

刘立伟,冯国华,刘东涛,等. 徐麦系列新品种小麦的挥发性物质[JOL]. 大麦与谷类科学, 2022, 39(2): 7-13, 28. <https://doi.org/10.14069/j.cnki.32-1769/s.2022.02.002>.

徐麦系列新品种小麦的挥发性物质

刘立伟,冯国华,刘东涛,王 静,张会云,马红勃,刘 静,易 媛,朱雪成,张 娜
(江苏徐淮地区徐州农业科学研究所,江苏 徐州 221121)

摘要:利用顶空固相微萃取(HS-SPME)技术结合气相色谱-质谱法(GC-MS)对9个徐麦系列新品种面粉中挥发性成分进行研究。结果表明:面粉中挥发性成分有醇类(10种)、醛类(4种)、酯类(11种)、烷烃类(32种)、烯类(6种)、苯类(2种)、有机酸类(2种)以及杂环类(2种)化合物,共69种挥发性物质。含有挥发性物质种类最多的品种是徐麦2023(42种),最少是徐麦39(20种)。9种面粉共有的挥发性物质有7种,分别为乙醇、邻二氯苯、十一烷、壬醛、十二烷、十三烷和 β -柏木烯,其总含量占挥发性物质总量的1/2以上(54.23%~78.71%)。所有测试面粉中醇类物质含量最高(58.73%~83.58%)。挥发性物质间的相互作用,赋予了面粉相似和独特的风味。

关键词:小麦;面粉;HS-SPME-GC/MS;风味物质

中图分类号:S512.1

文献标志码:A

文章编号:1673-6486-20210105

粮食的挥发性化合物种类和含量是评价其风味品质的重要指标。风味物质大多为非营养物质,但可以决定人们的食欲,影响消化和吸收^[1]。风味决定了人们对食品的喜爱与否,风味成分已经成为风味化学中非常重要的研究领域。顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用(HS-SPME-GC/MS)是测定食品挥发性风味物质的常用方法,它是从样品中吸附气液平衡态挥发性成分到检测端解析的一种技术,集采样、萃取、浓缩、进样于一体。该技术操作简便、重现性好、灵敏度高、对样品需求量低,已经广泛应用于食品、环境以及生物样品分析等领域^[2-3]。

我国是农业大国,小麦产量常年稳居世界第一。面粉具有较高的营养价值,是制作许多食品的原材料^[4-5]。随着生活品质的不断提高,人们对食品的品质和类型有了更高的期待,尤其是对小麦及其制品的需求更为迫切,因此,推广应用优质专用小麦已经成为现代农业研究的重要组成部分。面粉中的挥发性成分构成面粉及面粉制品的特征香气,这些特别的风味可作为面粉及面粉制品主要的感官鉴定依据。有少部分研究人员对面粉中挥发性物质

做了分析。王才才等研究了不同出粉率面粉挥发性物质,结果显示,5种面粉中共检测到68种化合物,包括醇类、醛类、酯类、苯环类、烃类、酸类、杂环类以及其他化合物,面粉中挥发性物质种类随着小麦出粉率增加而增加^[6]。付强等研究了不同储藏条件下面粉挥发物变化,结果表明,不同储藏条件的面粉挥发性物质种类基本相同,只是在量上存在差异^[7]。胡喜贵等研究了不同来源小麦的面粉香气成分,结果显示,在5种不同来源小麦的面粉中鉴定出42种香气成分,主要以烃类、醇类组分为主,不同来源小麦之间的香气成分存在一定差异^[8]。而关于淮北地区小麦品种面粉的挥发性风味物质的研究尚未见报道。

因此,本试验选取了9个出粉率相近,但面粉稳定时间、吸水率等品质指标存在一定差异的徐麦系列新品种面粉为样品,利用顶空固相微萃取技术吸附面粉中的挥发性成分,通过气相色谱-质谱联用分析其挥发性成分,旨在为指导淮北地区冬小麦品质育种以及为淮北地区生产出风味更加多样化的小麦加工食品提供技术支撑。

1 材料与amp;方法

1.1 试验材料

试验选取江苏徐淮地区徐州农业科学研究所培育的9个小麦新品种,分别为徐麦32、徐麦33、徐麦35、徐麦36、徐麦38、徐麦39、徐麦44、徐麦

收稿日期:2021-11-15

基金项目:江苏省重点项目(现代农业)(BE2021310);国家小麦产业技术体系(CARS-03);徐州市重点研发(现代农业)计划(KC20036)。

作者简介:刘立伟(1990—),男,硕士,助理研究员,主要从事小麦育种与栽培研究。E-mail: 1083917417@qq.com。

178、徐麦 2023。

1.2 仪器设备

JA3003 电子天平, 购自上海天平仪器厂; Trace ISQ 型气相色谱-质谱联用仪, 购自美国热电公司; 顶空固相微萃取装置, 美国 Supelco 公司生产; HH-W420 数显恒温水浴锅, 购自金坛市富华仪器有限公司; 小麦面粉小型实验磨, 德国 Brabender 公司生产。

1.3 试验方法

1.3.1 制粉(磨粉)方法。采用德国 Brabender 公司生产的小麦面粉小型实验磨进行面粉的制备。

1.3.2 顶空固相微萃取操作方法。参考相关文献[6]并略作修改。固相微萃取头首次使用时, 先在气相色谱进样口老化 1 h, 老化温度为 250 °C, 之后每次使用前均老化 30 min。快速称取 2.0 g 小麦面粉样品置于样品瓶中, 旋紧瓶盖密封。插入装有 75 μm 纤维头(类型有 DVB/CAR/PDMS)的进样器, 缓慢拉出纤维头, 在 65 °C 恒温水浴锅中孵化 40 min, 快速抽回纤维头, 并立刻插入 GC-MS 仪器的进样口, 解析 5 min(250 °C), 进样, 采集数据。

1.3.3 GC 和 MS 分析条件^⑥。GC 条件: TG-WaxMS 色谱柱(30 m × 0.25 m × 0.25 μm)。MSD 检测器: 升温程序为起始温度 40 °C, 保持 4 min; 以 5 °C/min 升温速率升至 200 °C, 保持 2 min; 再以 20 °C/min 升温速率升至 280 °C, 保持 4 min; 进样口温度 240 °C。载气为氦气(He), 流速为 1.0 mL/min, 柱前压 56.74

kPa, 不分流方式进样。MS 条件: 离子源为 EI 源, 离子源温度为 240 °C, 接口温度 280 °C, 四级杆温度 130 °C, 电子能量为 70 eV, 扫描范围(m/z) 为 50.0~500.0, 采集方式为全扫描。

1.4 数据处理

根据 GC-MS 联用所得质谱信息, 利用随机的 Xcalibur 工作站 NIST14 标准质谱库结合人工解谱求得, 统计匹配度均大于 800 的挥发性成分, 采用峰面积归一化法计算各成分的相对含量。

2 结果与分析

2.1 9 个小麦品种面粉中挥发性成分的总组成

由图 1、图 2 可知, 小麦面粉中含有醇、醛、酯、烷烃、杂环、烯、有机酸和杂类化合物等挥发性成分, 其中: 挥发性成分种类数量最多的是烷烃类, 其次是酯类和醇类, 烯类、苯类、有机酸类和杂环类很少。

从 9 个不同品种面粉样品中共检测出的挥发性化合物分别有 34、33、29、28、26、20、37、30、42 种, 其挥发性物质种类最多的是徐麦 2023。9 种小麦面粉共有的挥发性物质成分有 7 种, 分别为乙醇、邻二氯苯、十一烷、壬醛、十二烷、十三烷和 β-柏木烯, 占挥发性成分总量的 58.53% 以上。醇类化合物含量占面粉挥发性物质总量的 1/2 以上(54.23%~78.71%), 其中乙醇含量最高。

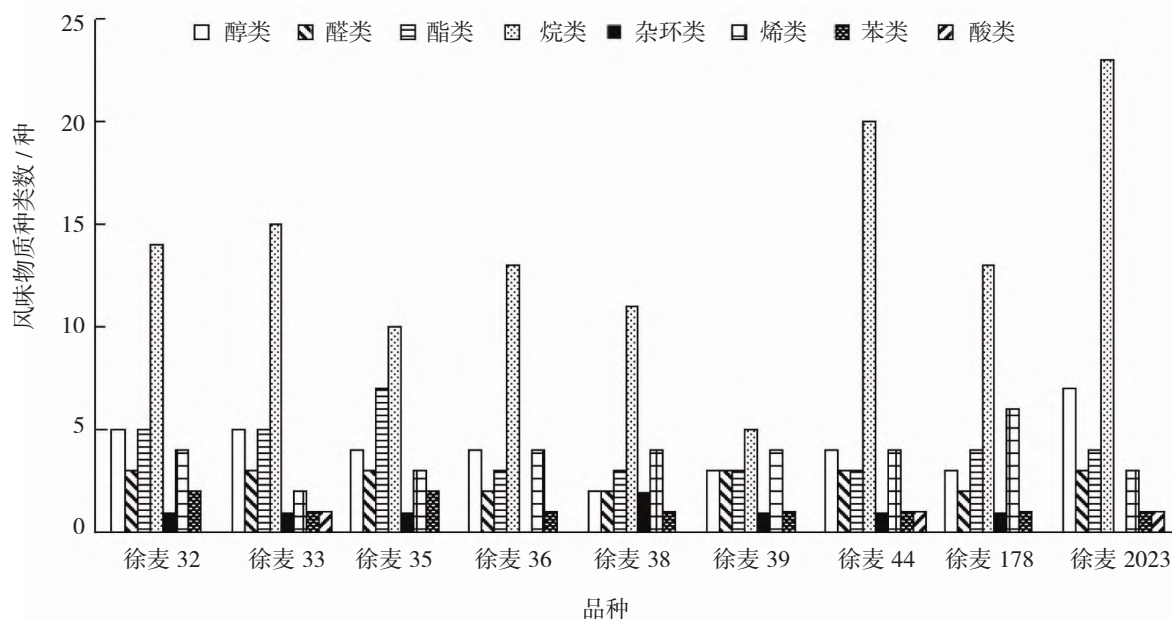


图 1 9 个小麦品种面粉中的挥发性物质种类

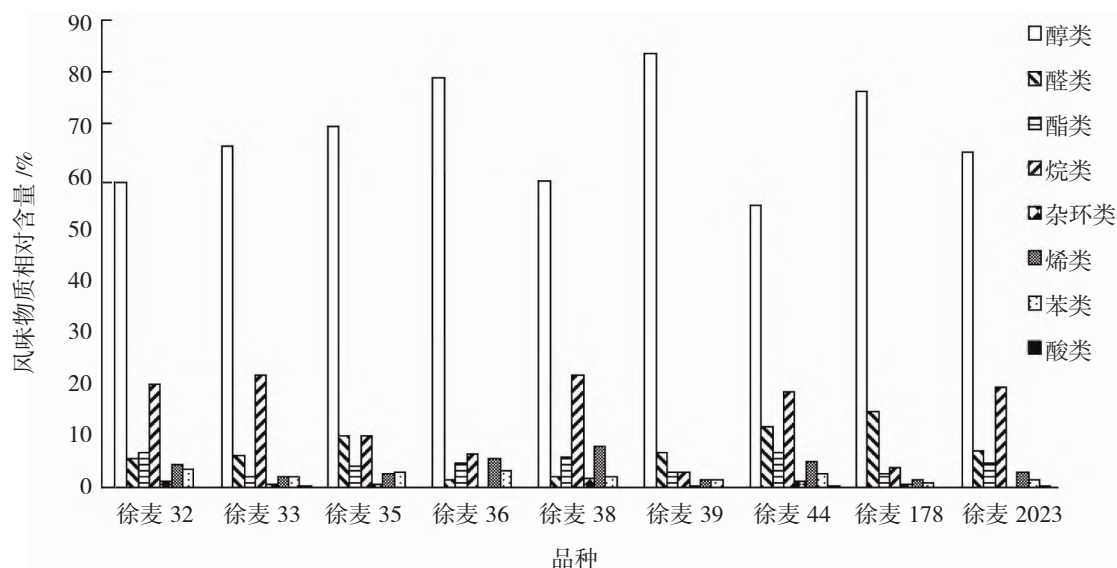


图2 9个小麦品种面粉中挥发性物质的相对含量

2.2 小麦面粉中醇类挥发性成分

由表1可知,检测出10种醇类化合物,其中:乙醇存在于所有的品种中,1-戊醇存在于8个品种中,异戊醇、3,7,11-三甲基十二烷醇、紫苏醇存在于

4个品种中,2-甲基癸醇和3-甲基戊醇分别存在于3和2个品种中,2-己基癸醇只存在于徐麦44中,2-甲基十六醇和2-己基壬醇均只存在于徐麦2023中。

表1 9个小麦品种面粉中醇类化合物及相对含量

%

品种	徐麦 32	徐麦 33	徐麦 35	徐麦 36	徐麦 38	徐麦 39	徐麦 44	徐麦 178	徐麦 2023
w(乙醇)	45.14	45.14	50.47	47.08	39.62	53.99	36.81	59.83	47.66
w(1-戊醇)	1.76	18.83	11.62	18.42	—	10.56	16.72	16.01	15.26
w(异戊醇)	11.20	—	—	13.00	19.20	19.03	—	—	—
w(3-甲基戊醇)	0.42	—	6.95	—	—	—	—	—	—
w(2-己基癸醇)	—	—	—	—	—	—	0.31	—	—
w(3,7,11-三甲基十二烷醇)	—	0.29	—	0.21	—	—	0.39	—	0.21
w(2-甲基十六醇)	—	—	—	—	—	—	—	—	0.27
w(2-己基壬醇)	—	—	—	—	—	—	—	—	0.30
w(2-甲基癸醇)	0.21	0.49	—	—	—	—	—	—	0.24
w(紫苏醇)	—	0.81	0.54	—	—	—	—	0.30	0.51
合计	58.73	65.56	69.58	78.71	58.82	83.58	54.23	76.14	64.45

注:“—”表示未检出。下同。

2.3 9个小麦品种面粉中醛类挥发性成分

由表2可知,9个品种小麦面粉中徐麦178和徐麦44所含有的醛类物质较多,分别为14.68%、11.52%,徐麦36和徐麦38较少,分别为1.44%、1.91%。壬醛存在于所有品种的面粉中,正己醛存在于7个小麦品种面粉中,2,2-二甲基-1,3-二氧戊环-4-甲醛和癸醛分别存在于5和3个小麦品种

面粉中。

2.4 9个小麦品种面粉中酯类挥发性成分

由表3可知,检测出11种酯类物质,其中:徐麦44含有的酯类最多(6.80%),其次为徐麦32(6.75%),徐麦33含有的酯类最少(1.96%)。丙酸己酯、丁酸丁酯和丙烯酸异辛酯都存在于7个品种面粉中,5-(4-甲氧基-4-氧代丁氧基)-戊酸甲酯和

2,2,4- 三甲基戊二醇异丁酯都存在于 3 个品种中, 乙酸-1- 甲基己酯、苯甲酸苄酯、邻苯二甲酸二丁酯和十六酸甲酯都存在于 2 个品种面粉中。徐麦 33

独有的成分是 1- 辛烯-3- 醇乙酸酯, 徐麦 35 面粉独有的成分是 3- 羟基丙酸 1- 丁酯。

表 2 9 个小麦品种面粉中醛类化合物及相对含量

%

品种	徐麦 32	徐麦 33	徐麦 35	徐麦 36	徐麦 38	徐麦 39	徐麦 44	徐麦 178	徐麦 2023
w(正己醛)	4.70	4.00	8.43	—	—	6.18	10.08	14.31	5.81
w(壬醛)	0.69	1.34	0.81	1.15	0.81	0.38	0.62	0.37	0.47
w(2,2- 二甲基-1,3- 二氧戊环-4- 甲醛)	—	—	0.68	—	1.10	0.27	0.82	—	0.67
w(癸醛)	0.18	0.64	—	0.29	—	—	—	—	—
合计	5.57	5.98	9.92	1.44	1.91	6.83	11.52	14.68	6.95

表 3 9 个小麦品种面粉中酯类化合物及相对含量

%

品种	徐麦 32	徐麦 33	徐麦 35	徐麦 36	徐麦 38	徐麦 39	徐麦 44	徐麦 178	徐麦 2023
w(丙酸己酯)	3.10	—	—	3.29	3.79	2.30	6.14	2.13	3.31
w(丁酸丁酯)	1.14	—	1.06	1.12	1.37	0.61	—	0.32	0.86
w(乙酸 1- 甲基己酯)	1.03	0.64	—	—	—	—	—	—	—
w(1- 辛烯-3- 醇乙酸酯)	—	0.22	—	—	—	—	—	—	—
w(5-(4- 甲氧基-4- 氧代丁氧基)- 戊酸甲酯)	0.92	—	0.30	—	—	—	—	0.19	—
w(丙烯酸异辛酯)	0.56	—	0.35	—	0.79	0.14	0.46	0.06	0.39
w(3- 羟基丙酸-1- 丁酯)	—	—	0.33	—	—	—	—	—	—
w(2,2,4- 三甲基戊二醇异丁酯)	—	—	—	0.19	—	—	0.20	—	0.21
w(苯甲酸苄酯)	—	0.59	1.56	—	—	—	—	—	—
w(邻苯二甲酸二丁酯)	—	0.18	0.12	—	—	—	—	—	—
w(十六酸甲酯)	—	0.33	0.49	—	—	—	—	—	—
合计	6.75	1.96	4.21	4.60	5.95	3.05	6.80	2.70	4.77

2.5 9 个小麦品种面粉中烷烃类挥发性成分

由表 4 可知,共检测出 32 种烷烃类化合物。徐麦 38 和徐麦 33 中烷烃类相对含量较高,在 21%左右;徐麦 32、徐麦 2023 和徐麦 44,徐麦 39 含有的烷烃较少。十一烷、十二烷和十三烷是 9 个品种共有的物质。十四烷存在于 7 个品种面粉中,2,6- 二甲基癸烷存在于 6 个品种面粉中,2,3,5,8- 四甲基癸烷、庚基环己烷、10- 甲基二十烷、3- 甲基十三烷、2,6,10- 三甲基十二烷、壬基环戊烷存在于 5 个品种面粉中。徐麦 38 面粉中独有的成分是 3- 甲基

戊烷、2,6,10- 四甲基庚烷和 2,6- 二甲基十七烷,徐麦 2023 面粉独有的成分是 2,6,10- 三甲基十四烷和 2,6,10,15- 四甲基十七烷。

2.6 9 个小麦品种面粉中烯类挥发性成分

由表 5 可知,检测出 6 种烯类,其中:徐麦 38 面粉含有的烯类最多 (7.82%), 其次为徐麦 36 (5.56%)。β- 柏木烯为所有品种面粉共有的挥发性物质,(+)- 柠檬烯和 α- 柏木烯为 8 个品种面粉共有,罗汉柏烯和 A- 柏木萜烯为 4 个品种面粉共有,长叶烯为 2 个品种面粉共有。

表4 9个小麦品种面粉中烷烃类化合物及相对含量

%

品种	徐麦 32	徐麦 33	徐麦 35	徐麦 36	徐麦 38	徐麦 39	徐麦 44	徐麦 178	徐麦 2023
w(十一烷)	1.69	0.52	0.85	0.35	2.14	0.35	1.70	0.24	1.30
w(9-甲基十八烷)	0.61	—	—	—	—	—	0.52	0.10	0.43
w(十二烷)	5.73	3.48	4.04	1.41	8.92	1.86	7.01	1.38	6.48
w(3-甲基十一烷)	—	—	0.32	—	1.86	—	—	—	—
w(2,3,5,8-四甲基癸烷)	0.40	—	0.50	—	—	—	0.58	0.14	0.37
w(2,6-二甲基癸烷)	—	0.45	0.24	0.24	—	—	0.30	0.05	0.22
w(2,6,10,14-四甲基庚烷)	0.18	—	—	—	—	—	—	—	0.16
w(2,6,10,15-四甲基十七烷)	—	—	—	—	—	—	—	—	0.16
w(1,4-二甲基-2-十八烷基环己烷)	—	—	—	—	—	—	—	0.22	1.15
w(十四烷)	0.16	6.02	—	1.72	3.45	—	3.48	1.11	3.66
w(2,6,10-三甲基十四烷)	—	—	—	—	—	—	—	—	0.31
w(庚基环己烷)	—	—	—	0.40	—	0.21	0.31	0.14	0.49
w(10-甲基二十烷)	—	0.64	—	0.21	—	—	0.29	0.08	0.32
w(3-甲基十三烷)	0.21	0.69	—	0.23	—	—	—	0.07	0.45
w(2,6,10-三甲基十二烷)	—	1.48	—	0.43	—	—	0.44	0.05	0.45
w(十三烷)	5.36	2.30	2.11	0.53	2.95	0.16	0.90	0.16	0.89
w(壬基环戊烷)	—	0.43	—	0.25	—	0.44	0.45	—	0.25
w(2,6,10-三甲基十三烷)	—	1.11	—	0.30	—	—	0.42	—	0.45
w(3-甲基十三烷)	1.02	—	0.52	—	0.44	—	—	—	—
w(5-丙基癸烷)	—	—	—	—	—	—	0.48	0.05	0.30
w(2,7,10-三甲基十二烷)	0.22	—	—	—	0.37	—	—	—	—
w(2-环己基十二烷)	—	0.88	0.67	—	—	—	0.25	—	0.26
w(4-乙基十四烷)	0.21	—	0.39	—	—	—	0.19	—	—
w(3-甲基戊烷)	—	—	—	0.15	—	—	0.17	—	0.24
w(正十六烷)	0.43	1.84	—	—	0.48	—	0.23	—	—
w(2,2,6,10-四甲基庚烷)	—	0.75	—	—	—	—	0.26	—	0.29
w(十五烷)	0.43	—	0.18	—	—	—	—	—	—
w(14-甲基十五烷)	—	0.61	—	0.16	—	—	0.37	—	0.34
w(2,6,10,14-四甲基十六烷)	3.16	0.25	—	—	—	—	0.12	—	0.14
w(3-甲基戊烷)	—	—	—	—	0.22	—	—	—	—
w(2,6,10-三甲基庚烷)	—	—	—	—	0.35	—	—	—	—
w(2,6-二甲基十七烷)	—	—	—	—	0.29	—	—	—	—
合计	19.81	21.45	9.82	6.38	21.47	3.02	18.47	3.79	19.11

表5 9个小麦品种面粉中烯类化合物及相对含量

%

品种	徐麦 32	徐麦 33	徐麦 35	徐麦 36	徐麦 38	徐麦 39	徐麦 44	徐麦 178	徐麦 2023
w((+)-柠檬烯)	1.09	0.31	—	3.58	1.02	0.53	1.81	0.32	0.59
w(长叶烯)	—	—	—	—	0.12	—	—	0.11	—
w(α -柏木烯)	0.22	—	0.37	1.19	5.68	0.70	1.87	0.70	1.51
w(罗汉柏烯)	0.87	—	—	—	0.11	0.07	—	0.07	—
w(β -柏木烯)	2.30	1.72	1.98	0.56	0.89	0.29	0.89	0.26	0.72
w(A-柏木萜烯)	—	—	0.39	0.23	—	—	0.27	0.09	—
合计	4.48	2.03	2.74	5.56	7.82	1.59	4.84	1.55	2.82

2.7 9个小麦品种面粉中苯类及有机酸类挥发性成分

由表6可知,苯类中邻二氯苯为9个品种面粉所共有的风味物质,(1-丁基己基)-苯只在徐麦32和徐麦36面粉中被检测到。由表7可知,有机酸类物质共检测到2种,2-羟基十四烷酸存在于徐麦44和徐麦2023面粉中,10-十八碳烯酸只存在于

徐麦33面粉中。

2.8 9个小麦品种面粉中杂环类挥发性成分

由表8可知,杂环化合物一共检测出2种,其中2-正戊基呋喃存在于6个品种面粉中,2-(三甲基乙酰基)噻吩存在于2个品种面粉中。所有的品种面粉中含有的杂环类物质均较低,其中徐麦36和徐麦2023面粉中均未检测出杂环类物质。

表6 9个小麦品种面粉中苯类化合物相对含量

%

品种	徐麦 32	徐麦 33	徐麦 35	徐麦 36	徐麦 38	徐麦 39	徐麦 44	徐麦 178	徐麦 2023
w(邻二氯苯)	3.23	1.94	3.04	3.09	2.17	1.55	2.55	0.93	1.47
w((1-丁基己基)-苯)	0.38	—	—	0.21	—	—	—	—	—
合计	3.61	1.94	3.04	3.30	2.17	1.55	2.55	0.93	1.47

表7 9个小麦品种面粉中有机酸类化合物相对含量

%

品种	徐麦 32	徐麦 33	徐麦 35	徐麦 36	徐麦 38	徐麦 39	徐麦 44	徐麦 178	徐麦 2023
w(2-羟基十四烷酸)	—	—	—	—	—	—	0.42	—	0.41
w(10-十八碳烯酸)	—	0.39	—	—	—	—	—	—	—
合计	0	0.39	0	0	0	0	0.42	0	0.41

表8 9个小麦品种面粉中杂环类化合物相对含量

%

品种	徐麦 32	徐麦 33	徐麦 35	徐麦 36	徐麦 38	徐麦 39	徐麦 44	徐麦 178	徐麦 2023
w(2-正戊基呋喃)	1.03	0.67	—	—	0.99	0.36	1.17	0.21	—
w(2-(三甲基乙酰基)噻吩)	—	—	0.68	—	0.87	—	—	—	—
合计	1.03	0.67	0.68	0	1.86	0.36	1.17	0.21	0

3 讨论

粮食的挥发性物质主要来源于粮食自身及粮食中游离氨基酸的自动降解产生的代谢产物等^[9],是一个复杂的综合体。本研究结果显示,不同品种小麦面粉中的挥发性成分存在一定差异,这与

Hougen 等的研究结果^[10]一致。本文检测的小麦面粉中挥发性成分包括醇类、醛类、酯类、烷类、杂环类、烯类、苯类和有机酸类,以醇类、烷烃类和醛类为主,这3类物质对香气贡献较大,其中乙醇含量最高,这与 Maeda 等的研究结果^[11]相符。醇类化合物具有植物的芳香气味,通常阈值较高,香气值随着碳

链长度的增加而增加^[12],直链高级醇为面粉提供水果味、花香味等。本试验检测出的异戊醇有苹果白兰地香气、紫苏醇稍有木香和花香。检测出酯类中的丙酸己酯和丁酸丁酯带有水果的新鲜气味,苯甲酸苄酯带有杏仁的气味,其他酯类对香气起到一定的烘托作用。醛类物质也是小麦的关键风味物质,一般阈值较低,对总体风味影响极大。含有5~9个碳原子的醛类物质通常具有油脂香气和清香气^[13],如己醛、壬醛、癸醛,这3种物质均可用作食用香精等,分别具有青草的气味、玫瑰香气和强油脂气味。烷烃阈值较高,赋予小麦面粉的香气值较小^[14]。杂环化合物中的2-正戊基呋喃通常作为食用香料,具有豆香、果香、泥土清香及类似蔬菜的香韵,且阈值较低^[15]。烯类中的长叶烯、(+)-柠檬烯、柏木烯等分别为面粉提供天然香料的气味、柠檬的香味和檀香香气,罗汉柏烯也有特殊的气味,同时对人体有益。

面粉中存在的少量邻二氯苯、(1-丁基己基)-苯、十四烷、十二烷、十三烷和癸酸等物质有一定的刺激性气味,并对人体有一定的毒副作用,应该引起育种工作者的重视。小麦面粉的麦香气味并不是某一种单一物质决定的,而是由面粉中挥发性物质共同作用构成的,但这些挥发性物质具体是如何相互作用的、面粉挥发性物质与面粉制品挥发性物质间有何关系以及面粉储藏过程中挥发性成分如何变化等一系列问题有待进一步研究。

4 结论

利用简单、快捷的顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用技术对9个出粉率相近的徐麦系列小麦品种面粉中的挥发性风味成分进行了检测,共鉴定出挥发性物质69种。其中:醇类、烷烃类和醛类为主要的风味物质。9个品种面粉共有的成分有7种,占挥发性成分总量的58.53%,不同品种间挥发性成分的种类和含量存在一定的差异。总之,挥发性物质组分、含量及相互作用,赋予了不同品种小麦面粉相似和独特的风味。

参考文献:

- [1] MOTTRAM D S. Flavour formation in meat and meat products: a review[J]. Food Chemistry,1998,62(4):415-424.
- [2] 苗榕芯,孙莹,石长波,等. 顶空固相微萃取气质联用技术在谷物食品中的应用研究进展[J]. 食品研究与开发,2020,41(4):219-224.
- [3] SONG S Q,ZHANG X M,HAYAT K,et al. Coordinating fingerprint determination of solid-phase microextraction/gas chromatography-mass spectrometry and chemometric methods for quality control of oxidized tallow[J]. Journal of Chromatography A,2013,1278:145-152.
- [4] 任根深,王伟. 冬小麦新品种平凉45号选育报告[J]. 甘肃农业科技,2010(5):3-5.
- [5] 陈淑萍,王雪征,茜晓哲,等. 小麦品质性状评价与改良途径[J]. 河北农业科学,2009,13(5):45-47,59.
- [6] 王才才,马森,王晓曦,等. 不同出粉率小麦粉挥发性物质研究[J]. 粮食与油脂,2015,28(12):12-14.
- [7] 付强,鞠兴荣,高瑀珑,等. 不同储藏条件下小麦粉挥发物与理化指标相关性分析[J]. 粮食储藏,2012,41(1):42-46.
- [8] 胡喜贵,姜小苓,王玉泉,等. 不同来源小麦面粉香气成分的比较研究[J]. 湖北农业科学,2017,56(12):2332-2336.
- [9] 崔晓兰,王强强. 粮食挥发性物质及其检测技术研究进展[J]. 现代食品,2018(15):114-117.
- [10] HOUGEN F W,QUILLIAM M A,CURRAN W A,et al. Headspace vapors from cereal grains[J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry,1971,19(1):182-183.
- [11] MAEDA T,KIM J H,UBUKATA Y,et al. Analysis of volatile compounds in polished-graded wheat flour bread using headspace sorptive extraction[J]. European Food Research and Technology,2009,228:457-465.
- [12] CUI C,LEI F F,WANG Y R,et al. Antioxidant properties of Maillard reaction products from defatted peanut meal hydrolysate-glucose syrup and its application to sachima[J]. Food Science and Technology Research,2014,20(2):327-335.
- [13] 魏超昆,赵宇慧,刘敦华,等. 鸡油基起酥油对面包感官、风味及老化特性的影响[J]. 食品科学,2017,38(3):101-106.
- [14] 张薇,程晓燕,黄卫宁,等. 含天然酵母粉发酵面包的营养与老化特性及风味化合物特征[J]. 食品科学,2014,35(23):33-38.
- [15] CHEN N,YANG H M,SUN Y,et al. Purification and identification of antioxidant peptides from walnut (*Juglans regia* L.) protein hydrolysates[J]. Peptides,2012,38:344-349.

(下转第28页)

Effects of Sowing Density on the Yield and Quality of Extremely Late-sown Hulless Barley

SHI Xiao-xu, YANG Mei-ying, LIU Hai-cui, LI Ying, WEI Ya-feng, HAN Xiao, SHI Lyu, XUE Ya-guang, LIU Jian
(Jiangsu Yanjiang Area Institute of Agricultural Sciences, Nantong 226541, China)

Abstract: To determine an appropriate sowing density for extremely late-sown hulless barley, this study assessed the effects of sowing density on plant height, yield, and grain quality of extremely late-sown hulless barley in a field trial. Five sowing densities were set as follows: 150.0, 187.5, 225.0, 262.5, 300.0 kg/hm². With elevating sowing density, hulless barley showed increases in plant height, yield, and dietary fiber content in grain; but reductions in 1 000 grain weight and β -glucan content in grain. Furthermore, sowing density had very significant ($P < 0.01$) positive correlations with plant height, effective panicle number, grain number per panicle, yield, and dietary fiber content in grain; and had a significant ($P < 0.05$) positive correlation with vitamin E content in grain; but had very significant ($P < 0.01$) negative correlations with spike length, 1 000 grain weight, and β -glucan and crude protein contents in grain. In the treatment with the sowing density of 262.50 kg/hm², the yield reached 4.21×10^3 kg/hm²; and the contents of dietary fiber, β -glucan, crude protein, vitamin E, and total starch in grain were 26.02%, 3.84%, 113.69 g/kg, 4.30×10^{-3} g/kg, 47.91%, respectively. Therefore, the optimal sowing density for extremely late-sown hulless barley is 262.50 kg/hm², which is favorable for improving yield and grain quality. This study provides a theoretical basis for attaining stable yield and high quality of extremely late-sown hulless barley.

Key Words: Extremely late sowing; Hulless barley; Sowing rate; Yield; Quality

(上接第 13 页)

Volatile Substances in Flours of Nine New Wheat Varieties of Xumai Series

LIU Li-wei, FENG Guo-hua, LIU Dong-tao, WANG Jing, ZHANG Hui-yun, MA Hong-bo, LIU Jing, YI Yuan,
ZHU Xue-cheng, ZHANG Na
(Xuzhou Institute of Agricultural Sciences in Jiangsu Xuhuai Area, Xuzhou 221131, China)

Abstract: The headspace solid phase microextraction (HS-SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) were used to identify volatile components in flours of nine different wheat varieties. The results showed that these flours contained a total of 69 volatile substances consisting of 10 alcohols, 4 aldehydes, 11 esters, 32 alkanes, 6 alkenes, 2 benzenes, 2 organic acids, and 2 heterocyclic compounds. Among the nine wheat varieties, Xumai 2023 and Xumai 39 were shown to have the largest (42) and the smallest number (20) of volatile substances, respectively. Moreover, seven volatile substances were shared by the flours of the nine wheat varieties, namely ethanol, o-dichlorobenzene, undecane, nonanal, dodecane, tridecane, and β -cedarene; and their content accounts for more than 50% (54.23%~78.71%) of the total content of the volatile substances. In all tested wheat flours, alcohols predominated in the volatile substances, constituting 58.73%~83.58% of their content. The interactions of the volatile substances result in similar and distinct flavors of flours of these different wheat varieties.

Key Words: Wheat; Flour; HS-SPME-GC/MS; Flavor substance