 ^A	6.58±1.68 ^A	1.87±0.25 ^A	3.58±0.56 ^A	1.16±0.01 ^{AB}
d	海岸	0.94±0.02 ^{ABC}	1.36±0.03 ^B	0.98±0.01 ^A	1.04±0.01 ^{AB}	0.98±0.01 ^A	1.76±0.18 ^B	1.79±0.16 ^{BC}	1.23±0.06 ^{BC}	1.57±0.14 ^{BC}	1.16±0.01 ^{AB}
e	布里吉塔	0.94±0.03 ^{ABC}	1.42±0.02 ^B	0.98±0.01 ^A	1.07±0.04 ^A	0.98±0.01 ^A	1.86±0.42 ^B	2.89±0.46 ^B	1.29±0.15 ^{BC}	1.92±0.20 ^B	1.14±0.02 ^{AB}
f	达柔	0.97±0.03 ^A	1.22±0.13 ^B	0.98±0.01 ^A	1.04±0.02 ^{AB}	0.98±0.01 ^A	1.51±0.29 ^B	1.41±0.25 ^C	1.13±0.10 ^C	1.30±0.22 ^C	1.13±0.03 ^B
g	杜克	0.90±0.04 ^{ABC}	1.61±0.28 ^B	0.97±0.01 ^A	1.07±0.04 ^A	0.98±0.01 ^A	2.22±0.48 ^B	2.24±0.40 ^{BC}	1.42±0.17 ^{BC}	1.88±0.28 ^{BC}	1.14±0.02 ^{AB}
h	伯克利	0.96±0.01 ^{AB}	1.29±0.02 ^B	0.98±0.01 ^A	1.06±0.01 ^{AB}	0.98±0.01 ^A	1.61±0.05 ^B	1.64±0.10 ^{BC}	1.18±0.02 ^{BC}	1.44±0.07 ^{BC}	1.17±0.01 ^{AB}
i	蓝丰	0.95±0.01 ^{ABC}	1.30±0.08 ^B	0.98±0.01 ^A	1.05±0.01 ^{AB}	0.98±0.01 ^A	1.62±0.12 ^B	1.61±0.13 ^{BC}	1.19±0.05 ^{BC}	1.41±0.08 ^{BC}	1.17±0.01 ^{AB}
j	蓝金	0.97±0.01 ^A	1.34±0.02 ^B	0.98±0.01 ^A	1.05±0.01 ^{AB}	0.99±0.01 ^A	1.46±0.03 ^B	1.61±0.07 ^{BC}	1.13±0.01 ^C	1.40±0.05 ^{BC}	1.14±0.01 ^{AB}
k	蓝鸟	0.93±0.01 ^{ABC}	1.35±0.03 ^B	0.98±0.01 ^A	1.05±0.01 ^{AB}	0.98±0.01 ^A	1.84±0.08 ^B	2.00±0.05 ^{BC}	1.27±0.03 ^{BC}	1.75±0.03 ^{BC}	1.16±0.01 ^{AB}
l	蓝片	0.94±0.02 ^{ABC}	1.32±0.11 ^B	0.98±0.01 ^A	1.03±0.02 ^{AB}	0.98±0.01 ^A	1.74±0.24 ^B	2.02±0.25 ^{BC}	1.25±0.09 ^{BC}	1.75±0.22 ^{BC}	1.14±0.02 ^{AB}
m	北卫	0.97±0.01 ^A	1.29±0.04 ^B	0.98±0.01 ^A	1.05±0.01 ^{AB}	0.98±0.01 ^A	1.48±0.08 ^B	1.56±0.12 ^{BC}	1.14±0.04 ^C	1.37±0.07 ^{BC}	1.15±0.01 ^{AB}
n	日出	0.93±0.01 ^{ABC}	1.43±0.08 ^B	0.98±0.01 ^A	1.05±0.01 ^{AB}	0.98±0.01 ^A	1.93±0.12 ^B	1.92±0.11 ^{BC}	1.28±0.04 ^{BC}	1.67±0.08 ^{BC}	1.17±0.01 ^{AB}
o	瑞卡	0.89±0.04 ^{BC}	1.49±0.21 ^B	0.97±0.01 ^A	1.04±0.01 ^{AB}	0.97±0.01 ^A	2.34±0.47 ^B	2.08±0.42 ^{BC}	1.40±0.15 ^{BC}	1.89±0.33 ^{BC}	1.15±0.01 ^{AB}
p	斯巴坦	0.94±0.01 ^{ABC}	1.37±0.04 ^B	0.98±0.01 ^A	1.05±0.01 ^{AB}	0.98±0.01 ^A	1.78±0.04 ^B	1.74±0.06 ^{BC}	1.25±0.03 ^{BC}	1.47±0.05 ^{BC}	1.17±0.01 ^{AB}
q	陶柔	0.91±0.02 ^{ABC}	1.46±0.12 ^B	0.97±0.01 ^A	1.02±0.01 ^B	0.98±0.01 ^A	1.97±0.22 ^B	2.02±0.20 ^{BC}	1.33±0.09 ^{BC}	1.78±0.17 ^{BC}	1.14±0.01 ^{AB}
r	晚蓝	0.97±0.01 ^A	1.26±0.04 ^B	0.98±0.01 ^A	1.05±0.01 ^{AB}	0.98±0.01 ^A	1.46±0.09 ^B	1.48±0.05 ^C	1.13±0.03 ^C	1.34±0.04 ^{BC}	1.15±0.01 ^{AB}
s	喜来	0.97±0.01 ^A	1.26±0.01 ^B	0.98±0.01 ^A	1.05±0.01 ^{AB}	0.98±0.01 ^A	1.50±0.02 ^B	1.54±0.04 ^{BC}	1.14±0.01 ^C	1.37±0.03 ^{BC}	1.16±0.01 ^{AB}
t	泽西	0.95±0.01 ^{ABC}	1.29±0.03 ^B	0.98±0.01 ^A	1.05±0.01 ^{AB}	0.98±0.01 ^A	1.74±0.08 ^B	1.74±0.09 ^{BC}	1.23±0.04 ^{BC}	1.52±0.07 ^{BC}	1.18±0.01 ^A
	平均值	0.93 ^a	1.50 ^d	0.98 ^b	1.05 ^b	0.98 ^b	1.88 ^b	2.11 ^a	1.28 ^a	1.70 ^c	1.16 ^d
	标准差	0.05	0.53	0.01	0.01	0.01	0.49	1.08	0.17	0.48	0.01

注:同一个传感器带有相同字母代表差异不显著;不同大、小写字母表示差异极显著($P < 0.01$)、差异显著($P < 0.05$)。

气成分中硫化氢和甲烷类物质比重较大(数据未显示)。

“奥尼尔”在 W5S、W1S、W1W、W2S 和 W2W 传感器上的响应值极显著高于其他品种,在 W3C 和 W5C 传感器上的响应值极显著低于其他品种。“泽西”在 W3S 传感器上的响应值极显著高于“达柔”,与其他品种差异不显著。“达柔”在 W2W 传感器上的响应值极显著低于“奥尼尔”、“北陆”和“布里吉塔”,与其他品种差异不显著。“达柔”在 W2S 传感器上的响应值极显著低于“奥尼尔”、“北陆”,与其他品种差异不显著。“达柔”在 W1W 传感器上的响应值极显著低于“奥尼尔”、

“布里吉塔”,与其他品种差异不显著。“布里吉塔”和“杜克”在 W6S 传感器上的响应值极显著高于“陶柔”,与其他品种差异不显著。

2.2.2 蓝莓果实的 PCA 分析

参试的 20 个不同品种蓝莓品种果实电子鼻结果进行 PCA 分析,每个圆形区域代表一个蓝莓品种果实香气物质的数据采集点。同一品种果实平行检测的数据构成一个个独立的组群,表明电子鼻分析检测的重现性良好。结果如图 2 所示。

PC1 和 PC2 上包含了在 PCA 转换中得到的第一

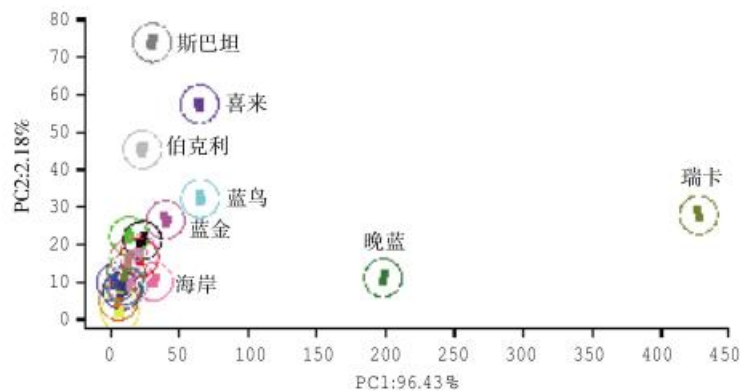


图2 蓝莓果实的 PCA 分析

Fig.2 PCA analysis of blueberry fruits

主成分和第二主成分的贡献率,分别为96.43%和2.18%,总贡献率为98.61%,表明两个主成分可代表样品香气物质的主要特征。“瑞卡”、“晚蓝”、“斯巴坦”、“喜来”、“伯克利”、“蓝鸟”、“蓝金”和“海岸”8个品种区域间无重叠,可以相互区分。其余品种区域间有部分重叠,不能完全区分开,说明不同品种的香气组分有所差别,可通过PCA分析将蓝莓品种中香气组分间差异较大的品种很好地区分开,但对于整体香气组分

相似的品种的区分还存在着局限,区分效果不理想。

2.2.3 蓝莓果实的LDA分析

参试的20个不同品种蓝莓品种果实电子鼻结果进行LDA分析,LDA分析是在进行PCA分析之后,对电子鼻传感器所感应的香气物质的响应信号进一步优化处理,进而更好地将数据之间的差异性进一步扩大,从而反映不同品种香气的差异情况,结果如图3所示。

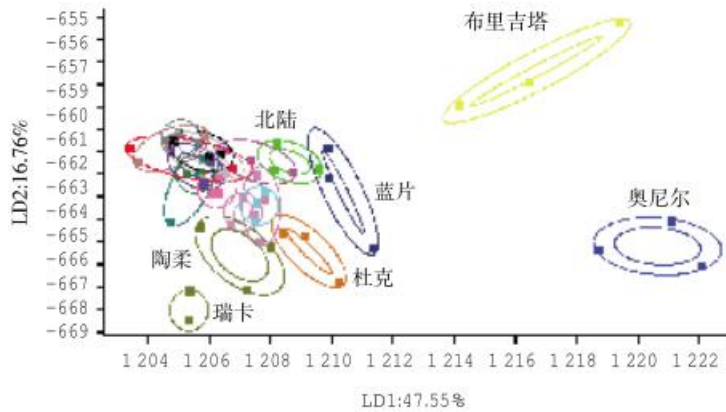


图3 蓝莓果实的LDA分析

Fig.3 LDA analysis of blueberry fruits

由图3可知,线性判别式LD1和LD2的贡献率分别为47.55%和16.76%,两判别式的总贡献率为64.31%,仅能解释60%以上的变异。从LDA分析中可以发现,“奥尼尔”、“布里吉塔”和“瑞卡”3个品种区域间无重叠,可以相互区分。其余品种香气组分区域均有不同程度重叠,“蓝片”、“杜克”、“陶柔”和“北陆”4

个品种与其他品种重叠区域较少。

2.2.4 蓝莓果实的Loadings分析

对传感器贡献率进行Loadings分析,距离原点(0,0)越远,传感器负载参数越大,则该传感器在模式识别中发挥的作用越大。若传感器负载参数值接近零,则可以忽略不计,结果如图4所示。

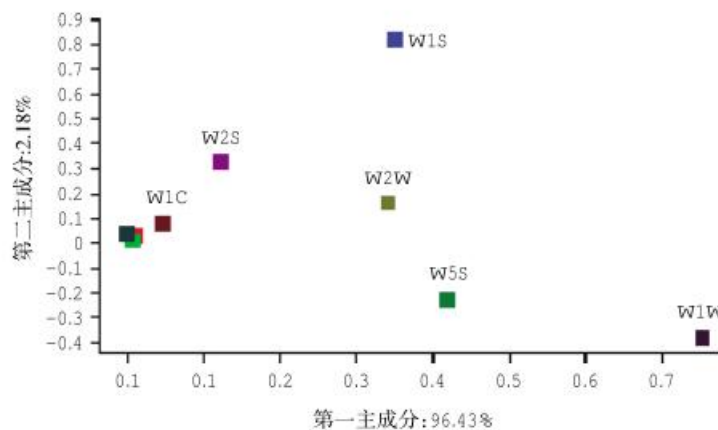


图4 蓝莓果实的Loadings分析

Fig.4 Loadings analysis of blueberry fruits

由图4可知,传感器W1W(硫化氢)对第一主成分贡献率最大,W1S(甲烷)对第二主成分贡献率最大,两个传感器对区分蓝莓品种香气物质的贡献率最大,在判别不同蓝莓品种中起到了关键作用。W5S(烷烃)、

W2W(有机硫化物)、W2S(乙醇)和W1C(芳香苯类)的作用次之,而传感器W6S(氢气)、W3S(芳香烷烃)、W3S(芳香烷烃)、W3C(氨类)和W5C(氮氧化合物)响应值在坐标原点(0,0)附近,其贡献率最小,作用也最小。

3 讨论与结论

果实品质包括外观品质、内在品质、贮藏品质和加工品质。果实内在品质是果实商品性优劣的重要指标,主要由糖、酸、香味物质、蛋白质、脂肪、维生素、矿物质等因素构成。其中糖、酸、香味物质等风味物质的组成及其含量对果实内在品质有着重要影响,果实的内在品质是决定果品市场竞争力的主要因素,直接影响其经济价值,而不同类型果实中糖的种类和含量存在差异^[20-21]。本试验结果显示,参试20个蓝莓品种可溶性总糖、可滴定总酸、维生素C和糖酸比的变异系数差异较大,分别为11.41%、32.50%、49.78%和36.84%。香气已经成为人们评价果品风味品质的一个重要指标,也是区别不同品种的重要特征参数^[22],10个传感器响应值的变异系数同样差异较大,分别为5.01%、35.69%、0.94%、1.15%、0.96%、26.15%、51.36%、12.91%、28.18%和1.18%。果实性状的变异系数越大,说明该性状的遗传性越丰富,选择潜力也就越大。同时,研究发现“奥尼尔”品种W5S等8个传感器上的响应值与其他品种差异极显著,说明该品种香气物质含量与其他品种差异极显著,可作为特异资源加以利用和开展相关研究。

果实所散发出的香气是由其含有的各种芳香气味的化学物质共同作用的结果,它们对果实香气的贡献与其香气值(浓度/香气阈值)成正比^[23],也是评价果实风味品质的重要指标^[24]。主成分分析是通过降低维度找到不同品种之间的差异,通过较少的变量解释原始信息^[25]。本试验结果显示,“瑞卡”、“晚蓝”、“斯巴坦”、“喜来”、“伯克利”、“蓝鸟”、“蓝金”和“海岸”8个品种区域间无重叠,可以相互区分,但其余品种不能完全区分开。与PCA分析相比,LDA方法更侧重于同一类别空间中的分布状态及彼此之间的距离,从所有数据中收集信息,提高分类精度。从LDA分析中可以发现,“奥尼尔”、“布里吉塔”和“瑞卡”3品种与其他品种无重叠,可以相互区分,“蓝片”、“杜克”、“陶柔”和“北陆”4个品种与其他品种重叠区域较少外,其他品种香气组分区域均有不同程度重叠。上述品种可作为香气机理研究和育种实践的特异材料加以利用。通过PCA和LDA分析发现,对香气组分相似度较高参试蓝莓品种区分效果不理想。果实香气物质浓度越大,则可以引起电子鼻传感器响应值也就越大,则 G/G_0 的值越偏离1(>1或<1),若果实香气物质浓度低于检测限或者没有感应气体,则 G/G_0 值接近甚至等于1^[26]。通过Loadings分析发现,W1W(硫化氢)、W1S(甲烷)、W5S(烷烃)、W2W(有机硫化物)、W2S(乙醇)和W1C(芳香苯

类)6个传感器的贡献率较大,对区分参试蓝莓香气物质的作用效果较大,与郑秀艳等^[8]的研究结果基本一致。因此,可将电子鼻作为检测、评价蓝莓果实香气物质的分析方法之一,并着重关注硫化氢和甲烷等物质含量差异。

因此,利用电子鼻技术可以较好地地区分部分蓝莓品种的香气,根据传感器响应值结果发现,“奥尼尔”品种香气物质含量与其他品种具有较大差异,PCA分析的贡献率高于LDA分析。电子鼻技术对于区分香气物质差异较大的蓝莓品种具有较好效果。

参考文献:

- [1] 李亚东, 刘海广, 唐雪东. 蓝莓栽培图解手册[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014.
LI Yadong, LIU Haiguang, TANG Xuedong. Blueberry Cultivation Illustrated Manual[M]. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2014.
- [2] KOCA I, KARADENIZ B. Antioxidant properties of blackberry and blueberry fruits grown in the Black Sea Region of Turkey[J]. Scientia Horticulturae, 2009, 121(4): 447-450.
- [3] 李亚东. 越橘栽培与加工利用[M]. 长春: 吉林科学技术出版社, 2001.
LI Yadong. Cultivation and processing of blueberry[M]. Changchun: Jilin Science & Technology Publishing House, 2001.
- [4] 杨桂霞, 范海林, 郑毅男, 等. 笃斯越橘果实中黄酮类化合物的分离鉴定[J]. 吉林农业大学学报, 2005, 27(6): 643-644, 648.
YANG Guixia, FAN Hailin, ZHENG Yinan, et al. Separation and identification of the flavonoids in the fruit of Vaccinium uliginosum L. Blueberry[J]. Journal of Jilin Agricultural University.
- [5] 禾本. 食用蓝莓延缓记忆力衰退[J]. 中国果业信息, 2016, 33(8): 64.
HE Ben. Eating blueberries delays memory decline[J]. China Fruit News, 2016, 33(8): 64.
- [6] 谢志亮, 余宏傲. 蓝莓茎段和叶片培养初步研究[J]. 温州农业科技, 2016(3): 25-26, 28.
XIE Zhiliang, YU Hongao. Preliminary study on the cultivation of blueberry stem and leaf[J]. Wenzhou Agricultural Science and Technology, 2016(3): 25-26, 28.
- [7] 张春雨, 李亚东, 赵爽, 等. 高丛越橘(Vaccinium corymbosom L.)果实采后香气成分分析[J]. 吉林农业大学学报, 2010, 32(2): 221-226, 232.
ZHANG Chunyu, LI Yadong, ZHAO Shuang, et al. Analysis of aroma components of high-bush blueberry (Vaccinium corymbosom L.) fruit after harvest[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2010, 32(2): 221-226, 232.
- [8] 郑秀艳, 黄道梅, 孟繁博, 等. 基于电子鼻技术的蓝莓果实品质变化研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(9): 3642-3649.
ZHENG Xiuyan, HUANG Daomei, MENG Fanbo, et al. Quality changes analysis of blueberry fruits based on the electronic nose technology[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2016, 7(9): 3642-3649.

- [9] 李晓磊, 沈向, 王磊, 等. 海棠不同品种果实香气物质分析[J]. 中国农业科学, 2008, 41(6): 1742-1748.
LI Xiaolei, SHEN Xiang, WANG Lei, et al. Analysis of fruit aroma of different crabapple (*Malus sp.*) cultivars[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2008(6): 1742-1748.
- [10] 惠国华, 厉鹏, 吴玉玲, 等. 基于电子鼻系统的水果腐败过程表征方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(6): 264-268.
HUI Guohua, LI Peng, WU Yuling, et al. Characterization method of fruit decay procedure using electronic nose system[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28 (6): 264-268.
- [11] 潘玉成, 宋莉莉, 叶乃兴, 等. 电子鼻技术及其在茶叶中的应用研究[J]. 食品与机械, 2016, 32(9): 213-218, 224.
PAN Yucheng, SONG Lili, YE Naixing, et al. Electronic nose technology and its application on tea[J]. *Food & Machinery*, 2016, 32(9): 213-218, 224.
- [12] 张晓敏. 电子鼻在食品工业中的应用进展[J]. 中国食品添加剂, 2008(2): 52-56.
ZHANG Xiaomin. Research and application of electronic nose in food industry[J]. *China Food Additives*, 2008(2): 52-56.
- [13] PERIS M, ESCUDER-GILBERT L. A 21st century technique for food control: Electronic noses[J]. *Analytica Chimica Acta*, 2009, 638: 1-15.
- [14] ZHAO Z Z, TIAN F C, LIAO H L, et al. A novel spectrum analysis technique for odor sensing in optical electronic nose[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2016, 222: 769-779.
- [15] PENNAZZA G, FANALI C, SANTONICO M, et al. Electronic nose and GC-MS analysis of volatile compounds in Tuber magnatum pico: Evaluation of different storage conditions[J]. *Food Chemistry*, 2013, 136(2): 668-674.
- [16] 曾辉, 刘璇, 吴昕焯, 等. 基于电子鼻技术的不同苹果品种香气的表征与识别[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(4): 197-203.
ZENG Hui, LIU Xuan, WU Xinye, et al. Identification of apple cultivars based on aroma analysis by electronic nose[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2016, 42(4): 197-203.
- [17] 李国鹏, 贾惠娟, 李红旭, 等. 利用电子鼻对不同梨品种进行区分的初步研究[J]. 浙江农业学报, 2011, 23(5): 1029-1033.
LI Guopeng, JIA Huijuan, LI Hongxu, et al. A preliminary study on differentiation of pear cultivars using electronic nose[J]. *Acta Agricultrae Zhejiangensis*, 2011, 23(5): 1029-1033.
- [18] 严娟, 蔡志翔, 张明昊, 等. 利用电子鼻评价桃果实香气[J]. 植物遗传资源学报, 2021, 22(1): 274-282.
YAN Juan, CAI Zhixiang, ZHANG Minghao, et al. Evaluation of aroma in peach fruit by electronic nose[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2021, 22(1): 274-282.
- [19] 中国标准出版社第一编辑室. 中国食品工业标准汇编-水果、蔬菜及其制品卷[M]. 北京: 中国标准出版社, 1999: 343-348, 431-433.
First Editorial Office, Standards Press of China. Chinese food industry-standard compilation-fruits, vol. of vegetables and their products[M]. Beijing: Standards Press of China, 1999: 343-348, 431-433.
- [20] 陈美霞. 杏果实风味物质的组成及其遗传特性的研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2005: 64-66.
CHEN Meixia. Studies of the inheritance and constituents of flavor in apricot (*Armeniaca vulgaris L.*) [D]. Taian: Shandong Agricultural University, 2005: 64-66.
- [21] 董月菊, 张玉刚, 梁美霞, 等. 苹果果实品质主要评价指标的选择[J]. 华北农学报, 2011, 26(S1): 74-79.
DONG Yueju, ZHANG Yugang, LIANG Meixia, et al. Selection of main indexes for evaluating apple fruit quality[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2011, 26(S1): 74-79.
- [22] 肖守华, 王崇启, 乔卫华, 等. 厚皮甜瓜(*Cucumis melon*)鲁厚甜2号香气成分的GC-MS分析[J]. 果树学报, 2010, 27(1): 140-145.
XIAO Shouhua, WANG Chongqi, QIAO Weihua, et al. Analysis of volatile components in muskmelon cultivar Luhoutian 2 (*Cucumis melon*) by solid phase microextraction with GC-MS[J]. *Journal of Fruit Science*, 2010, 27(1): 140-145.
- [23] 洪鹏, 陈峰, 杨远帆, 等. 三种柚子精油的香味特征及挥发性成分[J]. 现代食品科技, 2014, 30(10): 274-281.
HONG Peng, CHEN Feng, YANG Yuanfan, et al. Sensory characteristics and volatile components of three pummelo (*Citrus maxima*) essential oils[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2014, 30(10): 274-281.
- [24] 同忠心, 鲁周民, 刘坤, 等. 干制条件对红枣香气品质的影响[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 389-392.
YAN Zhongxin, LU Zhoumin, LIU Kun, et al. Effects of drying conditions on Chinese jujube aroma components[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2011, 27(1): 389-392.
- [25] 张鹏, 李江阔, 陈绍慧. 1-MCP 常温不同处理时间苹果的电子鼻判别分析[J]. 北方园艺, 2015(12): 119-124.
ZHANG Peng, LI Jiangkuo, CHEN Shaohui. Discriminant analysis of apples with 1-MCP at different treatment time under ambient temperature by electronic nose[J]. *Northern Horticulture*, 2015(12): 119-124.
- [26] MILANEZ K, NÓBREGA T C A, NASCIMENTO D S, et al. Multivariate modeling for detecting adulteration of extra virgin olive oil with soybean oil using fluorescence and UV-Vis spectroscopies: A preliminary approach[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2017, 85: 9-15.