

高温灭菌过程中三种鲜食玉米汁游离糖与氨基酸含量变化的比较

牛丽影, 刘春菊, 李大婧, 宋江峰, 刘春泉

(江苏省农业科学院农产品加工研究所, 江苏南京 210014)

摘要: 为明确鲜食玉米汁在高温灭菌过程中滋味成分的变化特点, 采用 HPLC 对甜玉米、糯玉米和常规玉米汁在灭菌过程中蔗糖、果糖、葡萄糖和 19 种游离氨基酸的含量变化进行了测定和分析。结果显示, 甜玉米汁中蔗糖含量最高, 为 11.94~18.09 mg/mL, 含量最低的为糯玉米汁 0.12~0.34 mg/mL。在灭菌过程中, 常规玉米和糯玉米汁中的果糖和葡萄糖含量均呈下降趋势, 而甜玉米汁中三种糖随时间延长均表现为先上升后下降。甜味氨基酸和鲜味氨基酸为三种玉米汁的主要氨基酸, 为总游离氨基酸的 68.77%~80.20%。19 种氨基酸在灭菌过程中含量变化经主成分分析得到相关性热图和主成分图谱, 结果显示甜玉米汁和糯玉米汁中的氨基酸变化相似, 均有 6 种氨基酸随灭菌时间延长含量上升, 呈显著相关关系, 而常规玉米汁中氨基酸变化与二者差别较大。结果为不同的鲜食玉米汁加工中品质调控提供参考。

关键词: 鲜食玉米汁; 游离糖; 游离氨基酸; 高压蒸汽灭菌

文章编号: 1673-9078(2019)02-47-53

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2019.2.007

Change of Free Sugars and Amino Acids in Fresh Corn Juice during Autoclaving

NIU Li-ying, LIU Chun-ju, LI Da-jing, SONG Jiang-feng, LIU Chun-quan

(Institute of Agro-product Processing, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: Aimed at verifying the changes of taste-related components in fresh corn juice during autoclaving, milk-stage sweet corn, waxy corn and common corn juice were processed and the changes of sucrose, fructose, glucose and 19 free amino acids contents were determined using HPLC. Results showed that sweet corn juice had the highest sucrose content 11.94~18.09 mg/mL, while the waxy corn juice had the lowest value 0.12~0.34 mg/mL. During the sterilization, the fructose and glucose content in waxy corn and common corn juice decreased with the extending time, however, all the sugars in sweet corn juice increased first and then decreased. Sweet taste amino acids and umami amino acids were the main amino acids in the corn juices, and they contribute 68.77%~80.20% of the total amino acids. Moreover, the relationships of the 19 amino acids during sterilization were displayed using heat maps and principle component analysis (PCA) profiles. The changes of amino acids in sweet corn juice were similar to those in waxy corn juice. Both of them had six amino acids that increased during sterilization and showed significant correlations, which was different in common corn juice. These results would contribute to fresh corn juice quality improvement during processing.

Key words: fresh edible corn juice; free sugar; free amino acid; autoclaving sterilization

我国玉米饮品商业化加工由来已久, 常规玉米^[1]、甜玉米^[2]、糯玉米^[3]都可用于玉米饮料的制作。鲜食玉米为乳熟期的玉米, 因具有丰富的水分、糖分和风味, 往往在加工玉米汁上具有更多的原料优势。玉米汁加

收稿日期: 2018-09-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (31301533); 江苏省农业科技自主创新资金项目 (CX[17]2013)

作者简介: 牛丽影 (1977-), 女, 博士, 副研究员, 研究方向: 果蔬加工与综合利用

通讯作者: 刘春泉 (1957-), 男, 研究员, 研究方向: 农产品加工与产业化

工中多关注工艺配方以^[4]及悬浊稳定性^[5-7], 而不同玉米汁风味特点的研究相对匮乏。玉米籽粒风味的研究则以甜玉米为主, 滋味是对甜玉米风味贡献率最高的属性^[8], 其中甜味与游离糖尤其是蔗糖显著相关^[9]。另外, 甜玉米中的游离氨基酸含量往往高于普通玉米, 谷氨酸与丙氨酸含量较高, 但谷氨酸是否会形成甜玉米的鲜味认为确定^[10]。在玉米汁加工中灭菌方法多为高压高温灭菌, 118~121 °C 处理 10~30 min^[1-3]是广泛使用的杀菌条件。鲜食玉米中富含糖与氨基酸, 并且是甜玉米主要的滋味成分^[9], 但在高温下, 糖与氨基

酸可发生美拉德反应,形成多种风味成分^[11],也可以产生丙烯酰胺、呋喃、5-羟甲基糠醛等有害物质并导致褐变,并伴随糖和氨基酸的损耗,使营养风味质量水平降低^[12]。

玉米汁为复杂的食品体系,往往包含碳水化合物、蛋白、脂肪等多种成分,在加工过程中各种成分间会发生多种协同或拮抗作用,因此近年来多元相关性分析、主成分分析(principal component analysis, PCA)等多元统计的方法在研究食品差异与变化中得到了广泛的应用,如用于产地^[13]或品种^[14]的鉴别,用于分析贮藏^[15]或加工^[16]等因素导致的变化和差异等,并可通过指标或样品在二维或三维图中的聚集和分散,直观地展示样品及指标间的相关性及变化差异关系^[13-16]。

为明确高温灭菌对鲜食玉米汁中滋味物质的影响,本文对乳熟期甜玉米、糯玉米、常规玉米进行制汁,对高温灭菌过程中游离糖和呈味氨基酸的变化进行测定比较,并通过相关性热图、主成分分析对不同玉米汁中19种游离氨基酸的变化特点进行比较,以期不同玉米汁加工中营养风味的变化与调控提供借鉴。

1 材料与方法

1.1 原料

授粉后20 d即乳熟期的甜玉米(晶甜5号)、糯玉米(京甜紫花糯2号)及常规玉米(苏玉29)采自江苏省农业科学院六合基地,玉米样品的基本信息见表1。

表1 三种玉米的水分含量和淀粉组成

Table 1 Moisture content and starch constitute of three corn samples

项目	晶甜5号	京甜紫花糯2号	苏玉29
水分含量(g/100 g)	76.87±1.26	70.17±2.44	68.67±1.58
直链淀粉(g/100 g)	0.51±0.03	n.d.	2.97±0.57
支链淀粉(g/100 g)	7.91±0.29	15.46±1.29	20.45±5.08

注: n.d.未检测到。

玉米鲜穗去苞皮清洗后置入沸水中,水再次沸腾后计时5 min,捞出冷却、沥水,割粒,-20℃冻藏待用。玉米粒与纯净水按照质量比1:4进入胶体磨匀浆,采用80目不锈钢滤网除去皮渣,然后混匀后分装入250 mL玻璃瓶内,采用蒸汽压力灭菌锅进行灭菌,设定温度为121℃,保持时间分别为5 min、10 min、15 min、20 min。冷却至室温后摇匀,取10 mL在10000 r/min离心,取上层清液在-18℃冻藏待测。

1.2 仪器设备与试剂

JMS-50分体式变速胶体磨,廊坊市廊通机械有限公司;SYQ-DSX-280B手提式不锈钢蒸汽压力灭菌锅,上海申安医疗器械厂;分光光度计,北京普析通用仪器有限责任公司;HPLC1200高效液相色谱仪(美国Agilent科技有限公司),主要包括在线真空脱气机、四元梯度洗脱泵、柱温箱、二级管阵列检测器(Diode Array Detector, DAD)、示差折光检测器(Refractive Index Detector, RID)。

标准品游离氨基酸、邻苯二甲醛(OPA)、3-巯基丙酮酸自美国Sigma公司;分析纯考马斯亮蓝-G250、氯仿、甲醇、硼酸、磷酸二氢钠、氢氧化钠、无水乙醇、磷酸均购自国药集团化学试剂有限公司;色谱级乙腈、甲醇购自美国天地公司。

1.3 试验方法

1.3.1 水分含量的测定

采用GB/T 5497-2016中105℃恒重法^[17]进行测定。

1.3.2 淀粉含量的测定

采用双波长法^[18]测定。

1.3.3 游离糖的测定

吸取上清液1 mL,加入1 mL乙腈,过0.45 μm的滤膜,供HPLC进样分析。HPLC分析色谱柱为Carbohydrate色谱柱(150 mm×4.6 mm, 5 μm),示差(RID)检测器,流动相为乙腈:水(75:25, V/V);流速1.0 mL/min;检测器温度30℃,柱温30℃;进样量20 μL。通过与标准样品保留时间的比对及外标法分别进行定性定量。

1.3.4 游离氨基酸的测定

采用邻苯二甲醛(OPA)衍生法。取玉米汁上层清液10 μL,加入50 μL(0.4 mol/L pH 10.2)硼酸缓冲液,然后加入10 μL OPA衍生,混匀后静置30 s后加入640 μL蒸馏水,混匀,过0.45 μm有机微孔滤膜,进样量20 μL。HPLC色谱检测条件如下:色谱柱为ZORBAX Eclipse-AAA色谱柱(150 mm×4.6 mm, 3.5 μm),检测器为DAD;流动相:A:0.040 mol/L pH 7.8的Na₂HPO₄溶液;B:乙腈:甲醇:水(45:45:10, V/V/V);流速:2 mL/min;洗脱梯度:0% B(0 min)、0% B(1.9 min)、57% B(18.1 min)、100% B(18.6 min)、100% B(22.3 min)、0% B(23.2 min),0% B(26 min,保持至26 min);柱温:40℃;检测波长338 nm,参比波长:390 nm。通过与标准样品保留时间的比对及外标法分别进行定性定量。

1.4 数理统计

采用 JMP 10.0 进行单因素方差分析(Tukey HSD 法计算差异显著性, $p < 0.05$)、相关性分析以及主成分分析。

2 结果与分析

2.1 灭菌过程中游离糖的变化

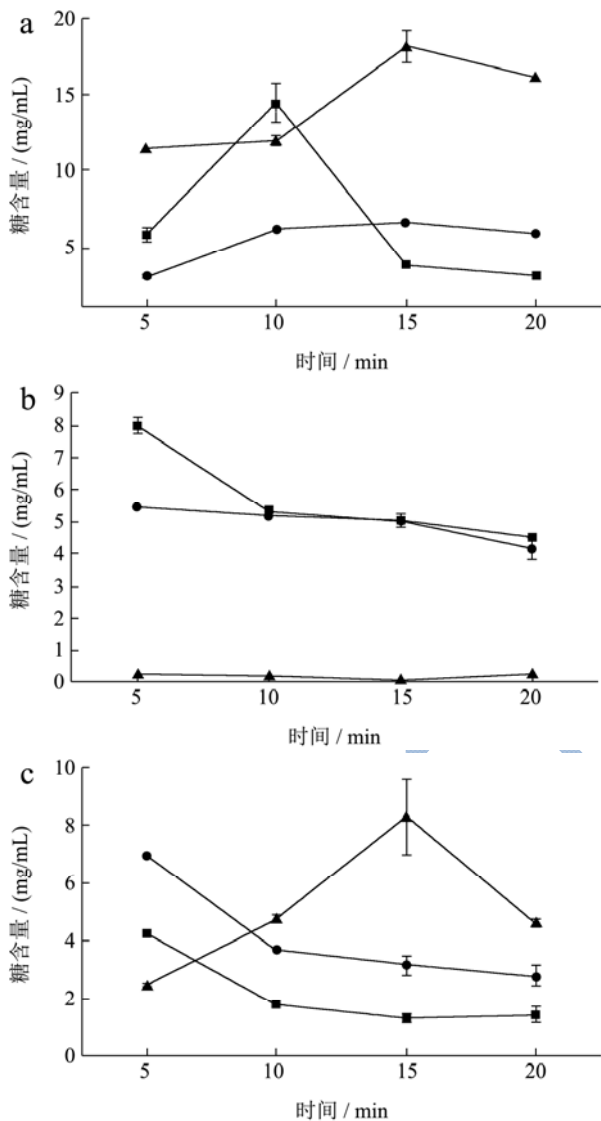


图1 游离糖在灭菌过程中的变化

Fig.1 Changes of free sugars during autoclaving

注: ■-果糖, ●-葡萄糖, ▲-蔗糖。a-甜玉米; b-糯玉米; c-常规玉米。

三种玉米汁的游离糖主要为蔗糖、葡萄糖、果糖(图1),不同的玉米汁体系中三种糖的组成以及加热过程中的变化不同,以灭菌5 min 为例,甜玉米汁

中蔗糖>果糖>葡萄糖,糯玉米汁中则果糖>葡萄糖>蔗糖,常规玉米汁中则葡萄糖>果糖>蔗糖。到灭菌 20 min 时,糖的组成比例发生了变化,成为甜玉米汁中蔗糖>葡萄糖>果糖,糯玉米汁中果糖~葡萄糖>蔗糖,常规玉米汁中蔗糖>葡萄糖>果糖。

在灭菌过程中,甜玉米汁果糖、葡萄糖、蔗糖均表现为先上升后下降的趋势,上升为最高值的时间分别为 10 min、15 min、15 min。常规玉米汁中蔗糖含量的变化与甜玉米汁类似,也是在 15 min 达到最高值,但果糖与葡萄糖则随时间延长依次下降。糯玉米汁与甜玉米和常规玉米汁不同,蔗糖为含量最低的糖,仅为果糖的 2.30%~6.20%。糯玉米汁中果糖在灭菌 5 min 时含量最高,而后显著下降,蔗糖和葡萄糖在灭菌过程中无显著变化。就不同糖的变化趋势而言,甜玉米中果糖变幅最大,从灭菌 10 min 时的 14.45 mg/mL 降为灭菌 20 min 时的 3.08 mg/mL,保留率仅为 21.33%;其次为糯玉米中的果糖,从 5 min 时的 8.00 mg/mL 降为灭菌 20 min 时的 4.16 mg/mL,保留率为 52.00%。

2.2 灭菌过程中游离氨基酸的变化

2.2.1 滋味相关氨基酸含量变化

参照蘑菇中呈味氨基酸的报道^[19],对 19 种氨基酸中的甜味氨基酸、鲜味氨基酸、苦味氨基酸进行分析。从图 2 可以看出,三种玉米汁均以甜味氨基酸和鲜味氨基酸为主,苦味氨基酸含量最低。甜玉米汁中甜味氨基酸含量显著高于其他氨基酸,是鲜味氨基酸的 3.2~3.9 倍。糯玉米汁中虽然也是甜味氨基酸含量最高,但是其含量低于甜玉米,取二者最高值进行比较,甜玉米汁是糯玉米汁的 2.5 倍。甜玉米汁和糯玉米汁的鲜味氨基酸含量接近,变化范围为 2.7~5.1 mg/mL 和 4.5~5.7 mg/mL。常规玉米汁中甜味氨基酸和鲜味氨基酸含量在灭菌过程中出现交叉,变化范围分别为 0.83~2.52 mg/mL 与 0.51~1.24 mg/mL,均显著低于甜玉米汁和糯玉米汁。

在灭菌过程中,甜玉米汁中甜味、鲜味、苦味氨基酸均表现为随着时间的延长而依次增加,糯玉米汁中三种呈味氨基酸在灭菌 10 min 较 5 min 显著增加,随后变化不显著,常规玉米汁中甜味氨基酸和鲜味氨基酸则均在灭菌 20 min 时达到最高值,最低值则分别出现在灭菌 10 min 和 15 min;苦味氨基酸的最低值出现在灭菌 15 min,而灭菌 20 min 的含量与灭菌 5 min 的含量接近。

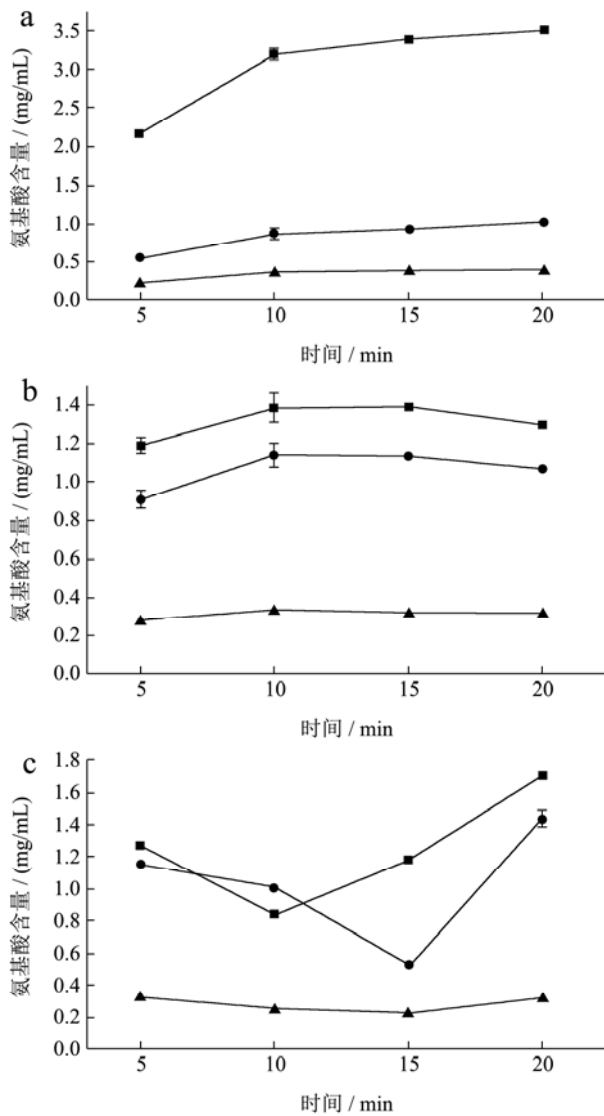


图2 游离氨基酸在灭菌过程中的变化

Fig.2 Changes of free amino acids during autoclaving

注: ■-甜味氨基酸: Gly+Ser+Thr+Ala; ●-鲜味氨基酸:

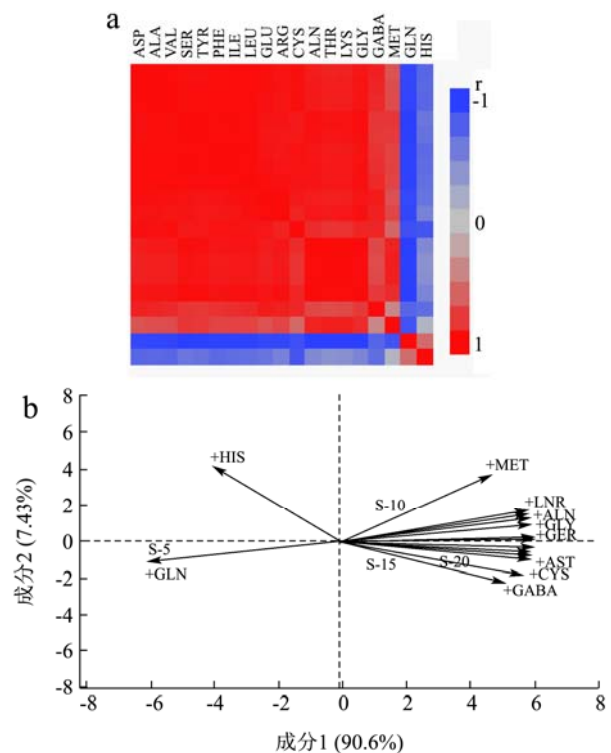
Asp+Glu; ▲-苦味氨基酸: His+Phe+Ile+Leu. a-甜玉米; b-糯玉米; c-常规玉米。

2.2.2 氨基酸变化的相关性分析

三种玉米汁中氨基酸变化的聚类相关性热图与主成分图谱见图3。19个氨基酸相关性分析共计算出171个相关系数,在甜玉米汁中达到显著相关的有86个,其中74个为正相关。His与Gln为正相关,His与其它17种氨基酸为负相关关系,但均未达显著水平;Gln则与12种氨基酸显著负相关。在糯玉米汁加热过程中有47对氨基酸表现为显著相关关系,其中负相关的有14对。糯玉米汁中氨基酸变化与甜玉米汁相似,Asp、Ala、Val、Ile、Leu、Glu两两显著正相关。不同的是Gln与His呈正相关但未达显著水平,并且Gln与Asp、Asn、Ser、Val、Ile五种氨基酸均呈显著负相关关系,His与Asp、Asn、Gly、Ser、Thr、Val、Ile、

Leu八种氨基酸呈显著负相关关系,另外Lys与Ala、GABA显著负相关,Phe与Ala及GABA显著正相关也与甜玉米不同。常规玉米汁中游离氨基酸变化表现出显著相关的较少,仅有19对,Asp与Ser、Ile、Leu,Lys与GABA显著正相关,与甜玉米和糯玉米一致,但是Glu与His未与任何氨基酸存在显著相关性。甜玉米汁中Cys与Asp、Ala、Val、Phe、Ile、Leu显著正相关,而在糯玉米汁中Cys未与其他氨基酸呈显著相关关系,并且除Gln、His、Ala外,与其他16种氨基酸均为负相关。甜玉米汁中氨基酸变化在聚类相关性热图上表现为深红色(显著正相关)为主(图3a),糯玉米汁中蓝色(负相关)分布较甜玉米汁广(图3c),而常规玉米汁中相关系数绝对值总体偏小(图3e),通过热图得到直观的展示。

甜玉米汁在灭菌过程中变化一致的游离氨基酸最多,通过相关性提取的主成分1解释了总方差的90.60%,样品在PC1上的得分按灭菌时间长短顺序排列,在PC1上为正值氨基酸有17个,为负值的只有2个(图3b);糯玉米汁中PC1解释了总方差的76.20%,在处理时间10~15 min变化较小(图3d),在PC1上为正值氨基酸有13个,为负值的有6个(图3d);而常规玉米汁的PC1与PC2分别解释了总方差的68.10%和22.50%,样品在PC2上按处理时间依次排列(图3f),在PC2上正值的氨基酸有10个,为负值的有9个(图3f)。对于甜玉米汁和糯玉米汁,PC1体现了游离氨基酸随时间变化为主要变化,而影响常规玉米汁中氨基酸含量变化的因素更为复杂。



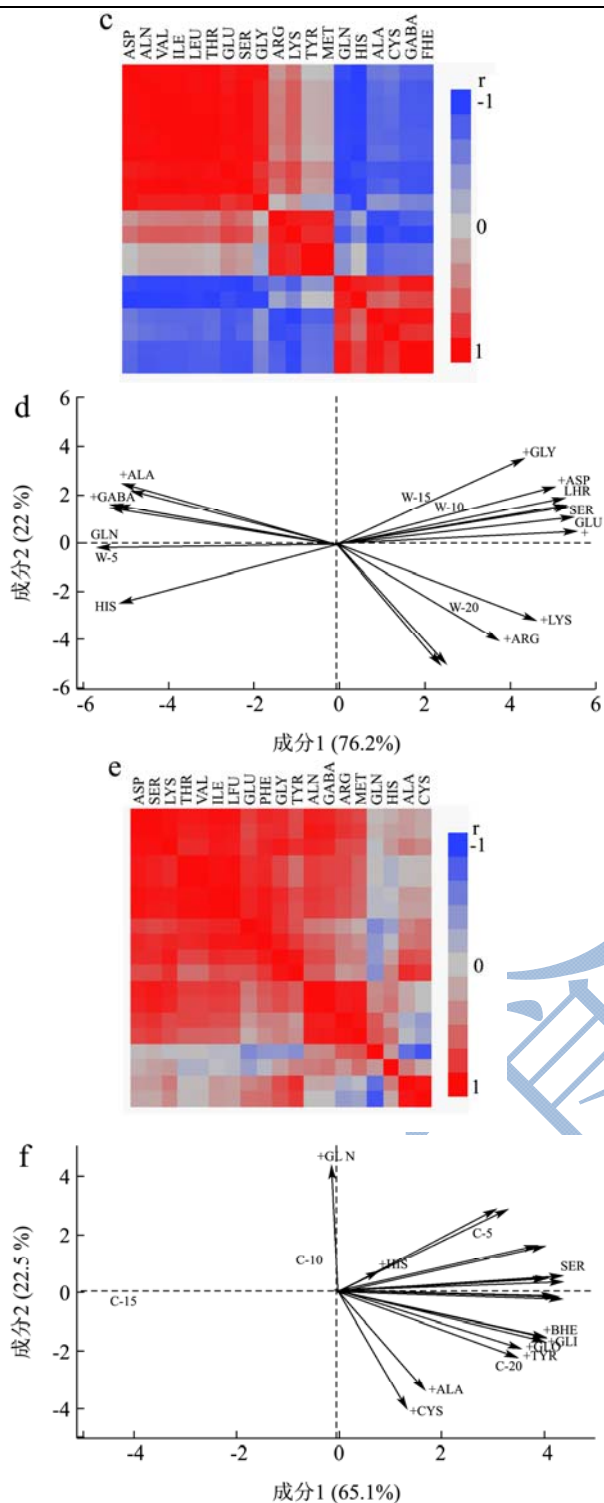


图3 玉米汁中19种游离氨基酸在灭菌过程中变化的相关性分析热图与主成分分析图

Fig.3 Correlation heatmap analysis and PCA profile of 19 free amino acids during antoclaving in corn juice

注: a、c、e: 相关性分析热图, b、d、f: 主成分分析图;

a、b: 甜玉米, c、d: 糯玉米, e、f: 常规玉米。

3 讨论

鲜食玉米糖的组成因品种和测定方法而有所不

同, 如超甜玉米 Jubilee 和 Bunker Hill 中蔗糖含量最高, Jubilee 中蔗糖为果糖和葡萄糖的 6.89 和 4.78 倍, Bunker Hill 中蔗糖则为果糖和葡萄糖的 11.47 和 10.14 倍^[20]。但是, 糯玉米(垦糯 1 号)中果糖和葡萄糖的含量远远高于蔗糖^[21], 另据测定^[22], 超甜玉米 Hz5008 的葡萄糖或果糖含量在授粉后 16 d 高于蔗糖, 而随后以蔗糖含量最高, 常规玉米中果糖含量最高。此次玉米汁中游离糖的测定结果与玉米籽粒的测定结果不同, 超甜玉米晶甜 5 号籽粒中蔗糖的含量分别为果糖和葡萄糖的 1.46 和 3.03 倍^[23], 而在甜玉米汁中为果糖和葡萄糖的 0.83~5.20 和 1.91~3.73 倍, 最大倍数均出现在灭菌 20 min 和灭菌 5 min 时。据报道蔗糖溶液中存在还原糖时, 受热沸腾时间过长将导致蔗糖和还原糖的破坏, 还原糖本身的热稳定性低于蔗糖, 在加热过程中易形成一些酸性混合物, 而这些酸性混合物作为催化剂将加速蔗糖的热降解^[24]。此研究中常规玉米汁中果糖和葡萄糖随时间延长依次下降, 在甜玉米汁和糯玉米汁中果糖的变幅最大, 体现了果糖和葡萄糖更易降解的特点。另外, 在甜玉米汁中, 三种糖均表现出先上升后下降的趋势, 可能说明在灭菌早期 (<10 min) 加热促进了游离糖的逸出, 而随后的下降趋势则可能说明糖的破坏成为主要作用。

在鲜食玉米游离氨基酸组成的报道中甜玉米中的游离氨基酸以丙氨酸或谷氨酸最高^[9,22], 糯玉米中游离氨基酸组成差别较大, 孟强等^[25]对 60 份糯玉米自交系中含量最高的氨基酸可能为 Glu、Asp 或 Tyr, 鲜味氨基酸占总游离氨基酸的 5.97%~47.36%, 甜味氨基酸为 4.85%~30.72%。甜味为甜玉米受欢迎的重要感官属性已有研究显示主要与糖的含量尤其是蔗糖含量相关^[10], 但氨基酸是否对玉米滋味的贡献仍不明确^[9]。据报道^[26], Asp、Glu、Ala 的感官阈值分别为 1.0 mg/mL、0.3 mg/mL、0.6 mg/mL, 本研究中三种玉米汁 Asp、Glu、Ala 的含量分别为 0.22~0.69 mg/mL, 0.25~0.79 mg/mL, 0.40~2.72 mg/mL, 灭菌 20 min 的常规玉米汁中 Glu 含量、甜玉米汁和糯玉米汁 Ala 含量均高于阈值, 而这些氨基酸是否对玉米汁鲜味与甜味相关仍待进一步分析。

游离氨基酸随灭菌时间变化的结果显示, 甜玉米汁和糯玉米汁游离氨基酸主要表现为随时间延长含量上升; 常规玉米汁则在灭菌 15 min 时显著下降后上升, 并高于灭菌 5 min 时。据报道^[27], 高温下不可避免的存在糖与氨基酸的美拉德反应, 如在大于 110 °C 时, 葡萄糖-甘氨酸溶液在中性体系中生成呋喃, 大于 120 °C 时, 蔗糖-甘氨酸也可以产生呋喃, 而形成糖和氨基酸的损耗, 并且其含量会随着温度与加热时间的

增加而升高。在此研究中,果糖与葡萄糖的下降表现较为明显,甜玉米汁和糯玉米汁中的果糖的变幅最大,常规玉米中果糖和葡萄糖则依次下降,而三种玉米汁中氨基酸的变化趋势与糖的变化并不一致,甚至大部分氨基酸表现出了上升趋势。这可能与玉米汁中的酚类物质^[28,29]、叶黄素^[30,31]等成分对糖和氨基酸的保护作用有关。另外,玉米汁来自于不同淀粉类型的玉米,根据表1中淀粉含量的数据计算,甜玉米中淀粉含量接近糯玉米的1/2,常规玉米的1/3,并且糯玉米与甜玉米和常规玉米不同,未检测出直链淀粉。不同的淀粉的水溶性、膨胀性、絮凝性等特性不同,而且灭菌过程使玉米汁中淀粉受热,吸水膨胀、破裂糊化,造成玉米汁的粘度以及糖、脂肪、蛋白、纤维素等成分分布不同^[32,33],并可能对糖与氨基酸的游离化与羰氨反应的进行的影响程度不同,使得三种玉米汁中糖和氨基酸变化趋势不尽相同。

4 结论

鲜食玉米汁中游离糖主要为蔗糖、果糖、葡萄糖,游离氨基酸主要为甜味氨基酸和鲜味氨基酸。甜玉米汁中的三种糖和常规玉米汁中的蔗糖在灭菌过程中均出现先下降后上升的趋势,而糯玉米汁和常规玉米汁中的果糖和葡萄糖则随灭菌时间延长下降。另外糯玉米汁中糖的组成与甜玉米和常规玉米不同,果糖和葡萄糖含量远高于蔗糖,为蔗糖的15.9~42.8倍。三种玉米汁中,甜玉米汁中甜味氨基酸比例最高,为总氨基酸61.80%~62.90%,糯玉米汁和常规玉米汁则分别为37.30%~41.10%和33.10%~53.0%。在高温灭菌过程中,在灭菌10 min后,三种类型玉米汁的总糖随时间均呈下降趋势,并以甜玉米汁和糯玉米汁中的果糖含量下降最为明显;而三种玉米汁中游离氨基酸的在灭菌过程中并未出现下降趋势,甚至在甜玉米汁和常规玉米汁中还表现出上升趋势。三种玉米汁中19种氨基酸在灭菌过程中的变化通过在相关性热图和主成分图上的聚散,得到形象直观的展示:甜玉米汁和糯玉米汁中有13个氨基酸含量随时间延长表现为上升趋势并显著相关,有2个氨基酸表现为先下降后上升的趋势;常规玉米汁中游离氨基酸变化表现出显著相关的较少。总体而言,游离糖和氨基酸在不同玉米汁中的变化所表现出的异同与其在不同的玉米汁体系中的热稳定性有关。

参考文献

[1] 杨洋.玉米饮料加工流程主要控制工艺条件探讨[J].食品科学,1998,19(3):32-33

- YANG yang. Discussion about the main procedure control during corn beverage processing [J]. Food Science, 1998, 19(3): 32-33
- [2] 邱晓颖.超甜玉米饮料的开发与研制[J].食品科学,1998,19(3):30-32
- QIU Xiao-ying. Super sweet corn beverage research and development [J]. Food Science, 1998, 19(3): 30-32
- [3] 罗永华.即食糯玉米的保鲜加工与贮藏关键技术研究[D].北京:中国农业科学院,2010
- LUO Yong-hua. Study on key technologies for preservation processing and storage of instant waxy corn [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Dissertation, 2010
- [4] 匡明,匡晓玉.甜玉米木瓜复合饮料的工艺研究[J].食品研究与开发,2015,36(5):59-63
- KUANG Ming, KUANG Xiao-yu. Sweet corn and study on the technology of compound beverage of papaya [J]. Food Research and Development, 2015, 36(5): 59-63
- [5] 程媛,刘忠义,吴继军,等.中性甜玉米饮料增稠剂的筛选及稳定性研究[J].热带作物学报,2017,38(8):1553-1559
- CHENG Yuan, LIU Zhong-yi, WU Ji-jun, et al. Screening and stability of neutral sweet corn beverage thickener [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2017, 38(8): 1553-1559
- [6] 王蔚瑜,周雪松,马桥康,等.甜玉米饮料稳定性的研究[J].中国食品添加剂,2016,20(1):109-113
- WANG Wei-yu, ZHOU Xue-song, MA Qiao-kang, et al. Study on the stability of sweet corn beverage [J]. China Food Additives, 2016, 20(1): 109-113
- [7] 李少华,龙娇妍,司俊娜,等.变性淀粉对玉米饮料稳定性的影响[J].食品与机械,2015,31(1):208-211
- LI Shao-hua, LONG Jiao-yan, SI Jun-na, et al. Effect of modified starch on stability of maize beverage [J]. Food and Machinery, 2015, 31(1): 208-211
- [8] Azanza F, Klein B P, Juvik J A. Sensory characterization of sweet corn lines differing in physical and chemical composition [J]. Journal of Food Science, 1996, 61(1): 253-257
- [9] Masuda R, Yamashita I, Kaneko K. Contents of taste-related components of sugars, organic acids and free amino acids in current sweet corn (*Zea mays* L.) kernels [J]. Journal of the Japanese Society for Food Science & Technology, 1997, 44(1): 23-30
- [10] Reyes F G, Varseveld G W, Kuhn M C. Sugar composition and flavor quality of high sugar (shrunken) and normal sweet corn [J]. Journal of Food Science, 1982, 47(3): 753-755
- [11] Boekel Van M A. Formation of flavour compounds in the

- Maillard reaction [J]. *Biotechnology Advances*, 2006, 24(2): 230-233
- [12] ZENG W W, LIU Y H, RONG-SHENG R, et al. Research progress in food safety issue caused by Maillard reaction [J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2011, 32(7): 447-446
- [13] ZHANG X, mishchuk D O, slupsky c M. Elevation, rootstock, and soil depth affect the nutritional quality of mandarin oranges [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(6): 2672-2679
- [14] Romano A, Masi P, Aversano R, et al. Microstructure and tuber properties of potato varieties with different genetic profiles [J]. *Food Chemistry*, 2018, 239: 789-796
- [15] HE F, QIAN Y L, QIAN M C. Flavor and chiral stability of lemon-flavored hard tea during storage [J]. *Food Chemistry*, 2017, 239: 622-630
- [16] Alves Filho E G, Almeida F D, Cavalcante R S, et al. ¹H NMR spectroscopy and chemometrics evaluation of non-thermal processing of orange juice [J]. *Food Chemistry*, 2016, 204: 102-107
- [17] GB 5009.3-2016 食品安全国家标准食品中水分的测定[S]
GB 5009.3-2016 National food safety standard determination of moisture in foods [S]
- [18] 林美娟,宋江峰,李大婧,刘春泉.用双波长分光光度法测定鲜食玉米中直链淀粉和支链淀粉含量[J].*江西农业学报*, 2010,22(12):117-119,123
LIN Mei-juan, SONG Jiang-feng, LI Da-jing. et al. Determination of amylose and amylopectin content in fresh corn by dual wavelength spectrophotometry [J]. *Acta Agriculture Jiangxi*, 2010, 22(12): 117-119, 123
- [19] Beluhan S, Ranogajec A. Chemical composition and non-volatile components of Croatian wild edible mushrooms [J]. *Food Chemistry*, 2011, 124(3): 1076-1082
- [20] Wong A D, Juvik J A, Breeden D C, et al. Shrunken sweet corn yield and the chemical components of quality [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1994, 119(4): 747-755
- [21] 修琳,刘景圣,蔡丹,等.鲜玉米中可溶性糖含量的测定[J].*食品科学*,2011,32(4):174-176
XIU Lin, LIU Jing-sheng, CAI Dan, et al. Determination of soluble sugar content in fresh corn [J]. *Food Science*, 2011, 32(4): 174-176
- [22] 白宝璋.甜玉米子粒氨基酸含量变化的研究[J].*辽宁农业科学*,1990,2:13-15
BAI Bao-zhang. Variation of amino acid content in the grains of sweet corn [J]. *Liaoning Agricultural Sciences*, 1990, 2: 13-15
- [23] 马玉玲,牛丽影,李大婧,等.甜玉米中游离糖及游离氨基酸的 HPLC 测定[J].*江苏农业科学*,2016,44(3):300-302
MA Yu-ling, NIU Li-ying, LI Da-jing, et al. Determination of free sugars and amino acids in sweet corn using HPLC [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2016, 44(3): 300-302
- [24] 张义明.还原糖和无机盐对蔗糖热稳定性的影响研究[J].*贵州工学院学报*,1995,22(2):42-45,80
ZHANF Yi-ming. The influence of reduced sugar and inoganicsalts on thermal stability of sucrose [J]. *Journal of Guizhou Institute of Technology*, 1995, 22(2): 42-45, 80
- [25] 孟强,王薪淇,宋轶群,等.糯玉米自交系中游离氨基酸的组成及含量分析[J].*西北农林科技大学学报(自然科学版)*, 2015,43(3):91-97,104
MENG Qiang, WANG Xin-qi, SONG Yi-qun. Composition and content analysis of free amino acid in waxy maize inbred lines [J]. *Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition)*, 2015, 43(3): 91-97, 104
- [26] Kato H, Rhue M R, Nishimura T. Role of free amino acids and peptides in food taste [J]. *ACS Symposium*, 1989, 388(1): 158-174
- [27] 张雅楠,黄军根,聂少平,等.3 种常见糖类-氨基酸模型产生呋喃的影响因素研究[J].*食品科学*,2013,34(21):1-4
ZHANG Ya-nan, HUANG Jun-gen, NIE Shao-ping, et al. Some factors affecting the formation of furan from three sugar-glycine model systems [J]. *Food Science*, 2013, 34(21): 1-4
- [28] Dewanto V, Wu X, Liu R H. Processed sweet corn has higher antioxidant activity [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50(17): 4959-4964
- [29] 王明福,滕静.多酚类化合物在食品热加工中的化学与生物活性变化及其对食品品质的影响[J].*中国食品学报*,2017, 17(6):1-12
WANG Ming-fu, TENG Jing. The impact of thermal processing on chemical change and bioactivity of polyphenols in food and the effect of polyphenols' addition on food qualities [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2017, 17(6): 1-12
- [30] Kurilich A C., Juvik J A. Quantification of carotenoid and tocopherol antioxidants in *Zea mays* [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 1999, 47, 1948-1955
- [31] 张莹.番茄红素及叶黄素对糖基化反应的抑制研究[D].*沈阳农业大学*,2016
ZHANG Ying. Study on inhibition of advanced glycation

- endproducts in food process by lycopene and lutein [D].
Shenyang: Shenyang Agricultural university, 2016
- [32] Achayuthakan P, Suphantharika M. Pasting and rheological properties of waxy corn starch as affected by guar gum and xanthan gum [J]. Carbohydrate Polymers, 2008, 71(1): 9-17
- [33] 张海艳,高荣岐,董树亭,等.不同类型玉米发育过程中淀粉糊化特性的比较[J].中国粮油学报,2010,25(9):13-16
- ZHANG Hai-yan, GAO Rong-qi, DONG Shu-ting, et al. Comparison of starch pasting property in seed development of different maize types [J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2010, 25(9): 13-16

现代食品科技