

# 低温贮藏对蓝莓果实品质与主要成分的影响

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:**以“北陆”蓝莓为试验材料,分析低温贮藏期间蓝莓果实品质和主要成分的变化规律,并探讨电子鼻应用于检测蓝莓挥发性物质的可行性。结果表明:贮藏期间,蓝莓果实的失重率和腐烂率不断升高,硬度不断降低;可溶性固形物(TSS)含量呈升高—降低—升高的变化趋势,可滴定酸(TA)、维生素C含量不断降低;总酚、类黄酮、花青素相对含量先升高后降低;过氧化物酶(POD)活性、丙二醛(MDA)含量先升高后降低。主成分分析(PCA)和线性判别分析(LDA)方法相结合,可以区分贮藏期间蓝莓挥发物质变化。

**关键词:**蓝莓;低温贮藏;品质;成分;电子鼻

中图分类号:S668.9 文献标识码:A 文章编号:1674-1161(2021)05-0029-05

蓝莓果肉细腻,酸甜适度,营养成分与活性物质丰富,具有多种保健功能,被誉为“浆果之王”。露地蓝莓成熟季节多在6—8月,果实采后贮藏难的问题严重影响蓝莓的商品性,限制了蓝莓产业的发展。低温贮藏是蓝莓鲜果生产中普遍应用的贮藏方法。蓝莓果实的气味与其成熟度、贮藏时间及腐败程度有着密切关联,因此,气味可以作为判别果实生理状态的因子。“电子鼻”是一种分析、识别、检测复杂嗅味和挥发性成分的人工嗅觉系统,具有检测速度快、操作简单、灵敏度高、重现性好等特点。本课题以半高丛蓝莓品种“北陆”为试材,分析低温贮藏过程中蓝莓果实品质和主要成分的变化规律,以期对蓝莓的贮藏保鲜及深加工提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试蓝莓品种为“北陆”,采自辽宁省果树科学研究所蓝莓试验园。

### 1.2 仪器与设备

53205型数显果实硬度计(探头直径2 mm);北京阳光亿事达科技有限公司;PAL-BX/ACID5型糖酸度计;日本ATAGO(爱拓)公司;PEN3型电子鼻;德国

AIRSENSE公司;UV-2550型紫外分光光度计;岛津国际贸易上海有限公司;GL-16G-II型离心机;上海安亭科学仪器厂;ME204E型分析天平;瑞士梅特勒—托利多仪器公司。

### 1.3 试验设计

于2017年6月29日选取“北陆”蓝莓充分成熟果实5 kg,装入塑料盒(125±5 g/盒)中,在4℃下贮藏。贮藏期间,每7 d测定果实的品质和生理指标。第0,6,12,18,24,28,30,32,36,39,41,46 d利用电子鼻测定果实中芳香成分,每个指标重复测定3次,结果取平均值。

### 1.4 试验方法

1.4.1 外观品质测定 1)失重率。按照公式计算。失重率=(贮藏前果实质量-测定时果实质量)/贮藏前果实质量×100%。2)腐烂率。将有长霉、流水、凹陷、破裂等腐烂现象的果实记为腐烂果,按照公式计算。腐烂率=坏果数/总果数×100%。3)硬度。使用硬度计测定果实硬度。

1.4.2 营养成分测定 1)可溶性固形物(Total Soluble Solid,TSS)和可滴定酸(Titratable acidity,TA)含量采用糖酸度计法测定;维生素C含量采用2,6-二氯酚法测定。

1.4.3 功能成分测定 总酚物质、类黄酮、花青素相对含量采用1%盐酸—甲醇比色法测定。以每克果蔬组织在波长280 nm处吸光度值表示总酚相对含量,即OD<sub>280</sub>/g;在波长325 nm处吸光度值表示类黄酮相对含量,即OD<sub>325</sub>/g;在波长530 nm和600 nm处吸光度之差表示花青素相对含量(U),即U=(OD<sub>530</sub>-OD<sub>600</sub>)/g。

1.4.4 过氧化物酶、丙二醛测定 1)过氧化物酶(peroxidase,POD)活性。称取果肉5.0 g,以pH值5.5

收稿日期:2021-06-12

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,硕士,副研究员,从事小浆果种质资源、栽培生理与技术推广方面的研究工作。  
通信作者:刘成(1966—),男,博士,研究员,从事小浆果种质资源、遗传育种、栽培生理与技术推广方面的研究工作。

的 0.1 mol/L 乙酸—乙酸钠提取缓冲液研磨,采用愈创木酚比色法测定,以每分钟反应体系在 470 nm 处吸光度值增加 0.01 时所需的酶量为 1 个活性单位。

2) 丙二醛(malondialdehyde,MDA)含量。称取果肉 2.0 g,以 100 g/L 三氯乙酸溶液研磨,采用硫代巴比妥酸比色法测定,以 nmol/g FW 表示。

1.4.5 电子鼻检测 将 3 份 125±5 g 蓝莓果实置于 250 mL 的烧杯中,用保鲜膜封口,设 3 个平行,在 25 ℃ 下放置 10 min,使用电子鼻获取果实挥发性气体响应值,检测后进行清零和标准化。

电子鼻测定参数为: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。

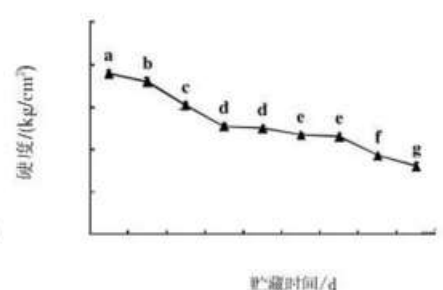
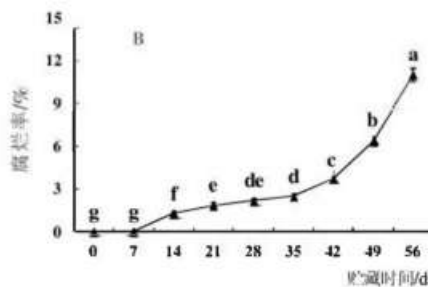
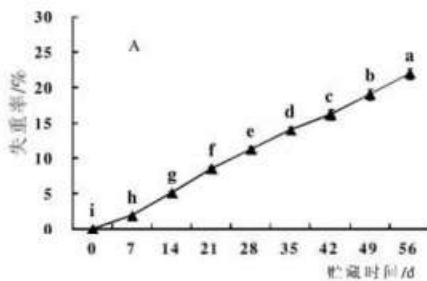


图1 贮藏期间蓝莓失重率、腐烂率、硬度的变化规律

Figure 1 Change rule of weight loss rate, decay rate and firmness in blueberry during storage

水萎蔫,失重率显著升高,至贮藏结束(56 d)时达 21.96%。2) 贮藏 14 d 开始出现腐烂果,随贮藏时期的延长腐烂率显著升高,贮藏 0~35 d 时升高相对缓慢,35 d 时为 2.51%,随后升高速率加快,至贮藏结束(56 d)时达 11.02%。3) 贮藏期间果实硬度不断降低,贮藏 0~21 d 硬度由 2.90 kg/cm<sup>2</sup> 降低至 2.28 kg/cm<sup>2</sup>,降低了 21.38%,贮藏 21~42 d 硬度由 2.28 kg/cm<sup>2</sup> 降

## 1.5 数据处理

利用 Excel 2007 软件进行数据预处理;利用 Winmuster 软件对电子鼻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,LA)方法对响应信号值进行分析;利用 SPSS 20 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 贮藏期间蓝莓果实外观品质的变化

贮藏期间蓝莓果实失重率(A)、腐烂率(B)及硬度(C)的变化规律如图 1 所示。小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同。

由图 1 可以看出:1) 蓝莓果实贮藏期间果实失

低至 2.15 kg/cm<sup>2</sup>,降低了 5.70%,贮藏 42~56 d 硬度由 2.15 kg/cm<sup>2</sup> 降低至 1.80 kg/cm<sup>2</sup>,降低了 16.28%,贮藏结束时(56 d)果实硬度显著低于采收时(0 d)。

### 2.2 贮藏期间蓝莓果实营养成分的变化

贮藏期间蓝莓果实 TSS(A)、TA(B)及 VC(C)含量的变化规律如图 2 所示。

由图 2 可以看出:1) 采收后果实 TSS 含量不断

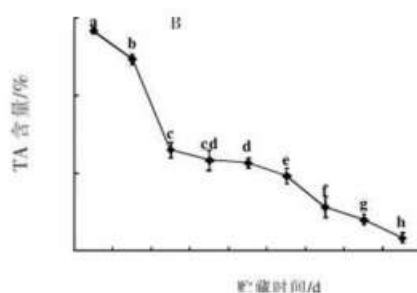
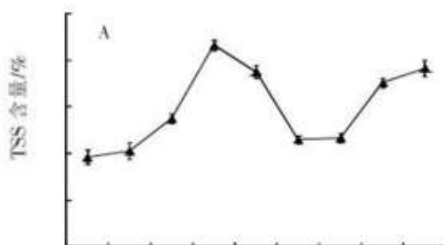


图2 贮藏期间蓝莓 TSS,TA,VC 含量的变化规律

Figure 2 Change rule of TSS, TA, VC contents in blueberry during storage

升高,贮藏 21 d 后开始降低,35 d 后再次升高,贮藏结束时果实 TSS 含量显著高于采收时,升幅为

16.02%。2) 采收后果实 TA 含量显著降低,至贮藏期 56 d 时 TA 含量由 1.45% 降低至 0.65%、降幅达

55.17%。3) 采收后果实 VC 含量显著降低, 至贮藏期 56 d 时 VC 含量由 7.37 mg/100 g 降低至 2.26 mg/100 g, 降幅达 69.34%。

### 2.3 贮藏期间蓝莓果实总酚、类黄酮、花青素相对含

量的变化

贮藏期间蓝莓果实总酚(A)、类黄酮(B)及花青素(C)相对含量的变化规律如图 3 所示。

由图 3 可以看出:贮藏期间果实总酚、类黄酮、花

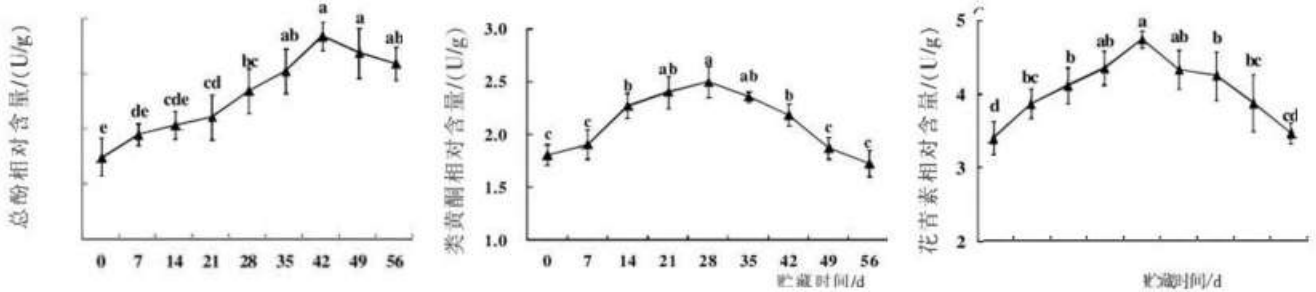


图 3 贮藏期间蓝莓总酚、类黄酮、花青素相对含量的变化规律

Figure 3 Change rule of relative contents of total phenol, falconoid, anthocyan in blueberry during storage

青素相对含量均成单峰变化趋势。采收时总酚相对含量为 1.30 U/g, 贮藏 42 d 时升至最高, 为 1.73 U/g, 贮藏结束时为 1.64 U/g; 采收时黄酮相对含量为 1.81 U/g, 28 d 时升至最高, 贮藏结束时为 1.73 U/g; 采收时花青素相对含量为 3.41 U/g, 贮藏 28 d 时升至最高, 随后开始下降, 贮藏结束时为 3.48 U/g。

### 2.4 贮藏期间蓝莓果实过氧化物酶活性与丙二醛含量的变化

贮藏期间蓝莓 POD 活性(A)、MDA 含量(B)的变化规律如图 4 所示。

达 50.42%, 贮藏结束时为 9.47  $\Delta OD_{470}/\text{min}\cdot\text{g}$ 。2) 贮藏期间果实 MDA 含量在 21 d 时出现高峰。采收时 MDA 含量为 4.97 nmol/g FW, 贮藏 21 d 时升至最高, 为 31.18 nmol/g FW、增幅达 527.36%, 贮藏结束时为 2.58 nmol/g FW。

### 2.5 贮藏期间蓝莓果实电子鼻无损伤分析

2.5.1 样品在趋于平衡时刻的特征雷达图 利用电子鼻检测“北陆”蓝莓果实低温贮藏期间挥发性物质变化情况, 10 个传感器均有响应, 检测结果如图 5 所示。

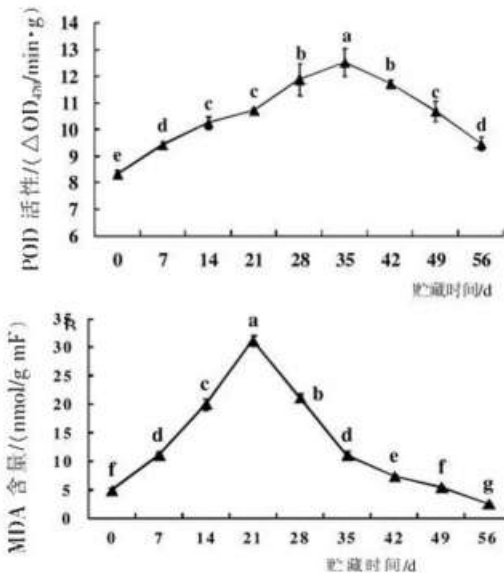


图 4 贮藏期间蓝莓 POD 活性、MDA 含量的变化规律

Figure 4 Change rule of POD activity and MDA contents in blueberry during storage

由图 4 可以看出:1) 贮藏期间果实 POD 在 35 d 时出现活性高峰。采收时 POD 活性为 8.33  $\Delta OD_{470}/\text{min}\cdot\text{g}$ , 贮藏 35 d 时升至最高、为 12.53  $\Delta OD_{470}/\text{min}\cdot\text{g}$ 、增幅

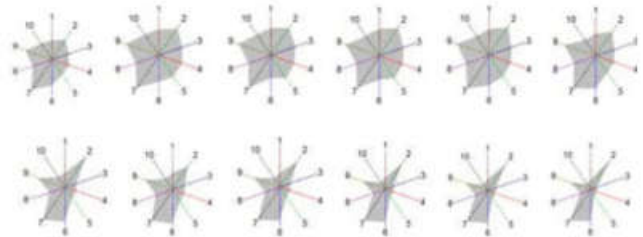


图 5 贮藏期间蓝莓挥发性物质的雷达图

Figure 5 Radars charts of volatile material in blueberry during storage

由图 5 可以看出:随着贮藏期的延长,雷达图的外形和面积也逐渐发生变化,表明“北陆”蓝莓挥发性物质的构成发生变化。贮藏 0~24 d 时,图形较为相似,变化不明显;贮藏 28~36 d 时,芳香苯类、氨基、氢气、烷烃、乙醇、有机硫化物及芳香烷烃类物质含量降低,甲烷含量有所提高;贮藏 39~46 d 时,与贮期 28~36 d 时相比,氨基、氢气、烷烃、有机硫化物及芳香烷烃类物质含量降低,氮氧化合物含量有所提高。整个贮藏期间硫化氢含量变化不明显。

2.5.2 贮藏期间蓝莓果实的 PCA 分析 低温贮藏期间“北陆”蓝莓的 PCA 分析结果如图 6 所示。



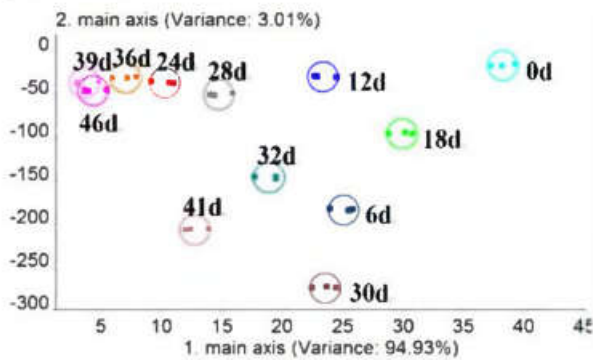


图6 贮藏期间蓝莓的PCA分析

Figure 6 PCA analysis of blueberry during storage

图6中每个圆形区域代表同一贮藏时期“北陆”蓝莓挥发性物质的数据采集点。PC1和PC2包含在PCA转换中得到的第一主成分和第二主成分的贡献率分别为94.93%和3.01%，总贡献率为97.94%，表明这两个主成分基本代表样品的主要信息特征。除39d和46d区域有部分重叠外，其余贮藏期区域间无重叠，可以相互区分。虽然不能完全区分开，但是能够反映不同贮藏期挥发性物质含量及组成间存在差异，间接反映“北陆”蓝莓果实的成熟情况。

2.5.3 贮藏期间蓝莓果实的LDA分析 贮藏期间“北陆”蓝莓的LDA分析结果如图7所示。

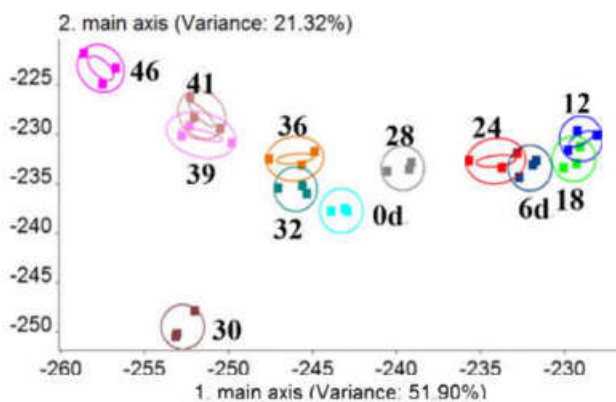


图7 贮藏期间蓝莓的LDA分析

Figure 7 LDA analysis of blueberry during storage

由图7可以看出：线性判别式LD1和LD2的贡献率分别为51.90%和21.32%，总贡献率为73.22%。除低温贮藏0、28、30、46d挥发性物质成分区域未发生重叠外，其他贮藏时期均有不同程度重叠。挥发性物质变化规律较为复杂，尤其在贮藏6d和24d、12d和18d、32d和36d、39d和41d的LD1轴和LD2轴数值变化相对较小，说明挥发性物质变化较小。

2.5.4 贮藏期间蓝莓果实的Loadings分析 Loadings分析

是对传感器贡献率进行分析，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。贮藏期间“北陆”蓝莓的Loadings分析结果如图8所示。

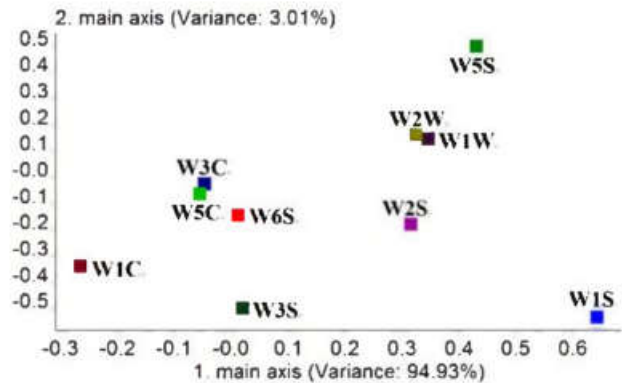


图8 贮藏期间蓝莓的Loadings分析

Figure 8 Loadings analysis of blueberry during storage

由图8可以看出：传感器W1S(甲烷)和W5S(烷烃)在当前条件下起的作用最大，对区分低温贮藏期间的“北陆”蓝莓挥发性物质的贡献率最大。W1W(硫化氢)、W2W(有机硫化物)、W2S(乙醇)、W1C(芳香苯类)和W3S(芳香烷烃)的作用次之，而传感器W3C(氨类)、W5C(氮氧化合物)和W6S(氢气)响应值在坐标原点(0,0)附近，其贡献率最小，作用也最小。

### 3 结论与讨论

蓝莓贮藏后商品性的丧失主要表现为果实腐烂、皱缩、失水萎蔫。以果实失重率、腐烂率、硬度、TSS含量、TA含量及VC含量作为蓝莓贮藏性评价指标，发现在贮藏期间蓝莓果实的失重率和腐烂率不断升高，而果实硬度不断降低，TA及VC不断分解消耗，TSS含量呈现升高、降低再升高的趋势。究其原因，可能是果实内的淀粉转化为糖而导致贮藏前期TSS含量升高，之后呼吸消耗使TSS含量降低，后期果实失水严重导致TSS含量再度升高。这与陈杭君等对“灿烂”蓝莓品质衡量的结果相似。

采后蓝莓果实总酚、类黄酮、花青素相对含量先升高后降低，这与曹森等人的研究结果一致。随着果实成熟衰老，MDA含量升高使POD出现活性高峰后，MDA的大量积累反过来抑制POD活性，削弱果实抗氧化能力，使细胞膜受损加重。

挥发性物质是评价果实品质的重要指标，其挥发特性的改变可以很好地反映果实的内部品质变化。利用电子鼻技术分析低温贮藏期间“北陆”蓝莓挥发性

物质的变化,通过雷达图发现贮藏 28 d 和 39 d 时的雷达图变化最大,这也是果实 TSS、总酚、类黄酮、花青素含量和 POD 活性发生明显变化的时期。主成分分析和线性判别分析结果可以互相补充,区分不同贮藏时期“北陆”蓝莓果实的挥发性物质,区分效果较好。通过负荷加载分析发现 W1S(甲烷)、W5S(烷烃)、W1W(硫化氢)、W2W(有机硫化物)、W2S(乙醇)、

W1C(芳香苯类)和 W3S(芳香烷烃)7 个传感器的贡献率较大,对低温贮藏期间“北陆”蓝莓挥发性物质的区分效果较好,这与郑秀艳等人的研究结果一致。因此,可将电子鼻作为检测和评价蓝莓果实贮藏期间风味品质的方法,同时结合营养品质及外观品质测定对蓝莓贮期品质变化进行系统评价与分析。

#### 参考文献

- [1] 贺艳.不同品种蓝莓果实采后品质特性及抗氧化活性研究[D].长沙:中南林业科技大学,2017.
- [2] 陈杭君,王翠红,邵海燕,等.不同包装方法对蓝莓采后贮藏品质和抗氧化活性的影响[J].中国农业科学,2013,46(6):1 230-1 236.
- [3] 曹森,王瑞,赵成飞,等.采前喷施哈茨木霉菌对采后蓝莓贮藏品质及生物活性的影响[J].江苏农业学报,2017,33(2):424-431.
- [4] 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):3 642-3 649.

## Effects of Low Temperature Storage on Quality and Principal Component of Blueberry

WEI Xin, GUO Dan, WANG Hongguang, LIU Cheng\*

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

**Abstract:** Taking Beilu blueberry as the test material, this paper analyzes the fruit quality and principal component of blueberry during low-temperature storage period, and explore the feasibility of electronic nose application to detect volatile material in blueberry. The results showed that: During storage, the weight loss rate and decay rate of blueberry fruit increased continuously, and the hardness decreased continuously; The content of soluble solid (TSS) increased, decreased and increased, while the content of titratable acid (TA) and vitamin C decreased continuously; The relative contents of total phenols, and anthocyanins increased first and then decreased; Peroxidase (POD) activity and malondialdehyde (MDA) content increased first and then decreased. The combination of principal component analysis (PCA) and linear discriminant analysis (LDA) could distinguish the changes of volatile material in blueberries during storage.

**Key words:** blueberry; low temperatures storage; quality; component; electronic nose

(上接第 28 页)

## Study on Amino Acid Quality of 6 Varieties of Walnuts in Taihang Mountain

YIN Jiabin, HUANG Yajuan, SONG Zhiyong, WANG Shun, LIU Chen, DENG Jiankang\*

(College of Life Science, Hengshui University, Hengshui Hebei 053000, China)

**Abstract:** In this study, 6 varieties of walnuts from Taihang Mountain were used as the research objects. The types and contents of amino acids in walnuts were determined by on-line automated pre-column derivatization and high performance liquid chromatography. The comprehensive evaluation was conducted by principal component analysis and cluster analysis. The results showed that: Walnut contains 6 essential and 8 non-essential amino acids, with an average total amino acids of 16.22 g/100 g; The contents of amino acids in different varieties of walnuts were significantly different, and those in Lüling and Qingxiang were higher; The results of principal component analysis and cluster analysis could reflect the difference of amino acid composition among different varieties of walnut.

**Key words:** walnut; amino acid; variety; content