

董 静,邢锦城,洪立洲,等. 干燥工艺对马齿苋活性成分及风味物质的影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(16):179-183.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.16.033

干燥工艺对马齿苋活性成分及风味物质的影响

董 静,邢锦城,洪立洲,刘 冲,朱小梅,赵宝泉,温祝桂,贺亭亭,赵小慧

(江苏沿海地区农业科学研究所,江苏盐城 224002)

摘要:研究自然干燥、热风干燥、真空干燥、烫漂后干燥等 4 种工艺分别对马齿苋干粉中总黄酮、总酚、多糖含量及挥发性风味成分的影响。结果表明,在活性成分方面,真空干燥法制得的总酚、总黄酮含量最高,烫漂后干燥法次之;经热风干燥法处理的样品多糖含量最高,略高于烫漂后干燥。气相色谱-质谱联用分析结果表明,不同加工工艺处理后的马齿苋挥发性风味物质成分存在较大差异,4 种工艺得到的马齿苋粉的香味贡献最大的成分各不相同,对 4 种制备工艺贡献最大的物质分别为 β -紫罗兰酮、乙醛、 β -紫罗兰酮、二甲基硅烷二醇。综合分析可知,采用真空干燥处理制得的马齿苋干综合品质较好,但考虑成分含量及加工成本,采用烫漂后干燥法更为合理。

关键词:马齿苋;干燥工艺;活性成分;风味物质;气相色谱-质谱联用分析

中图分类号: TS201.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)16-0179-05

马齿苋(*Portulaca oleracea* L.)是马齿苋科马齿苋属一年生肉质草本植物,其富含多糖、多酚、生物碱和黄酮等生物活性物质,已成为人们广泛食用和喜爱的功能性食品,具有清除体内自由基等功效^[1-4]。随着马齿苋在医疗保健领域的广泛应用,人们对其质量的要求也越来越高,而新鲜马齿苋全株含水量较高,在贮藏过程中容易腐烂,使其营养成分下降,严重影响其价值及用途^[5-6]。本研究探讨 4 种不同的加工工艺对马齿苋主要生物活性化合物含量的影响,同时采用气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)对其挥发性风味物质进行分析,对比不同加工工艺对马齿苋风味成分含量的影响,以期为

马齿苋的合理化加工提供科学依据,同时也为马齿苋的开发利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

马齿苋由江苏沿海地区农业科学研究所提供,于 2020 年 6 月采自江苏省盐城市沿海滩涂,清洗后沥干水分备用。

1.2 原料处理

试验于 2020 年 6 月 22 日进行,地点位于江苏沿海地区农业科学研究所检验检测中心。马齿苋采用自然干燥(ND)、热风干燥(HD)、真空干燥(VD)、烫漂后干燥(BD)等 4 种干燥方法处理。每种方法分别使用约 500 g 的马齿苋在不同条件下进行干燥。ND 处理中,马齿苋在自然条件下干燥,使用天平(FA2004N,上海精密科学仪器有限公司)每 12 h 称 1 次干燥样品,直至恒质量。HD 处理中,马齿苋在电热恒温鼓风干燥箱(DHC-9073S-III,上海精密科学仪器有限公司)中以 121 ℃杀青 30 min,随后以(80±2)℃进行干燥,干燥后的样品每 1 h 称质量 1 次,直至恒质量。VD 处理中,将马齿苋置于真空干燥箱(DZF-6020,上海一恒科学仪器有限

收稿日期:2020-11-19

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金[编号:CX(19)3096];国家自然科学基金(编号:31800525);江苏现代农业产业技术体系项目[编号:JATS(2019)];苏北科技专项(编号:SZ-YC2018059、SZ-YC2018060)。

作者简介:董 静(1988—),女,江苏盐城人,硕士,助理研究员,主要从事植物逆境生理方面的研究。Tel:(0515)68668987;E-mail:dongjingyc@163.com。

通信作者:邢锦城,硕士,副研究员,主要从事土壤肥料与盐土农业工程研究。Tel:(0515)88334141;E-mail:sdauxxx@163.com。

(10):38-42.

[9]陆则权,张金文,任丽蓉,等. 当归抽薹植株生理生化特征分析[J]. 中草药,2011,42(11):2326-2329.

[10]白贞芳,李 萌,王 杰,等. 当归成药期次生代谢产物含量变化与早期抽薹相关性研究[J]. 中国现代中药,2019,21(11):

1532-1536.

[11]朱玉野,董丽华,朱继孝,等. 防风抽薹期内源激素的动态分析[J]. 中草药,2014,45(13):1924-1927.

[12]刘双利,许永华,王晓慧,等. 防风抽薹开花的研究进展[J]. 人参研究,2016,28(6):52-56.

公司)中[温度为(60±2)℃,压强为-0.01 MPa]干燥,干燥样品每1 h 称质量1次,直至恒质量。BD处理中,将马齿苋按料水质量比为1:4放入沸水中进行烫漂2 min,把烫漂后的样品立刻放入4℃水中冷却,随后置于自然条件下干燥,干燥后的样品每12 h 称质量1次,直至恒质量。所有样品处理好后均粉碎并过筛网(孔径为250 μm)。

1.3 测定方法

采用 Folin - Ciocalteu 法测定马齿苋总酚含量^[7];采用分光光度法测定马齿苋总黄酮含量^[7];采用苯酚-硫酸法测定马齿苋多糖含量^[7];马齿苋挥发性风味成分采用气相色谱-质谱联用仪分析,

由青岛科创质量检测有限公司代为检测。

1.4 数据处理

采用 Excel 2016 和 SPSS 19.0 统计分析软件对试验数据进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同处理方法下马齿苋干最大含水量及所需时间

由表1可知,自然干燥最终所得马齿苋干含水量均高于其他方法。自然干燥处理的干燥时间最长,其次是烫漂后干燥、真空干燥和热风干燥。因此,真空干燥有可能取代目前广泛使用的热风干燥法。

表1 不同处理方法下马齿苋干最大含水量及所需时间

处理	鲜质量(g)	干质量(g)	含水量(%)	干燥时间(h)
自然干燥	500±0.01a	87.57±0.42d	17.47±0.34b	312.50±0.27d
热风干燥	500±0.02a	59.53±0.44a	11.90±0.39a	12.57±0.19a
真空干燥	500±0.02a	62.60±0.18b	12.53±0.36a	41.53±0.29b
烫漂后干燥	500±0.04a	84.63±0.40c	16.80±0.32b	192.60±0.32c

注:同列数据后不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。

2.2 不同干燥方式下马齿苋干燥外观

干燥后的马齿苋外观因干燥方法的不同而有

所不同(图1)。采用自然干燥方法处理的植株同烫漂后干燥法相似,均呈棕褐色皱缩状,但自然干燥



A—自然干燥; B—热风干燥; C—真空干燥; D—烫漂后干燥

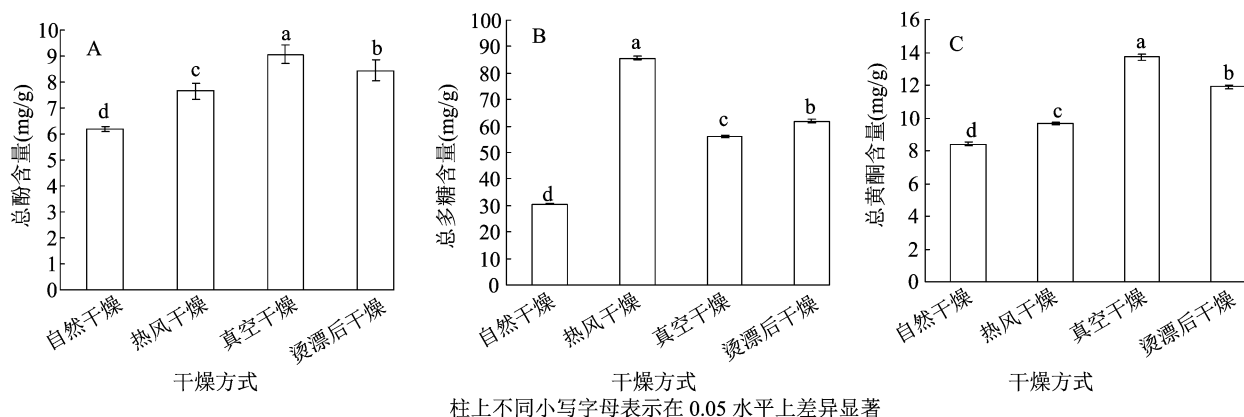
图1 不同干燥方法处理的马齿苋

法处理后的马齿苋植株叶片脱落较多。热风干燥法处理导致马齿苋植株变脆,皱缩并呈褐色,有浓郁香气。真空干燥法处理的植株暴露在阳光下时,叶子呈灰绿色,几乎没有皱缩,茎呈红色,因此这种方法最能保持新鲜植物的外表。

2.3 不同干燥方式对马齿苋活性成分的影响

由图 2 可知,自然干燥处理显著降低了马齿苋多糖、黄酮类化合物以及酚类化合物的含量,影响了其营养价值。热风干燥法是目前应用最广泛的干燥方法,与其他干燥方法相比,热风干燥法能较好地保持马齿苋的多糖含量。经热风干燥处理的

样品中总黄酮含量显著低于真空干燥处理。真空干燥处理下,马齿苋总酚和总黄酮的含量显著高于其他 3 种干燥处理,但烫漂后干燥处理在保持多糖含量方面略优于真空干燥处理。干燥后的样品中有效成分含量如下:多糖含量表现为热风干燥处理 > 烫漂后干燥处理 > 真空干燥处理 > 自然干燥处理;总黄酮含量表现为真空干燥处理 > 烫漂后干燥处理 > 热风干燥处理 > 自然干燥处理;总酚含量表现为真空干燥处理 > 烫漂后干燥处理 > 热风干燥处理 > 自然干燥处理。从总体上看,真空干燥法在保持植物活性成分方面优于其他干燥方法。



柱上不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著
图2 不同干燥方式对马齿苋主要活性成分含量的影响

2.4 不同干燥方式对马齿苋挥发性风味成分的影响

气相色谱-质谱联用分析结果(表 2)表明,在不同加工工艺处理下,马齿苋风味物质成分存在较大差异。自然干燥处理的马齿苋主要风味物质有 β -紫罗兰酮(21.64%)、苯甲醛(16.87%)、苯乙醛(15.30%)。热风干燥处理的马齿苋主要风味物质有乙醛(23.08%)、3-戊烯-2-酮(13.64%)。在真空干燥法处理的样品中,风味物质主要有 β -紫罗兰酮(14.83%)、苯乙醛(8.47%)、苯甲醛(7.96%)、(3E,5E)-辛-3,5-二烯-2-酮(6.67%)。烫漂后干燥处理的样品中,主要的风味物质是二甲基硅烷二醇(22.76%)、己醛(10.38%)、反-2-己烯醛(9.29%)、2,3-二甲基吡嗪(8.97%)。

3 讨论与结论

干燥是食品加工和储存的基础,不同的干燥方法对马齿苋的外观品质有重要影响。本研究中,真空干燥法对马齿苋的收缩作用最小,植株表面没发

生明显的断裂。相比之下,其他几种方法处理的马齿苋植株萎缩明显,植物表面也有相当大的破裂。自然干燥仅靠水分蒸发,所需时间最长,干燥速率相对比较小。此外,自然干燥的叶片收缩的很厉害,因为叶片表面接触气流的面积更大,干燥效率比较高,容易导致干燥不均匀。

马齿苋干中主要挥发性物质成分包括酮类、醛类、烯炔类、杂环类等,其中杂环类化合物主要以吡嗪类化合物为主。研究表明,吡嗪类化合物具有典型的烧烤香味特点^[8]。不同的加工工艺对植物挥发性物质成分及含量影响显著^[9],从目前的研究中可以看出,热风干燥、真空干燥或烫漂后干燥方法处理的马齿苋样品产生了与自然干燥处理样品不同的风味。从自然干燥法与真空干燥法得到的挥发性物质成分里看, β -紫罗兰酮的香味贡献最大,烫漂后干燥法处理后,其含量明显降低,而经热风干燥法处理后没有检测出,这可能与加工的温度有关。 β -紫罗兰酮在室温下具有特征香气,是一种重要的香料,用于皂用香精,也是合成维生素 A 的原料^[10]。除烫漂后干燥法外,在马齿苋粉中还检测

表 2 马齿苋中的风味物质组成

序号	化合物	分子式	相对含量(%)			
			自然干燥	热风干燥	真空干燥	烫漂后干燥
1	β -紫罗兰酮	C ₁₃ H ₂₀ O	21.64		14.83	0.88
2	苯甲醛	C ₇ H ₆ O	16.87	2.96	7.96	
3	苯乙醛	C ₈ H ₈ O	15.30		8.47	
4	壬醛	C ₉ H ₁₈ O	5.67	1.71	5.93	
5	2,6,6-三甲基-1-环己烯-1-羧醛	C ₁₀ H ₁₆ O	3.98			1.90
6	反-2-己烯醛	C ₆ H ₁₀ O	3.71	4.66	1.77	9.29
7	2,3-二甲基-2-丁烯	C ₆ H ₁₂	3.18			
8	4-羟基扁桃酸乙酯	C ₁₀ H ₁₂ O ₄	3.15			
9	癸醛	C ₁₀ H ₂₀ O	3.10			2.69
10	(<i>E,E</i>)-2,4-庚二烯醛	C ₇ H ₁₀ O	2.18	2.22	1.16	7.05
11	己醛	C ₆ H ₁₂ O	1.99	5.86	6.07	10.38
12	双环丙基酮	C ₇ H ₁₀ O	1.85			1.05
13	丁酸丁酯	C ₈ H ₁₆ O ₂	1.32			
14	香叶基丙酮	C ₁₃ H ₂₂ O	1.17	0.53	2.77	0.98
15	6,10,14-三甲基-2-十五烷酮	C ₁₈ H ₃₆ O	0.85			
16	2,6,6-三甲基-2-环己烯-1,4-二酮	C ₉ H ₁₂ O ₂	0.83			
17	(1-羟基-2,4,4-三甲基戊-3-基)-2-甲基丙酸酯	C ₁₂ H ₂₄ O ₃	0.78			
18	2,6,6-三甲基-1-环己烯基乙醛	C ₁₁ H ₁₈ O	0.67			1.49
19	十三烷	C ₁₃ H ₂₈	0.52			1.00
20	乙醛	C ₂ H ₄ O		23.08		
21	3-戊烯-2-酮	C ₅ H ₈ O		13.64		
22	反式-2-戊烯醇	C ₅ H ₈ O		6.72		
23	糠醛	C ₅ H ₄ O ₂		5.17	2.30	
24	2-乙基丙烯醛	C ₅ H ₈ O		3.81		
25	2-乙酰基呋喃	C ₆ H ₆ O ₂		3.76		
26	<i>E</i> -2-庚烯醛	C ₇ H ₁₂ O		3.66		
27	1-辛烯-3-酮	C ₈ H ₁₄ O		2.62		
28	甲基庚烯酮	C ₈ H ₁₄ O		2.39		
29	1-乙基环己烯	C ₈ H ₁₄		2.06		
30	芳樟醇	C ₁₀ H ₁₈ O		1.74		
31	(<i>E,Z</i>)-2,6-壬二烯醛	C ₉ H ₁₄ O		1.35		
32	α -萜品醇	C ₁₀ H ₁₈ O		1.10		
33	棕榈酸	C ₁₆ H ₃₂ O ₂		0.32		
34	(3 <i>E</i> ,5 <i>E</i>)-辛-3,5-二烯-2-酮	C ₈ H ₁₂ O			6.67	
35	3-乙基环戊酮	C ₇ H ₁₂ O			6.65	
36	1-辛烯-3-醇	C ₈ H ₁₆ O			4.90	
37	异丁酸丁酯	C ₈ H ₁₆ O ₂			2.28	
38	邻苯二甲酸丁基酯-2-乙基己基酯	C ₂₀ H ₃₀ O ₄			0.38	
39	二十烷	C ₂₀ H ₄₂			0.37	
40	二甲基硅烷二醇	C ₂ H ₈ O ₂ Si				22.76
41	2,3-二甲基吡嗪	C ₆ H ₈ N ₂				8.97
42	四甲基吡嗪	C ₈ H ₁₂ N ₂				3.23
43	氰化苄	C ₈ H ₇ N				2.90
44	十二烷	C ₁₂ H ₂₆				2.80

出较高含量的苯甲醛,其在室温下具有特殊的杏仁气味,可广泛应用于药物、化妆品、香料等领域^[11]。GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》规定苯甲醛是允许使用的食品用合成香料,可用于制备樱桃、可可、香子兰、杏仁等香精,苯甲醛同时是除草剂野燕枯、植物生长调节剂抗倒胺的中间体。袁桥娜等在传统工艺加工后的菜籽油的挥发性风味物质中也发现了较低含量的苯甲醛,而在另外 2 种加工工艺制备的菜籽油中没有检测出^[12]。

魏学军等研究表明,经过各处理方式处理的杜仲总黄酮含量从高到低依次为微波干燥、烘干、晒干、阴干^[13]。本研究中,马齿苋黄酮类化合物含量在真空干燥处理后最高,而经热风干燥法处理的样品多糖含量最高。有研究发现,不同工艺干燥后的金线莲总酚含量排序为微波干燥>真空干燥>热风干燥>冷冻干燥>自然干燥^[14]。本研究中,真空干燥法制得的总酚、总黄酮含量最高,均高于自然干燥法及热风干燥法,原因可能有 2 个方面:(1)在高温下,尤其是超过 70℃,植物组织中酚类物质受热降解速度很快;(2)由于空气中多酚氧化酶的作用,也会导致酚类物质部分降解。真空干燥过程中酚类物质也会有损失,但由于真空干燥法加热快、均匀,且真空条件下水汽化点低,从而在一定程度上减少了对酚类物质的损伤。

综上所述,自然干燥和热风干燥方法分别需要最长和最短的干燥时间,而真空干燥法比其他试验干燥法能更好地保持马齿苋的外观。此外,热风干燥法可以保持多糖的含量,而真空干燥法可以保持马齿苋活性成分(总酚、多糖、黄酮类化合物)的丰度。真空干燥的时间与热风干燥所需时间相比相对较长,如果真空干燥法能以更低的成本完成,可以在工业环境中代替热风干燥法。

参考文献:

- [1] Saffaryazdi A, Ganjeali A, Farhoosh R, et al. Variation in phenolic compounds, α - linolenic acid and linoleic acid contents and antioxidant activity of purslane (*Portulaca oleracea* L.) during phenological growth stages[J]. Physiology and Molecular Biology of Plants, 2020, 26(7): 1519 - 1529.
- [2] 董 静, 魏福友, 邢锦城, 等. 马齿苋幼苗对盐碱胁迫的生理响应[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(13): 153 - 157.
- [3] 李鹏飞, 苗明三. 马齿苋的现代研究及临床应用[J]. 中医学报, 2014, 29(9): 1342 - 1344.
- [4] 张 志, 高 畅, 付玲玲. 基于星点设计法优化马齿苋多糖的提取工艺[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(8): 207 - 212.
- [5] 董海胜, 朱景涛, 张淑静, 等. 不同生长阶段马齿苋水分及总黄酮含量分析[J]. 食品科学技术学报, 2013, 31(3): 30 - 33.
- [6] Petropoulos S A, Fernandes A, Dias M I, et al. Nutritional value, chemical composition and cytotoxic properties of common purslane (*Portulaca oleracea* L.) in relation to harvesting stage and plant part[J]. Antioxidants, 2019, 8(8): 293.
- [7] 周晓玲, 梁贵秋, 黄正勇, 等. 粤樾大 10 不同叶位桑叶茶的品质及功能活性成分含量测定[J]. 中国蚕业, 2018, 39(3): 5 - 8.
- [8] 肖龙泉, 王新惠, 包莉民, 等. *L* - 脯氨酸与 *L* - 苯丙氨酸对美拉德反应产物烤香味的影响[J]. 食品工业科技, 2018, 39(10): 58 - 63.
- [9] 杨 湄, 刘昌盛, 周 琦, 等. 加工工艺对菜籽油主要挥发性风味成分的影响[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(4): 551 - 557.
- [10] 顾胜华, 李湘洲, 张盛伟. β - 紫罗兰酮合成的研究进展[J]. 中国食品添加剂, 2015(4): 173 - 178.
- [11] 于振云. 苯甲醛及其衍生物的合成及应用[J]. 化工中间体, 2003(4): 10 - 11, 15.
- [12] 袁桥娜, 涂梦婕, 董志文, 等. 不同制备工艺菜籽油的风味成分比较研究[J]. 中国油脂, 2020, 45(8): 32 - 38.
- [13] 魏学军, 孙晓惠, 刘汇丽, 等. 不同加工方法对杜仲总黄酮含量的影响[J]. 中国药房, 2016, 27(28): 3967 - 3969.
- [14] Ye S Y, Wang Z, Shen J Y, et al. Sensory qualities, aroma components, and bioactive compounds of *Anoectochilus roxburghii* (Wall.) Lindl. as affected by different drying methods [J]. Industrial Crops & Products, 2019, 134: 80 - 88.