

不同贮藏温度及包装条件对乌天麻干片挥发性气味的影响

刘莹¹, 王瑞^{1*}, 魏小林¹, 刘泰宇¹, 李莹¹, 孙海燕²

(1. 贵阳学院 食品科学与工程学院, 贵州 贵阳 550005; 2. 陕西理工大学 生物科学与工程学院, 陕西 汉中 723000)

摘要: 采用电子鼻及吹扫捕集-气相色谱-质谱联用技术(purge and trap-gas chromatography-mass spectrometry, PT-GC-MS)分析 3 个贮藏温度(10、25、40 °C)及 4 种包装条件(空气、N₂、CO₂、脱氧)对乌天麻干片的挥发性气味的影响。结果表明:在 120 d 的贮藏期内,不同温度及包装下的乌天麻干片挥发性气味存在一定的差异。温度是影响贮藏期乌天麻干片挥发性气味最主要的因素,低温更有利于保持乌天麻干片挥发性成分。其次是包装条件,在同一温度条件下,脱氧处理更有利于保持乌天麻干片的挥发性气味。随着贮藏时间的延长,不同温度及包装条件下,乌天麻干片中挥发性物质在种类和含量上均发生变化,在 120 d 贮藏期内,10 °C 脱氧处理组共检测出挥发性成分 29 种,总含量为 214.52 μg/g,醇类占总挥发性成分的 54%;酯类占总挥发性成分的 14%;烷烃类占总挥发性成分的 10%;与对照组的挥发性成分最为接近。综上所述,10 °C 脱氧包装为乌天麻干片最佳贮藏条件,在该条件下贮藏,乌天麻干片的风味成分损失最小,可在较长贮藏期内有效保留乌天麻干片的风味成分。

关键词: 乌天麻干片;贮藏条件;电子鼻;吹扫捕集-气相色谱-质谱联用;挥发性成分

Effect of Different Storage Temperatures and Packing Conditions on Volatile Components of Dried *Gastrodia elata* Slices

LIU Ying¹, WANG Rui^{1*}, WEI Xiaolin¹, LIU Taiyu¹, LI Ying¹, SUN Haiyan²

(1. College of Food Science and Engineering, Guiyang University, Guiyang 550005, Guizhou, China; 2. Biological Science and Engineering, Shaanxi University of Technology, Hanzhong 723000, Shaanxi, China)

Abstract: The electronic nose and purge and trap-gas chromatography-mass spectrometry (PT-GC-MS) were used to analyze the effect of three storage temperatures (10, 25, 40 °C) and four packaging conditions (air, N₂, CO₂, deoxygenation) on the volatile odor of *Gastrodia elata* slices. The results indicated that during the 120 d storage period, there were some differences in the volatile odor of dried *G. elata* slices under different temperatures and packing conditions. Temperature is the most important factor affecting the volatile odor of dried *G. elata* slices in the storage period, and low temperature is more favorable for preserving the volatile components of dried *G. elata* slices. The secondary factor is the packaging conditions, and under the same temperature, deoxygenation treatment is more conducive to maintaining the volatile odor of dried *G. elata* slices. With the extension of storage time, the types and contents of volatile components in dried *Gastrodia elata* slices have changed under different temperatures and packaging conditions. During the 120 d storage period, the deoxygenation treatment at 10 °C detected 30 volatile components with a total content of 214.52 μg/g, where alcohols account for 54% of the total volatile components, esters for 14%, alkanes for 10%, close to the volatile content in the control group. Therefore, deoxygenation packaging at 10 °C is the optimal storage condition for dried *G. elata* slices, preserving their flavor components with minimal loss, and allowing for effective retention over an extended storage period.

Key words: dried *Gastrodia elata* slices; storage conditions; electronic nose; purge and trap-gas chromatography-mass spectrometry (PT-GC-MS); volatile components

基金项目:贵州省创新平台建设计划项目(黔科中引地[2020]4018号);贵州省科技厅基础研究计划项目(黔科合基础[2019]1013号)

作者简介:刘莹(1985—),女(汉),副教授,硕士研究生,研究方向:天然产物活性研究、农产品贮运加工。

*通信作者:王瑞(1979—),男(汉),教授,博士,研究方向:农产品采后生理与贮运。

引文格式:

刘莹,王瑞,魏小林,等.不同贮藏温度及包装条件对乌天麻干片挥发性气味的影响[J].食品研究与开发,2024,45(5):114-121.

LIU Ying, WANG Rui, WEI Xiaolin, et al. Effect of Different Storage Temperatures and Packing Conditions on Volatile Components of Dried *Gastrodia elata* Slices[J]. Food Research and Development, 2024, 45(5): 114-121.

乌天麻(*Gastrodia elata*)又名赤箭芝、离母、合离草等,为兰科天麻属(*Gastrodia*)多年生草本植物,其干燥块茎为名贵中药材^[1]。天麻临床上可用于治疗疼痛眩晕、肢体麻木、癫痫、高血压等^[2],具有极高的药用和食用价值。

作为贵州种植规模排名前十的中药材,至2021年9月底,贵州省林下仿野生乌天麻种植面积188.7 km²,规模居全国第一,乌天麻种植覆盖了贵州66个县(区市),其中大方、德江、雷山、汇川、七星关、黎平、镇远7个县(区)为乌天麻的主要种植区。目前国内外对于乌天麻的研究主要集中在乌天麻的生物活性成分研究及药理作用的研究^[3-5],乌天麻块茎具有类似“马尿臭”的特殊气味,并且“马尿臭”挥发性成分常作为乌天麻重要的鉴别特征,但对乌天麻挥发性成分的研究报道较少。卢义龙^[6]采用蒸馏萃取和气相色谱-质谱联用法分析天麻粉的挥发性风味,主要包括10种烷类化合物、7种醛类化合物、1种酯类化合物、3种醇类化合物,其中,首次检出具有硫化物异臭味的二甲基二硫醚。黄名正等^[7]采用气相色谱-质谱联用(simultaneous distillation extraction-gas chromatography-mass spectrometry, SDE-GC-MS)法分析天麻粉挥发性成分的种类及含量,结果表明:天麻中的2,3,5,6-四甲基吡嗪具有发霉味,认为2,3,5,6-四甲基吡嗪可能是引起天麻“马尿臭”气味的主要成分。Sang等^[8]采用顶空气质联用法分析3种不同干燥法(热空气干燥法、冷冻干燥法、阴凉干燥法)制备的干天麻挥发性成分,共确认91种挥发性成分,其中酸类成分含量最高,且十六烷酸、十六烯酸、肉桂醇、十四烯酸在不同样品组中含量差异较大。鲜乌天麻极易受到外界温度、湿度、光照、贮藏时间、微生物等因素影响,在贮藏期间易发生变色、变味、变形、虫蛀等变质现象^[9]。贮存不当会使乌天麻挥发性成分减少^[10],与鲜乌天麻和乌天麻粉相比,乌天麻干片储存期长,无需粉碎加工,环境要求低,不受乌天麻原料供应的“空窗期”(4月至同年9月)影响,可有效避免因鲜乌天麻贮藏产生的变质而带来的损失。

传统的农产品贮藏方法有自然通风法、干燥法、密封法、化学熏蒸法等^[11],随着工业技术的不断发展,涌现出许多新的贮藏技术,如低温冷藏技术,具有操作简单、便于管理的特点,特别适用于受热易变质的农产品贮藏;气体微环境贮藏技术又称气调贮藏技术,其原理

是通过采用在密封袋中充入N₂或CO₂,从而降低贮藏环境中的氧气含量,可有效防止农产品或中药材变色、气味散失、虫蛀、走油、霉菌杂菌污染^[12]。气调贮藏技术具有操作简便、成本低、无毒、无溶剂残留等优点。在国内外农产品贮藏保鲜研究中已见相关报道^[13]。陈娜等^[14]分别采用敞口包装、真空包装、气调包装法处理甘肃康县天麻,并在低温条件下贮藏42 d,期间每隔7 d测定天麻的失重率、天麻素、对羟基苯甲醇、丙二醛的含量、多酚氧化酶活性,结果表明,各处理组的失重率均低于5%,所含天麻素、对羟基苯甲醇总量(以干燥品计)均高于2015版《中国药典》对天麻素、对羟基苯甲醇总量(以干燥品计)不得少于0.25%的要求。该研究中采用3种包装方式,结果显示,气调包装可以形成低O₂高CO₂的环境,与其他包装相比,气调包装更有利于天麻中有效成分的减少,可抑制丙二醛的积累、抑制多酚氧化酶活性的上升、延长鲜天麻的贮藏期。

目前,陕西、贵州、湖北、云南的天麻主产区的乌天麻主要以低温(4~10℃)密封方式存储,虽效果较好,但存在能耗高的弊端。传统的农产品挥发性成分主要采用感官评价与气相色谱-质谱(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)相结合的分析方法,易产生主观性强、重复性差等问题,而影响对样品的准确分析^[15]。电子鼻技术及吹扫捕集法具有对样品挥发性成分进行无损、快速检测、前处理简单等优点,在农产品挥发性成分的检测中得到广泛应用。而贮藏温度及包装条件对于乌天麻干片挥发性气味的影响及电子鼻、吹扫捕集-气相色谱-质谱联用技术在乌天麻干片挥发性成分方面鲜见文献报道。本研究通过设置3个不同贮藏温度(10、25、40℃)及4个包装条件(空气、N₂、CO₂、脱氧)^[16-17],考察不同贮藏条件对乌天麻干片挥发性气味的影响;并通过电子鼻结合吹扫捕集-GC-MS联用法^[18-19]检测分析乌天麻干片在不同条件下的气味变化规律,探索最佳的乌天麻干片的贮藏条件,以期对乌天麻干片的合理贮存、品质评价提供相应的理论依据和技术参考。

1 材料与方法

1.1 材料

乌天麻采自贵州省毕节市大方县乌蒙菌业有限公司种植基地。鲜乌天麻采后清洗,在沸水中煮10 min,

冷却后切成厚度为5 mm的薄片,50℃烘干24 h,即得乌天麻干片,测得水分含量为12.34%,符合2020版《中国药典》对干天麻水分含量不得超过15.0%的标准。

1.2 仪器与设备

PEN3 电子鼻:德国 AIRENSE 公司;7890A-5795C GC-MSD 气相色谱-质谱联用仪:美国 Agilent 公司;Atomx 自动吹扫捕集装置:美国 Tekmar 公司。

1.3 方法

1.3.1 乌天麻干片样品预处理

将乌天麻干片装入尼龙真空袋中。每袋装样品10片,每处理组封装45袋,共设13个试验组。分别采用以下方法进行包装:100%N₂、100%CO₂、空气、放入脱氧剂。N₂和CO₂充气组经抽真空、充气2次后热封;空气组直接热封;脱氧组放入脱氧剂后热封。所有处理组均使用封口胶将样品真空袋四边密封。所有样品分别贮藏在10、25、40℃环境中120 d,每组样品从第60天开始,每隔30 d各取5袋测定乌天麻干片挥发性成分。

1.3.2 电子鼻测定方法

将乌天麻干片从贮藏环境中取出,放入40 mL棕色顶空进样瓶中,在25℃培养箱中静置20 min后取出,进行电子鼻检测分析。将进样针插入进样瓶中进行测定。测定条件:传感器清洗时间220 s、自动调零时间10 s、样品准备时间5 s、样品测试时间200 s,样品测定间隔时间3 s、内部流量300 mL/min、进样流量300 mL/min,每组样品平行测定5次。为保证测定数据的稳定性和精密度,每次测试前后,传感器都要进行清洗和调零^[20]。PEN3型电子鼻包括10个金属氧化物传感器阵列,传感器阵列及其性能描述见表1。

表1 PEN3型电子鼻标准传感器阵列与性能描述

Table 1 Standard sensor arrays and performance specification of electronic nose PEN3

序号	传感器名称	性能描述
1	W1C	对芳香型化合物灵敏
2	W5S	对氮氧化合物很灵敏
3	W3C	对氨水、芳香成分灵敏
4	W6S	对氢气有选择性
5	W5C	对烷烃、芳香型成分灵敏
6	W1S	对烷类成分灵敏
7	W1W	对含硫化物灵敏
8	W2S	对醇类成分灵敏
9	W2W	对芳香成分和有机硫化物灵敏
10	W3S	对甲烷高度灵敏

1.3.3 吹扫捕集方法

参考黄名正等^[7]的方法,以10 μL/L的1,2-二氯苯为内标物,每组称取乌天麻干片1.0 g,加入1 μL内标

物,放入40 mL棕色顶空进样瓶中,进行吹扫捕集-气相色谱-质谱联用技术检测。

吹扫气体高纯He,吹扫温度25℃,吹扫样品时间5 min,吹扫流量20 mL/min,烘烤温度220℃,烘烤时间20 min,脱附温度250℃,脱附时间2 min。

1.3.4 色谱条件

色谱条件参考黄名正等^[7]的方法。

GC条件:DB-624(30 m×250 μm×1.4 μm)色谱柱,载气为氦气(纯度99.999%);柱流速1.0 mL/min,柱子初始温度为40℃,保持4 min,以5℃/min升温速率升至100℃并保持2 min,再以10℃/min升温至220℃并保持10 min。

MS条件:电子轰击电离源,电子能量70 eV,电子源温度230℃,接口温度280℃,扫描模式:全扫描,质量扫描范围(m/z)为40~400。

1.4 数据处理

采用电子鼻Winmuster分析软件,运用主成分分析(principal component analysis, PCA)、负荷加载分析(loadings analysis, LA)对数据进行分析,并采用Origin 2017作图;吹扫捕集-气相色谱-质谱联用法采集的数据通过NIST/Wiley标准谱库检索,结合文献中的标准谱图,确认其化学结构,通过计算目标物和内标物峰面积的比值,计算出挥发成分相对于内标物的含量^[21]。

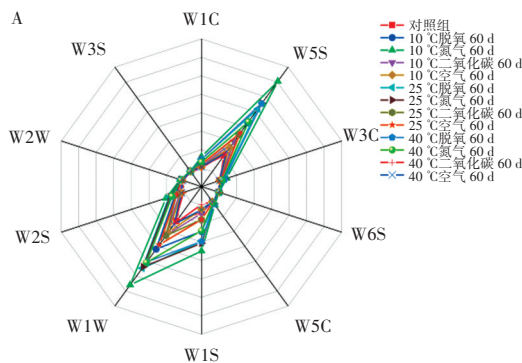
2 结果与分析

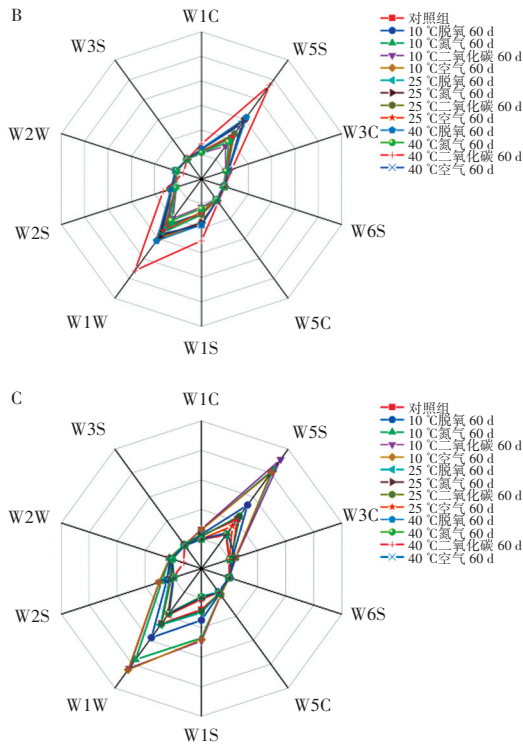
2.1 基于电子鼻对乌天麻干片贮藏期的挥发性成分的分析

2.1.1 乌天麻干片在不同贮藏条件下挥发性成分电子鼻雷达图分析

图1为乌天麻干片在不同贮藏条件下挥发性成分的电子鼻雷达图。

由图1A可知,贮藏60 d时,不同贮藏条件下各处理组乌天麻干片的挥发性气味存在一定的差异,所测样品的挥发性成分主要集中在W1W、W1S、W5S传感器,其余传感器的响应值较小,说明样品中含有较多硫化物、氮氧化合物、烷类化合物。由图1B可知,贮藏





A. 贮藏 60 d; B. 贮藏 90 d; C. 贮藏 120 d。

图 1 乌天麻干片电子鼻响应值雷达图

Fig. 1 Radar chart of electronic nose response value of dried *Gastrodia elata* slices

90 d 时,不同贮藏条件下各处理组乌天麻干片的挥发性气味仍存在一定的差异,其中 10 °C 脱氧贮藏与对照组的挥发性成分较为接近;而同样处理条件下温度为 40 °C 时的响应值轮廓与对照组具有较大差异,表明温度越高,干片挥发性成分变化越大。所测样品的挥发性成分仍然主要集中在 W1W、W1S、W5S 传感器,W5C 传感器的响应值有所增大,说明硫化物、氮氧化合物、烷类化合物为天麻干片中主要的挥发性成分。由图 1C 可知,120 d 时,各组乌天麻干片的挥发性成分响应值轮廓进一步发生变化,各处理组乌天麻干片的挥发性气味的差异增大。在 120 d 贮藏期内,10 °C 脱氧包装为乌天麻干片最佳贮藏条件,在此条件下,乌天麻干片的风味成分损失最小。

2.1.2 乌天麻干片在不同贮藏条件下挥发性成分 PCA 分析

各处理组乌天麻干片的主成分分析结果见图 2。

由图 2 可知,第一主成分的贡献率为 73.0%,第二主成分的贡献率为 9.5%,第一、第二总贡献率为 82.5%,表明这两个主成分可以较好地反映不同贮藏条件下乌天麻干片挥发性成分特征。当温度较高时,同种包装条件样品组之间的距离增大,在 40 °C 时即使是脱氧条件下,样品组距对照组也较远,且随着贮藏时间延长,样品组距离对照组也随之变大,说明即使在惰性

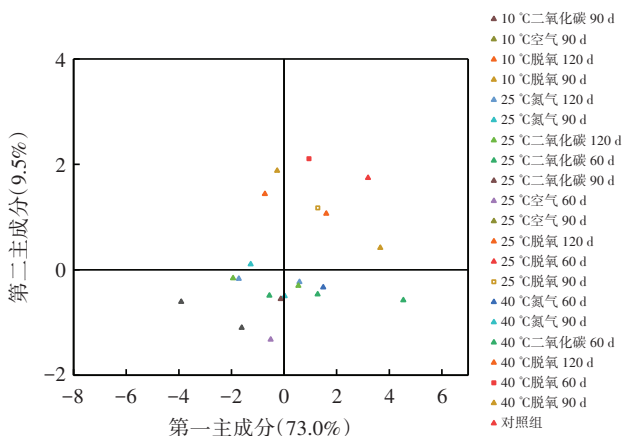


图 2 电子鼻测定不同贮藏条件下乌天麻干片的 PCA 分析

Fig.2 PCA analysis of dried *Gastrodia elata* slices under different storage conditions determined by electronic nose

气体环境中,高温仍会加速乌天麻干片挥发性气味变化,且贮藏时间越长,挥发性气味变化越大。

由 PCA 分析可知,温度是影响贮藏期乌天麻干片挥发性气味最主要的因素,其次是包装条件,在同一温度条件下,脱氧处理更有利于保持乌天麻干片的挥发性气味,空气处理组的样品普遍与其他气体处理组的样品挥发性成分有差别,且储存时间越长差别越明显。这些结果与电子鼻雷达图响应值相吻合。10 °C 结合脱氧处理为乌天麻干片最佳贮藏条件,可在贮藏期内较好地保持乌天麻干片的挥发性气味。

2.2 不同贮藏条件下的乌天麻干片挥发性成分比较及差异分析

利用吹扫捕集-GC-MS 测定乌天麻干片在不同包装条件下,对照组和 120 d 时的挥发性成分及含量结果见表 2。

由表 2 可知,所有乌天麻干片样品组共检测鉴定出挥发性成分 32 种,共有 8 类挥发性成分,其中酮类 2 种、醛类 5 种、烯烃类 2 种、酸类 1 种、醇类 6 种、酯类 4 种、烷烃类 8 种、其他 4 种。其中醇类、酯类和烷烃类物质由于含量较高,是乌天麻干片中主要的挥发性成分;二甲基二硫醚,虽含量较低,不是主要的挥发性物质,但其具有“马尿臭”特殊气味,是乌天麻干片中的风味物质。

酮类化合物主要来自氨基酸降解、多不饱和脂肪酸的氧化或热降解、微生物氧化^[22],多数的酮类物质具有清香气味,香味较为特殊持久。本次试验共检测出 2 种酮类化合物,为丙酮和 4-羟基-2-丁酮。由表 2 可知,对照组样品中仅测得丙酮,含量为 12.11 μg/g,占总挥发性成分的 3.3%;随着贮藏时间延长,酮类物质总含量有所增加,至 120 d 时,40 °C 空气处理组的酮类含量达到最大值 62.55 μg/g,占总挥发性成分的 40%。

醛类化合物主要来源于不饱和脂肪酸氧化后形成

表 2 天麻干片贮藏对照组和 120 d 挥发性成分的 GC-MS 分析结果

Table 2 GC-MS results of volatile components in dried *Gastrodia elata* slices of control group and 120 d storage group

编号	保留 时间/ min	化合物	含量/(μg/g)												
			对照组	10 ℃ CO ₂	25 ℃ CO ₂	40 ℃ CO ₂	10 ℃ N ₂	25 ℃ N ₂	40 ℃ N ₂	10 ℃ 空气	25 ℃ 空气	40 ℃ 空气	10 ℃ 脱氧剂	25 ℃ 脱氧剂	40 ℃ 脱氧剂
醇类															
1	4.23	叔丁醇	20.12	10.32	9.25	7.01	11.00	9.38	6.85	4.25	3.88	3.05	12.21	9.52	6.20
2	4.44	2,4-二甲基-2-戊醇	58.25	20.38	17.29	10.05	25.15	15.20	10.82	15.02	9.54	7.23	29.14	20.05	15.89
3	7.70	异丁醇	28.42	12.30	8.44	4.09	13.85	9.26	5.05	4.08	-	-	10.05	7.25	3.02
4	9.09	正丁醇	40.21	18.35	11.89	8.92	17.05	12.48	7.07	8.22	4.07	1.80	20.08	16.81	10.25
5	13.08	戊醇	66.44	20.88	16.15	9.84	22.35	17.08	10.12	12.85	7.74	3.08	25.50	18.37	10.19
6	20.26	2-丁基-1-辛醇	35.44	12.60	10.88	8.35	11.89	9.05	8.27	2.10	-	-	18.25	12.07	8.42
酮类															
7	3.41	丙酮	12.11	23.52	28.19	34.07	25.04	28.25	38.11	45.25	48.19	53.00	21.08	24.19	36.27
8	5.31	4-羟基-2-丁酮	-	6.08	6.99	8.83	6.59	7.28	9.04	7.95	8.11	9.55	1.05	1.83	3.88
酯类															
9	5.43	乙酸甲酯	2.85	1.85	1.52	1.34	1.98	1.37	1.02	1.73	1.58	1.20	1.95	1.50	1.21
10	20.33	棕榈酸甲酯	8.10	6.20	5.18	4.72	6.13	5.00	4.07	5.63	4.28	4.00	6.52	5.24	4.05
11	21.58	棕榈酸乙酯	17.14	12.38	11.15	8.78	11.98	10.73	9.05	12.38	10.05	8.33	13.11	12.86	8.99
12	22.36	硬脂酸甲酯	12.28	6.82	6.17	4.26	6.54	5.97	4.08	8.97	6.15	5.23	8.21	8.01	6.98
醛类															
13	3.29	异戊醛	-	0.85	0.92	-	0.73	0.90	-	1.98	2.02	2.49	1.25	1.58	1.99
14	9.68	戊醛	3.26	6.84	7.03	8.69	6.92	7.05	8.94	9.36	10.11	10.45	6.38	6.94	7.24
15	13.77	己醛	4.51	8.28	9.11	9.89	7.98	8.65	9.21	15.89	17.28	19.31	6.30	7.05	7.28
16	14.56	庚醛	2.20	5.88	6.32	8.01	5.20	5.84	7.02	8.09	9.28	10.32	4.55	5.08	5.69
17	17.25	壬醛	2.86	4.86	6.02	7.89	5.05	5.92	6.78	8.99	10.11	10.85	4.45	5.87	7.08
烯烃类															
18	19.21	α-蒎烯	2.52	0.21	-	-	0.18	-	-	-	-	-	0.52	-	-
19	21.38	柠檬烯	2.17	0.38	-	-	0.25	-	-	-	-	-	0.40	-	-
烷烃类															
20	2.83	正戊烷	6.38	3.98	3.05	2.88	3.71	3.19	2.72	1.05	0.88	0.56	3.98	2.76	1.98
21	8.37	庚烷	3.21	0.95	0.80	0.62	0.86	0.75	0.58	0.54	-	-	1.08	1.12	1.25
22	12.32	3-乙基己烷	1.80	0.83	0.62	-	0.75	0.50	-	0.88	0.72	-	0.95	0.82	-
23	20.20	3,3-二甲基己烷	2.91	1.08	0.81	0.47	0.97	0.61	0.33	-	-	-	1.05	0.64	-
24	20.27	癸烷	28.25	12.58	10.97	8.41	13.17	10.20	8.03	6.51	5.01	3.87	12.68	10.17	8.11
25	23.01	十一烷	1.98	0.22	-	-	0.18	-	-	-	-	-	0.45	-	-
26	25.08	十二烷	1.09	0.15	-	-	0.20	-	-	-	-	-	0.27	-	-
27	26.18	十四烷	0.86	0.11	-	-	0.15	-	-	-	-	-	0.20	-	-
酸类															
28	28.13	亚油酸	2.89	2.85	2.79	2.80	2.66	2.71	2.90	2.21	2.53	2.44	2.01	1.95	2.28
其他															
29	11.82	二甲基二硫醚	0.28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	19.28	正辛基醚	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	20.55	2-正戊基呋喃	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	36.21	角鲨烯	1.85	0.65	0.58	-	0.77	0.68	-	0.32	-	-	0.85	0.58	0.21

注:-表示未检出。

过氧化物的裂解。所有试验组共检出5种醛类,分别为戊醛、异戊醛、己醛、庚醛、壬醛,己醛具有青香和果香,0 d时,醛类物质总含量为12.83 $\mu\text{g/g}$,占总挥发性成分的3.5%;其在乌天麻干片中的相对含量较低,并不是乌天麻干片中主要的挥发性成分。随着保存时间的延长,醛类化合物含量也有所增加,贮藏120 d时,40 $^{\circ}\text{C}$ 空气组条件下含量最高,达到了53.42 $\mu\text{g/g}$,占总挥发性成分的34%,远高于0 d的醛类物质含量,说明此时乌天麻干片的挥发性成分已发生明显改变。

乌天麻干片中主要含有两种烯烃类物质, α -蒎烯和柠檬烯, α -蒎烯具有“青草”香气^[23],柠檬烯具有强烈宜人的香气,均具有一定的药物功效,与乌天麻的药用功效有关。0 d时,烯烃类物质总含量为4.69 $\mu\text{g/g}$,占总挥发性成分的1.3%;含量较低,且随着贮存时间的延长,至120 d,仅在10 $^{\circ}\text{C}$ CO_2 、10 $^{\circ}\text{C}$ N_2 、10 $^{\circ}\text{C}$ 脱氧剂3个处理条件下,可检测出两种烯烃物质,且均远低于0 d的烯烃类化合物含量。因此,烯烃类物质并不是乌天麻干片主要的挥发性成分。

乌天麻干片中检测出的亚油酸是一种必需脂肪酸,可降低血液胆固醇,预防动脉粥样硬化^[24-25]。0 d时,亚油酸总含量为2.89 $\mu\text{g/g}$,占总挥发性成分的0.8%;各处理样品组亚油酸总含量与0 d差异并不明显。

不同温度及包装条件对乌天麻干片主要挥发性成分的影响见图3~图6。

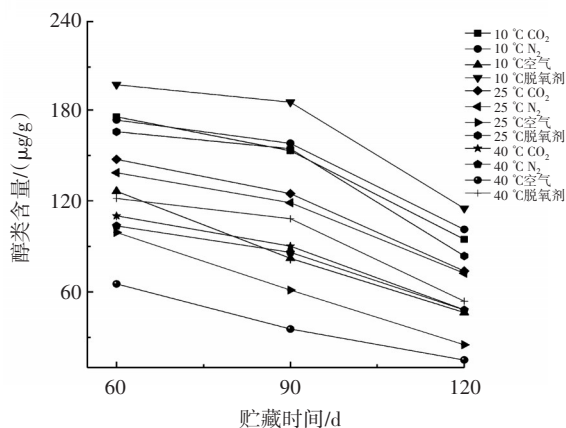


图3 不同温度及包装条件对乌天麻干片醇类物质的影响

Fig.3 Effect of different temperatures and packaging conditions on alcohols in dried *Gastrodia elata* slices

醇类物质主要来源于农产品中碳水化合物的生化代谢及脂肪的氧化或糖基化合物的还原,绝大部分的醇类都具有特殊的香气^[26]。由表2可知,所检出的醇类化合物为乌天麻干片中最主要的挥发性成分之一,共有6种醇类,分别为叔丁醇、正丁醇、2,4-二甲基-2-戊醇、异丁醇、戊醇、2-丁基-1-辛醇。0 d时,醇类物质总含量为248.88 $\mu\text{g/g}$,占总挥发性成分的67%。由图3可知,随着贮藏时间延长,醇类物质总含量都呈现下降的趋

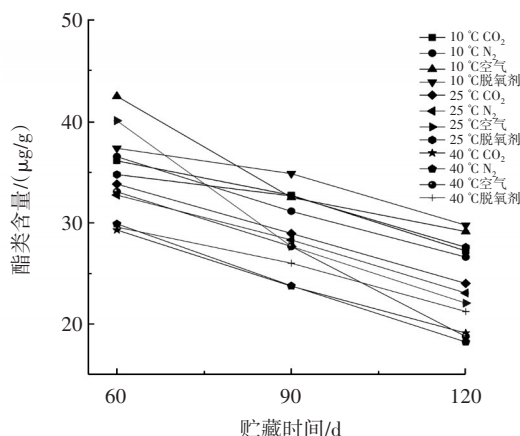


图4 不同温度及包装条件对乌天麻干片酯类物质的影响

Fig.4 Effect of different temperatures and packaging conditions on esters in dried *Gastrodia elata* slices

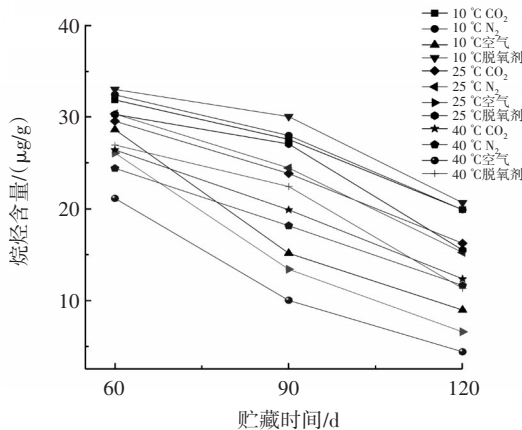


图5 不同温度及包装条件对乌天麻干片烷烃类物质的影响

Fig.5 Effect of different temperatures and packaging conditions on alkanes of dried *Gastrodia elata* slices

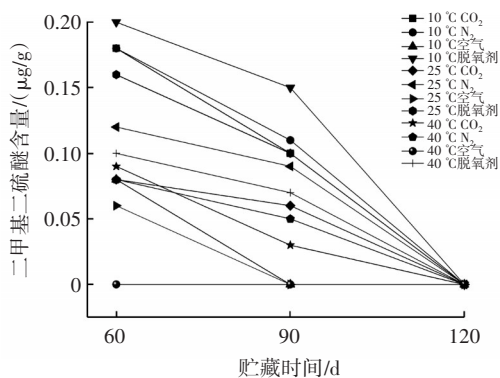


图6 不同温度及包装条件对乌天麻干片二甲基二硫醚的影响

Fig.6 Effect of different temperatures and packaging conditions on dimethyl disulfide in dried *Gastrodia elata* slices

势。至贮藏末期(120 d)时,各处理组醇类物质均降至最低值,其中10 $^{\circ}\text{C}$ 脱氧处理组的乌天麻干片的醇类含量最高,为115.23 $\mu\text{g/g}$,占比54%,40 $^{\circ}\text{C}$ 空气处理组的醇类含量最低,为15.16 $\mu\text{g/g}$,占比仅为9.7%。

酯类物质一般是由发酵或者脂质代谢生成的羧酸和醇酯化后的产物,棕榈酸甲酯、棕榈酸乙酯具有油脂味^[27]。结合表2可知,共检测出4种酯类,分别为乙酸甲酯、棕榈酸甲酯、棕榈酸乙酯、硬脂酸甲酯。由图4可知,随着贮藏时间延长,酯类物质总含量呈现降低的趋势。0 d时,酯类物质总含量为40.37 $\mu\text{g/g}$,占总挥发性成分的11%;而120 d时,40 $^{\circ}\text{C}$ 各处理组含量均降幅超过50%,说明高温不利于保持乌天麻干片的挥发性成分。

烃类化合物可由类胡萝卜素降解、烷基自由基脂质自氧化产生,大部分烃类物质香气较弱或无气味^[28]。结合表2可知,共检测出烷烃类8种,分别为正戊烷、庚烷、3-乙基己烷、3,3-二甲基己烷、癸烷、十一烷、十二烷、十四烷。0 d时,烷烃类物质总含量为46.48 $\mu\text{g/g}$,占总挥发性成分的12.5%;由图5可以看出,随着贮藏时间的延长,烷烃类含量有不同程度的减少,到达120 d,40 $^{\circ}\text{C}$ 空气组条件下含量最低,仅为4.43 $\mu\text{g/g}$ 。

二甲基二硫醚具有硫化物特有的异味^[6],由图6可知,在120 d内,随着贮藏时间的延长,二甲基二硫醚含量大幅减少,由表2可知,0 d时,二甲基二硫醚含量为0.28 $\mu\text{g/g}$,至120 d时,所有处理组均检测不出二甲基二硫醚。

3 讨论与结论

本研究采用电子鼻结合吹扫捕集-GC-MS对不同温度、不同包装条件下贮藏乌天麻干片的挥发性成分进行较全面的分析和比较。电子鼻雷达图表明,不同温度、包装条件下的乌天麻干片挥发性气味存在一定的差异,在120 d贮藏期内,10 $^{\circ}\text{C}$ 脱氧处理组的响应值轮廓与对照组最接近,说明该处理组的挥发性成分最接近对照组。结合雷达图和PCA分析可知,温度是影响贮藏期乌天麻干片挥发性气味最主要的因素,低温更有利于保持乌天麻干片挥发性成分。其次是包装条件,在同一温度条件下,脱氧处理更有利于保持乌天麻干片的挥发性气味。本研究中所有乌天麻干片样品通过吹扫捕集-GC-MS法共检测鉴定出包括醇类、醛类、烷烃类等共计32种、8类挥发性成分,略低于黄名正等^[7]报道研究(39种、14类),接近卢义龙^[6]测定的乌天麻粉的挥发性成分(33种、8类),但物质的类别和含量与已有报道均有差别。综合各处理组乌天麻干片挥发性成分变化情况分析,其中含量较高的为醇类(最高可达67%)、酯类(最高可达11%)和烷烃类物质(最高可达12.5%),是乌天麻干片中主要的挥发性成分,与黄名正等^[7]的研究结果较为接近,但醇类和烷烃类含量均高于报道的结果,且本次研究中并未检测到报道中的2,3,5,6-四甲基吡嗪,而检测出了文献^[6]报道的具有“马尿臭”的含硫化合物:二甲基二硫醚虽含量较

低(0.28 $\mu\text{g/g}$),不是主要的挥发性物质,却是乌天麻干片中的风味物质,而不同样品组的二甲基二硫醚含量差异较大,低温脱氧条件下含量较高,120 d时所有处理组中均未检出二甲基二硫醚。在相同贮藏时间内,温度越低、脱氧处理越有利于降低挥发性物质的变化,保持乌天麻干片的风味。因此,10 $^{\circ}\text{C}$ 脱氧包装为此次研究中乌天麻干片最佳贮藏条件,可在较长贮藏期内有效保留乌天麻干片的风味成分。本研究仅考察了包装条件对乌天麻干片挥发性成分的影响,后续可结合包装条件对乌天麻干片的有效成分及生理活性影响进行更深入研究。

参考文献:

- [1] 李莹,王瑞,曹森,等.不同处理方式对天麻品质影响的研究进展[J].食品研究与开发,2022,43(11):212-218.
LI Ying, WANG Rui, CAO Sen, et al. Effects of different treatment methods on the quality of *Gastrodia elata*: A review[J]. Food Research and Development, 2022, 43(11): 212-218.
- [2] 中国药典委员会.中华人民共和国药典[M].北京:中国医药科技出版社,2020.
Chinese Pharmacopoeia Committee. Pharmacopoeia of the People's Republic of China[M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press, 2020.
- [3] 段昊,闫文杰.天麻生物活性成分及功效研究进展[J].食品科学,2023,44(17):332-340.
DUAN Hao, YAN Wenjie. Research progress on bioactive components in *Gastrodia elata* bl. and their biological activity[J]. Food Science, 2023, 44(17): 332-340.
- [4] 黎光富,李刚凤,史荣荣.天麻多糖化学成分与药理作用研究综述[J].现代农业科技,2016(7):289-290,292.
LI Guangfu, LI Gangfeng, SHI Rongrong. Review on chemical constituents and pharmacological effects of *Gastrodia elata* polysaccharide[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2016(7): 289-290, 292.
- [5] 张伟,宋启示.贵州大方林下栽培天麻的化学成分研究[J].中草药,2010,41(11):1782-1785.
ZHANG Wei, SONG Qishi. Study on chemical constituents of *Gastrodia elata* cultivated in Dafanglin, Guizhou Province[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2010, 41(11): 1782-1785.
- [6] 卢义龙.天麻、核桃挥发性成分分析及其产品的研发[D].贵阳:贵州大学,2016.
LU Yilong. Analysis of volatile components and development of the products of walnut and *Gastrodia elata*[D]. Guiyang: Guizhou University, 2016.
- [7] 黄名正,李鑫.SDE-GC-MS分析天麻挥发性成分的种类及含量[J].贵州农业科学,2018,46(5):110-113.
HUANG Mingzheng, LI Xin. Kind and content of volatile components in *Gastrodia elata* by SDE-GC-MS analysis[J]. Guizhou Agricultural Sciences, 2018, 46(5): 110-113.
- [8] SANG Y A, HYANG S C. Headspace analyses of *Gastrodia elata* blume by solid-phase microextraction[J]. Biotechnology, 2009, 3(3): 110-112.
- [9] 杨颜君,田玉桥,朱欢,等.不同干燥过程与切片厚度对天麻品质的影响[J].农产品加工,2022(12):30-33.
YANG Yanjun, TIAN Yuqiao, ZHU Huan, et al. Effects of different drying processes and slice thickness on the quality of *Gastrodia*

- elata*[J]. Farm Products Processing, 2022(12): 30-33.
- [10] 徐良. 中药养护[M]. 北京:科学出版社, 2008.
XU Liang. Traditional Chinese medicine maintenance[M]. Beijing: Science Press, 2008.
- [11] 刘元寿, 顾敏华, 吴小华, 等. 中药材养护技术研究综述[J]. 甘肃农业科技, 2018(10): 74-77.
LIU Yuanshou, XIE Minhua, WU Xiaohua, et al. Research summary of maintenance technology of Chinese herbal medicine[J]. Gansu Agricultural Science and Technology, 2018(10): 74-77.
- [12] 刘秋桃, 孔维军, 杨美华, 等. 储藏过程中易霉变中药材的科学养护技术评述[J]. 中国中药杂志, 2015, 40(7): 1223-1229.
LIU Qiutao, KONG Weijun, YANG Meihua, et al. Review of scientific preservation techniques for traditional Chinese medicine becoming mouldy during storage[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2015, 40(7): 1223-1229.
- [13] BELAY Z A, CALEB O J, OPARA L, et al. Influence of initial gas modification on physicochemical quality attributes and molecular changes in fresh and fresh-cut fruit during modified atmosphere packaging[J]. Food Packaging and Shelf Life, 2019(21): 1-11.
- [14] 陈娜, 李永强, 李端平, 等. 不同包装条件下冷藏天麻的保鲜效果[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(1): 251-255.
CHEN Na, LI Yongqiang, LI Duanping, et al. The preservation effect of refrigerated *Gastrodia elata* under different packaging conditions [J]. Food and Fermentation Industry, 2020, 46 (1): 251-255.
- [15] 曹森, 赵成飞, 马凤伟, 等. 基于电子鼻和 GC-MS 评价不同采收期天麻的芳香品质[J]. 北方园艺, 2019(19): 87-94.
CAO Sen, ZHAO Chengfei, MA Fengwei, et al. Aroma quality of different harvesting period *Gastrodia elata* by electronic nose and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Northern Horticulture, 2019(19): 87-94.
- [16] WISSANEE P, SUMIKO S, VARIT S, et al. Color appearance and physico-chemical changes in dried chilies affected by modified atmosphere packaging and temperature during storage[J]. Food processing and preservation, 2021, 45: 1110-1111.
- [17] MEXIS S F, BADEKA A V, RIGANAKOS K A, et al. Effect of packaging and storage conditions on quality of shelled walnuts[J]. Food control, 2009, 20(8): 743-751.
- [18] 盛秀丽, 马刘峰, 方志刚, 等. 基于电子鼻和 HS-SPME-GC-MS 技术分析 9 种新疆石榴果实挥发性成分[J]. 食品工业科技, 2023, 44(6): 325-334.
SHENG Xiuli, MA Liufeng, FANG Zhigang, et al. Analysis of volatile components of nine *Punica granatum* L. cultivars grown in Xinjiang based on electronic nose and HS-SPME-GC-MS[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(6): 325-334.
- [19] LAN Z W, ZHANG Y, SUN Y, et al. A mid-level data fusion approach for evaluating the internal and external changes determined by FT-NIR, electronic nose and colorimeter in *Curcuma Rhizoma* processing[J]. J Pharm Biomed Anal, 2020, 188: 113387.
- [20] ROSA P, ANTONOSIO S B, SILVIA M R, et al. Establishment of the varietal profile of *Vitis vinifera* L. grape varieties from different geographical regions based on HS-SPME/GC-MS combined with chemometric tools[J]. Microchemical Journal, 2014, 116(9): 107-117.
- [21] 李辣梅, 严涵, 王瑞, 等. 1-甲基环丙烯对即食“红阳”猕猴桃货架寿命与风味的影响[J]. 食品与发酵工业, 2023, 49(12): 144-152.
LI Lamei, YAN Han, WANG Rui, et al. Effects of 1-methylcyclopropene treatment on shelf-life and flavor of ready-to-eat 'Hongyang' kiwifruit[J]. Food and Fermentation Industries, 2023, 49(12): 144-152.
- [22] 刘阿静, 王娟, 王波, 等. 基于电子鼻与多元统计分析鉴别当归产地的研究[J]. 质量与安全检验检测, 2022, 32(1): 1-5.
LIU Ajing, WANG Juan, WANG Bo, et al. Identification of *Angelica* origin using electronic nose and multivariate statistical analysis[J]. Quality Safety Inspection and Testing, 2022, 32(1): 1-5.
- [23] 田维芬, 周君, 明庭红, 等. 基于电子鼻和 GC-MS 的不同品牌橄榄油挥发性风味物质研究[J]. 食品工业科技, 2017, 38(7): 285-292.
TIAN Weifen, ZHOU Jun, MING Tinghong, et al. Volatile flavours of different brands of olive oil based on electronic nose and GC-MS [J]. Food Industry Technology, 2017, 38 (7): 285-292.
- [24] CHEN D, ZHANG M. Analysis of volatile compounds in Chinese mitten crab[J]. Journal of Food and Drug Analysis, 2010, 14(3): 297-300.
- [25] BIANCHI F, CARERI M, MUSCI M. Fish and food safety determination of formaldehyde in 12 fish species by SPEM extraction and GC-MS analysis[J]. Food Chemistry, 2011, 100(3): 1049-1053.
- [26] 韩宇, 邹西梅, 赵新海, 等. 黔产天麻挥发性化学成分 GC-MS 分析[J]. 云南化工, 2018, 45(10): 102-103.
HAN Yu, ZOU Ximei, ZHAO Xinhai, et al. Analysis of the volatile components in *Gastrodia elata* bl. of Guizhou by GC-MS[J]. Yunnan Chemical Technology, 2018, 45(10): 102-103.
- [27] 丁浩宸, 李栋芳, 张燕平, 等. 南极磷虾肉糜对海水鱼糜制品挥发性风味成分的影响[J]. 食品与发酵工业, 2015, 41(2): 53-62.
DING Haochen, LI Dongfang, ZHANG Yanping, et al. Effects of Antarctic krill paste on volatile flavor components of marine surimi seafood[J]. Food and Fermentation Industries, 2015, 41(2): 53-62.
- [28] 谢林君, 成果, 王海军, 等. 基于电子鼻及气相-离子迁移谱法分析阳光玫瑰葡萄贮藏期挥发性成分[J]. 食品研究与开发, 2022, 43(7): 167-174.
XIE Linjun, CHENG Guo, Wang Haijun, et al. Analysis of volatile components in the storage period of Sunshine Rose grape based on electron nose and gas phase-ion migration spectroscopy[J]. Food Research and Development, 2022, 43(7): 167-174.

加工编辑: 刘艳美

收稿日期: 2022-11-05