

施氮量对‘马瑟兰’葡萄果实挥发物质 组分与含量的影响

马宗桓¹, 贺雅娟¹, 李蔚², 李文芳¹, 左存武¹, 郭艳兰³, 毛娟¹, 陈佰鸿¹

(1. 甘肃农业大学园艺学院, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃农业大学食品科学与工程学院, 甘肃 兰州 730070;

3. 武威市林业科学研究院, 甘肃 武威 733000)

摘要:为了明确氮素施用量对‘马瑟兰’葡萄果实芳香物质组成及含量的影响,本研究通过设置4个施氮处理,分别为施入尿素 $150\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N150)、 $300\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N300)、 $450\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N450) 和 $600\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N600), 对照为整个生育期不施氮肥(N0)。在花后 55 d (DAF55)、花后 85 d (DAF85) 和花后 116 d (DAF116) 采集果实样品,分析芳香物质组成及含量。结果表明,‘马瑟兰’果实中芳香物质以醛类为主,相对含量达到总含量的 68% 以上,施氮处理均能够增加 DAF85 前果实中挥发性物质含量,最高可达到 $20\,122.28\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,而在采收期 (DAF116) 对照果实中挥发性物质含量为 $7\,776.13\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,高于施氮处理 3.56 倍以上。月桂烯是‘马瑟兰’果实的特征性芳香物质之一,主要在成熟果实中含量丰富,且在 N300 处理下香气值最高,含量为 $55.86\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,3-乙烯醛是不施氮果实中的特征性香气物质。‘马瑟兰’果实香型以脂膏香和花香为主,施氮可增加原有香型比例,但不会改变整个生育期果实香味类型,而不施氮果实成熟时以草香型为主,改变了原有香味特征。

关键词:施氮量;葡萄;芳香物质含量;特征香气;香味类型

中图分类号:S663.1;S147.22 **文献标志码:**A

Effects of nitrogen application rate on composition and content of aromatic substances in Marselan grape

MA Zonghuan¹, HE Yajuan¹, LI Wei², LI Wenfang¹,
ZUO Cunwu¹, GUO Yanlan³, MAO Juan¹, CHEN Baihong¹

(1. College of Horticulture, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. College of Food Science and Engineering, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

3. Wuwei Academy of Forestry Science, Wuwei, Gansu 733000, China)

Abstract: To examine the effect of nitrogen application rate on composition and content of aromatic substances in Marselan grape, four nitrogen application treatments were set up. The treatments included $150\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N150), $300\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N300), $450\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N450) and $600\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N600) of urea and the control without nitrogen fertilizer (N0) during the whole growth period. Fruit samples were collected at 55 days after flowering (DAF55), 85 days after flowering (DAF85) and 116 days after flowering (DAF116). The results showed that aldehydes were the main aromatic substances in Marselan fruit, and the relative content reached more than 68% of the total content. Nitrogen application treatments increased the content of volatile substances in the fruit before DAF85, up to $20\,122.28\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, while the content of volatile substances in the control fruit at the harvest time (DAF116) was $7\,776.13\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, more than 3.56 times higher than the nitrogen treatment. Laurene was one of the characteristic aromatic substances in Marselan fruit. It was mainly rich in mature fruit, and the aroma value reached the highest under N300 treatment, with a content of $55.86\text{ }\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$. 3-vinyl aldehyde was the characteris-

收稿日期:2021-07-25

修回日期:2022-05-28

基金项目:甘肃省青年科技基金(21JR7RA838);甘肃农业大学伏羲青年英才项目(GAUfx-04Y05);国家自然科学基金(32160685);甘肃农业大学公招博士科研启动基金(GAU-KYQD-2019-18)

作者简介:马宗桓(1988-),男,甘肃会宁人,副教授,主要从事果树逆境生理与生长调控研究。E-mail:mazohu@163.com

通信作者:陈佰鸿,男(1969-),甘肃武威人,教授,博士生导师,主要从事果树逆境生理与生长调控研究。E-mail:bhch@gsau.edu.cn

tic aromatic substance in fruits without nitrogen application. The aroma type of Marselan grape was mainly ointment aroma and flower aroma. Nitrogen application increased the proportion of original aroma type but did not change the aroma type of berries in the whole growth period. However, at maturity, the berries aroma type without nitrogen application was mainly grass aroma type, which changed the original aroma characteristics.

Keywords: nitrogen application rate; grape; aromatic substances content; characteristic aroma; aroma type

‘马瑟兰’是由法国国家农科院葡萄育种专家 Paul Truez 育成的杂交新品种^[1],其杂交亲本为‘赤霞珠’和‘歌海娜’。2001 年‘马瑟兰’引入中国,种植于河北省怀来县的中法庄园,植株生长势中等,结实性较好,抗病性强,产量达到 $25\ 099.5\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ^[2],目前我国山东烟台及蓬莱、陕西杨凌、新疆焉耆盆地等地区大面积推广栽培^[3]。该品种成熟时果皮呈紫黑色,皮厚、果粉多、果穗大但出汁率偏低,总酸和总糖含量高,单宁、总酚和花青素含量较高^[4],果实中具有区别于‘赤霞珠’的特征香气^[5],因此该品种综合品质符合酿制优质葡萄酒的要求。成品葡萄酒的香味来源于三个方面,首先是酿酒葡萄品种本身固有的特征香味,其次是葡萄在发酵制作过程中产生的香味,最后为在陈酿阶段产生的香味^[6],其中果实本身自带的芳香物质尤为重要,这决定了葡萄酒酿造工艺的选择,进而影响了成品葡萄酒的口感。葡萄果实中芳香物质组分主要包括醛类、醇类、酯类、酮类和萜烯类等,这些芳香物质组分综合作用于果实,使得酿酒葡萄散发出诱人的“香”味,而果实中芳香物质组分的形成又受到品种、栽培管理措施、成熟度等多种因素的影响。有关研究表明,葡萄植株处于高氮状态时能够增强对真菌的敏感性以及树体生长势,并且提高果实产量^[7],而低氮水平供应有利于果实中糖分和总酚含量的积累^[8-9],因此适量的氮肥施用能够提高果实内在品质;同时,合理的施肥量能够提高葡萄浆果中高级醇类、脂肪酸类、苯衍生物和烃类物质的含量,并且增加了前两类物质的种类,丰富了葡萄果实中的芳香物质^[10];葡萄树体在低水平氮素状态下限制了果实中香气前体物质的酸化过程及谷胱甘肽的合成^[11-12],而高水平氮素状态下葡萄酒中 3-巯基-1-己醇含量显著增加,这一现象的产生与葡萄浆果中该化合物所对应的谷胱甘肽含量息息相关^[13],说明葡萄树体内氮素水平能够影响果实芳香物质的产生。由此可见,利用外施氮肥能够有效调控葡萄树体发育,从而生产出高产优质的果实,为葡萄酒的酿造提供品质上乘的原料。

有关施入外源氮素如何影响葡萄果实的品质已有大量研究,但施用氮素总量如何影响酿酒葡萄

‘马瑟兰’果实中芳香物质的积累鲜有报道。因此,本研究以‘马瑟兰’为供试材料,通过不同尿素施用总量来控制树体氮素水平,测定不同处理下各生育期果实中芳香物质组分与含量,以期明确氮素对葡萄果实芳香物质形成的影响。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

1.1.1 试验材料 试验于 2016—2019 年在甘肃省武威市林业科学研究院进行,该试验基地海拔 1 632 m,日照充足且昼夜温差大、土层深厚、透气良好,年降雨量为 191 mm,年平均气温 6.9°C ,气候凉爽,无霜期超过 160 d,试验地土壤为中性到弱碱性的砾质沙壤土。以‘马瑟兰’葡萄作为供试品种,树龄为 9 a,株行距为 $0.5\ \text{m} \times 3\ \text{m}$,试验地采用滴灌灌溉,尿素随水施入,葡萄植株两侧开沟,分别施入过磷酸钙 $750\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,硫酸钾 $825\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,过磷酸钙在出土后第 1 次灌水前施入,硫酸钾在果实转色期施入。滴灌带壁厚 0.2 mm,滴孔间距 30 cm,单孔出水量 $3\ \text{L} \cdot \text{h}^{-1}$,灌水量及时间参照“武威莫高酿造葡萄滴灌配水定额表”^[9]进行,在试验中根据实际情况有所调整。

1.1.2 试验设计 试验共设置 4 个施氮处理,分别施入尿素 150 (N150)、300 (N300)、450 (N450) 和 $600\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N600),对照为整个生育期不施氮肥 (N0)。根据各生育期需肥特点,按以下比例分别施入:萌芽前(4 月 25 日)30%、新梢生长旺期(5 月 15 日)30%、开花期(6 月 5 日)10%、果实第 1 次膨大期(6 月 25 日)20%、果实第 2 次膨大期(8 月 25 日)10%。单行作为 1 个处理,每行定植 120 株,每个处理重复 3 次,共设置 15 行,连续 3 a 施肥处理并于第 3 年(2019 年)采样,分析不同处理芳香物质特征。分别于 7 月 31 日(花后 55 d,DAF55)、8 月 31 日(花后 85 d,DAF85)和 10 月 1 日(花后 116 d,DAF116)进行采样。采样于晴天早上 9:00—10:00 进行,在各处理小区内选取大小一致、着色均匀、无病虫害、无机械损伤的果穗,每行取 10 个果穗作为一个重复,每个处理共取 30 个果穗,采样后立即带回实验室。每个处理从果穗的上、中、下 3 个部

位随机选取 30 粒果实放入自封袋,液氮速冻并做好标记后放入超低温冰箱(−80℃)保存待测。果实成熟时,选取 30 株前期未进行采样的葡萄植株,将果穗全部采摘后称重,计算单株产量,换算为每公顷产量。产量($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)=单株产量(kg)×每公顷定植葡萄株数(株)/1000。

1.2 仪器与设备

1310-ISQ 型气相色谱-质谱联用仪(美国 Thermo Scientific 公司);75 μm CAR/PDMS 手动 SPME 进样手柄、萃取头(上海安谱科学仪器有限公司);HH-S 型恒温水浴锅(金坛市恒丰仪器厂)。

1.3 试验方法

1.3.1 果实香气物质的测定 果实香气物质的测定参照 Wang^[14] 等的方法并加以改进。从超低温冰箱内取出葡萄样品,去除果梗、葡萄籽,称取 100 g 放入小型榨汁机打成匀浆,加入 1 g PVPP 和 0.5 g D-葡萄糖酸内酯,4℃ 下超声提取 30 min,8 000 $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ 离心 10 min,取上层葡萄汁备用。将 10 mL 葡萄汁置于 20 mL 进样瓶中,加入 2.4 g NaCl 和 50 μL 浓度为 88.2 $\text{ng} \cdot \text{mg}^{-1}$ 的 2-辛醇(内标物),并放入磁力搅拌转子,用硅胶隔垫加盖密封。将 DVB/CAR/PAMS 纤维萃取头于 40℃ 下萃取 30 min,萃取后利用 GC-MS 进样分析,每个处理设置 3 次生物学重复。

1.3.2 气相质谱条件 进样量 1 μL ,不分流进样。进样口温度为 240℃;程序升温为:初始温度 40℃ 保持 2 min,以 3℃ · min^{-1} 升至 210℃ 后,再以 5℃ · min^{-1} 升至 240℃ 并保持 5 min。电离方式 EI;电离电压为 70 eV,在 35~350 $\text{m} \cdot \text{z}^{-1}$ 的质量范围内进行扫描。最后将检测出的化合物通过 NIST 和 Wiley 质谱库检索比对鉴别^[15]。

1.3.3 计算香气各组分的含量 根据前人已有的研究报道得出各挥发性物质的气味描述及阈值^[16-20](化合物气味阈值均为在水中的阈值浓度),分析施氮处理后果实香气物质特征;参考 Wu 等^[16] 的方法将‘马瑟兰’葡萄果实的挥发性物质进行香型分类。

香味各组分的含量($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)=[各组分的峰面积/内标的峰面积×内标浓度($\text{ng} \cdot \text{mg}^{-1}$)×0.05 (mL)×1 000]/样品量(g);香气值(U_0)=某种化合物的含量/该化合物的香气阈值,若 $U_0>1$ 则认为该物质为特征性香气物质。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 软件对试验数据进行统计处理,采用 SPSS 20 软件进行单因素方差分析来对比其差异显著性,利用 Origin 2018 软件构建‘马瑟兰’葡萄果实香气轮廓图。

2 结果与分析

2.1 不同施氮量处理下‘马瑟兰’葡萄果实主要香气成分分析

不同施氮量处理下‘马瑟兰’酿酒葡萄在不同生育期果实中各类芳香物质含量存在差异。由图 1 可知,N150 和 N300 果实中芳香物质总含量在 DAF85 时达到最高,分别为 2 914.64 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 4 249.80 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,N450 和 N600 果实中芳香物质总含量在 DAF55 时最高,分别为 20 122.28 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 5 526.81 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。共检测出 8 大类 43 种芳香物质,不同施氮量处理下果实中芳香物质均以醛类物质为主,含量介于 1 070.18~14 656.06 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间,且相对含量均超过芳香物质总量的 68%,其中 DAF55 时 N450 果实中醛类物质含量明显高于

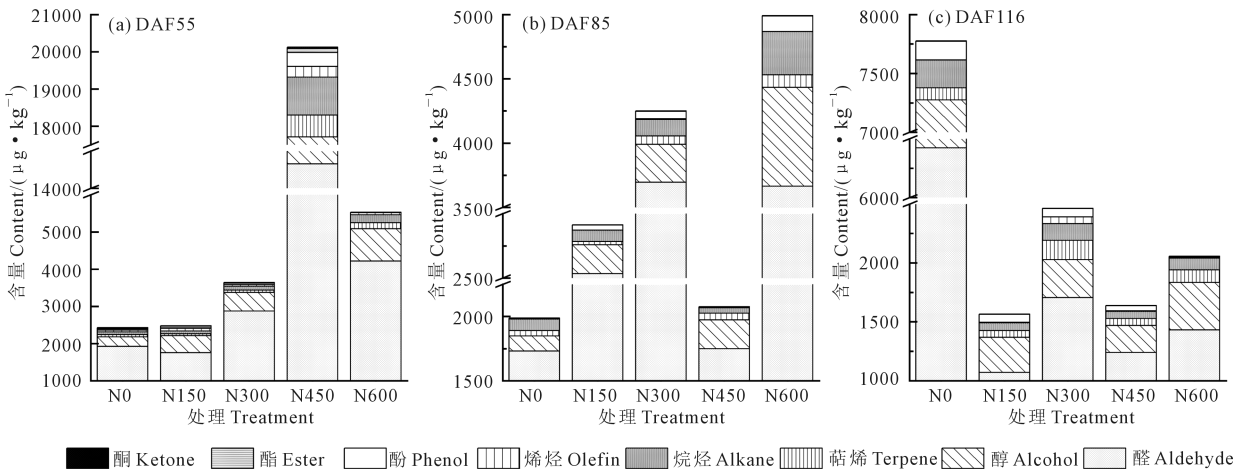


图 1 不同施氮量处理后‘马瑟兰’葡萄果实中芳香物质含量

Fig.1 Contents of various volatile substances in Marselan grape berries after different fertilization rates

其他处理,而 DAF85 时 N300 和 N600 醛类物质含量较高;其次是醇类物质,含量变化范围为 118.61 ~ 3 056.08 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,其中 DAF55 时 N450 果实中醇类物质含量明显高于其他处理,而 DAF85 时 N600 醇类物质含量较高;萜烯类、烷烃类、烯烃类、酚类、酯类和酮类物质在不同施氮量处理下含量较低,相对含量均不超过芳香物质总量的 7%,但 DAF55 时 N450 果实中这 6 种物质含量明显高于其他处理,DAF116 时 N300 萜烯类、烯烃类和酚类物质含量均较高,且 DAF85 时在各处理下均未检测到酯类物质。

由表 1 可知,DAF55 时‘马瑟兰’葡萄果实中共检测出 33 种芳香物质,且总含量随着施氮量的增加

表 1 各处理在 DAF55 时葡萄果实中芳香物质的含量/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

香气成分		处理 Treatment				
Aroma component		N0	N150	N300	N450	N600
酚类 Phenols	2,6-二叔丁基对甲酚 2,6-di-tert-butyl-p-cresol	26.59±3.59b	35.39±5.43b	34.41±1.03b	364.76±30.68a	—
	2,4-二叔丁基苯酚 2,4-ditertiary butyl phenol	0.95±0.21a	1.49±0.71a	0.95±0.07a	—	—
	苯酚 Phenol	0.51±0.03	—	—	—	—
	邻甲酚 O-cresol	0.41±0.08c	0.39±0.06c	—	6.18±0.23a	1.47±0.12b
	酚类含量 Phenol content	28.47±2.25c	37.26±1.99b	35.36±3.04b	370.94±11.02a	2.33±0.21d
烷烃类 Alkanes	2,2,6,6-四甲基-4-亚甲基庚烷 2,2,6,6-tetramethyl-4-methylene heptane	23.57±1.28	—	—	—	—
	十二烷 Dodecane	19.94±1.32b	30.20±4.26b	40.63±8.34b	506.35±54.69a	50.63±5.43b
	十六烷 Cetane	3.90±0.38a	4.88±0.16a	5.43±0.68a	—	—
	十四烷 Tetradecane	7.24±0.22	9.51±0.56	—	—	—
	正十三烷 N-tridecane	18.97±0.89b	24.89±1.91b	30.29±0.50b	235.72±23.92a	44.61±0.37b
	1,1-二乙基己烷 1,1-diethylhexane	—	6.75±0.63c	15.46±1.31c	278.53±37.39a	113.15±3.74b
	2,2,4,6,6-五甲基庚烷 2,2,4,6,6-pentamethylheptane	—	—	13.79±1.26	—	—
	烷烃类含量 Alkane content	73.62±5.22d	76.23±3.57d	105.59±6.35c	1020.60±22.09a	208.39±9.44b
烯烃类 Alkenes	2,2,4,6,6-五甲基-3-庚烯 2,2,4,6,6-pentamethyl-3-heptene	42.76±0.39bc	49.4±0.73b	46.69±1.16b	228.33±9.22a	31.53±0.25c
	双戊烯 Dipentene	5.55±0.47b	5.65±0.94b	—	58.91±4.08a	—
	茶香螺烷 Tea spirane	—	15.65±0.80	—	—	28.32±0.37
	烯烃类含量 Olefin content	48.31±5.55d	70.70±2.92b	46.69±4.11d	287.23±6.09a	59.85±3.24c
萜烯类 Terpenes	香叶醇 Geraniol	55.89±1.42c	47.73±3.67c	58.96±0.34c	532.37±14.46a	152.91±14.76b
	桃金娘烯醇 Myrtle enol	3.46±0.38c	4.67±0.16c	—	54.02±0.34a	12.60±0.5b
	萜烯类含量 Terpene content	59.36±1.12c	52.40±2.88c	58.96±4.15c	586.39±2.33a	165.51±4.12b
醛类 Aldehyde	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛 (E)-3,7-dimethyl-2,6-octadienal	3.60±0.65c	2.82±0.5c	—	55.59±3.89a	10.44±1.35b
	β-环柠檬醛 β-Cyclocitral	24.11±2.94	—	4.35±0.18	—	—
	苯甲醛 Benzaldehyde	42.85±2.48c	43.83±1.29c	51.82±2.11c	556.37±22.01a	104.35±5.86b
	苯乙醛 Phenylacetaldehyde	21.88±2.17c	20.20±2.21c	30.95±0.43c	212.44±6.96a	45.70±2.19b
	(E)-2-己烯醛 (E)-2-hexenal	1252.74±22.67bc	967.52±22.02c	1751.68±137.70b ^{cd}	12300.96±574.08a	2025.93±62.87b
	己醛 Hexanal	578.36±14.14c	710.69±22.62c	1037.12±12.83c	8404.93±584.72a	2029.28±149.13b
	(E)-2-庚烯醛 (E)-2-heptanaldehyde	—	8.55±0.36	—	—	—
	(E,E)-2,4-己二烯醛 (E,E)-2,4-hexadienal	—	—	—	125.77±5.88	—
	醛类含量 Aldehyde content	1923.54±21.30d	1753.62±18.44c	2875.90±31.51c	14656.06±20.22a	4215.70±24.14b
酯类 Esters	乙酸己酯 Hexyl acetate	3.52±0.26	—	—	—	—
	乙酸叶醇酯 Leaf acetate	26.44±0.87b	16.92±0.04c	19.06±0.70c	111.31±2.04a	—
	(Z)-丁酸-3-己烯酯 (Z)-3-Hexenyl butyrate	—	18.18±0.09	—	—	—
	酯类含量 Ester content	29.96±1.12c	35.10±2.44b	19.06±1.91d	111.31±6.43a	—
酮类 Ketones	β-紫罗酮 β-ionone	2.41±0.16c	2.39±0.24c	3.14±0.16c	33.68±1.31a	5.88±0.14b
	香叶基丙酮 Geranyl acetone	6.34±0.15	—	—	—	—
	酮类含量 Ketone content	8.75±0.62b	2.39±0.20c	3.14±0.41d	33.68±1.11a	5.88±0.21c
醇类 Alcohols	苯乙醇 Phenylethanol	16.59±0.24c	19.12±0.21c	—	183.85±3.40a	55.19±1.08b
	(E)-2-己烯醇 (E)-2-hexenol	99.29±7.29e	166.19±11.26d	231.20±10.74c	1156.6±22.96a	311.95±17.20b
	叶醇 Folic alcohol	26.97±1.77b	27.15±2.34b	31.64±0.42b	115.68±0.69a	33.18±1.72b
	正己醇 N-hexanol	113.96±3.85c	242.14±7.83bc	237.00±4.01bc	1599.95±137.76a	468.83±18.49b
	醇类含量 Alcohol content	256.80±10.22e	454.61±8.45d	499.84±9.35c	3056.08±17.64a	869.14±20.11b
总量 Total		2428.79	2482.31	3644.52	20122.28	5526.81

注：“—”表示未检测出该化合物,同行数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$),下同。
Note: “—” indicates that the compound is not detected. Different lowercase letters after peer data in the same line indicate significant differences ($P<0.05$), the same below.

表现出先升高后下降的趋势,在 N450 处理下达到最高,为 $20\,122.28\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。在该时期果实中芳香物质主要以醛类和醇类为主,且不同施氮量处理下相对含量分别介于 $70.64\%\sim 79.20\%$ 和 $10.57\%\sim 18.31\%$ 之间,其中醛类物质有 8 种,分别为 (E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛、 β -环柠檬醛、苯甲醛、苯乙醛、(E)-2-己烯醛、己醛、(E)-2-庚烯醛和 (E,E)-2,4-己二烯醛,随着施氮量的增加该类物质含量表现出先增加后降低的趋势,在 N450 处理下显著高于其他处理,且苯甲醛、苯乙醛、(E)-2-己烯醛和己醛为共有香气成分;醇类物质有 4 种,分别为苯乙醇、(E)-2-己烯醇、叶醇和正己醇,N450 处理下这 4 种化合物含量显著高于其他处理,分别为 183.85 、 $1\,156.6$ 、 115.68 、 $1\,599.95\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。其他芳香物质含量较低,总量介于 $7.38\%\sim 11.98\%$ 之间,且不同芳香物质含量均在 N450 处理下达到最高水平,其中萜烯类有 2 种,分别为香叶醇和桃金娘烯醇,而后者在 N300 处理下未检测到;烷烃类和烯烃类共有 10 种,其中十二烷、十三烷和 2,2,4,6,6-五甲基-3-庚烯为共有香气成分;酚类物质有 4 种,分别为 2,6-二叔丁基对甲酚、邻甲酚、2,4-二叔丁基苯酚和苯酚,且前两种芳香物质含量在 N450 处理下最高,分别是对照的 13.72 和 15.07 倍,其余两种芳香物质在该处理下未检测到;酯类物质有 3 种,分别为乙酸己酯、乙酸叶醇酯和 (Z)-丁酸-3-己烯酯,且 (Z)-丁酸-3-己烯酯是 N150 处理的独有香气成分,而乙酸己酯在不同施氮量处理后均未检测到;酮类物质有 β -紫罗酮和香叶基丙酮 2 种,前者含量随着施氮量的增加显著升高,N450 处理下达到最高,是对照的 14 倍,后者仅在 N0 处理中检测到。2,4-二叔丁基苯酚、苯酚、香叶基丙酮、乙酸己酯和 2,2,6,6-四甲基-4-亚甲基庚烷在施氮水平较高时果实中不能合成,可能是较高的氮素水平参与了相关代谢物质的降解过程或者其合成代谢在高氮水平下被抑制。而 1,1-二乙基己烷在不施氮情况下不能合成,随氮素水平增加含量逐渐增加,表明该类物质合成对氮素依赖性强,(E,E)-2,4-己二烯醛在特定氮素水平下合成,表明该类物质合成对氮素含量的敏感性较强。

由表 2 可知,DAF85 时‘马瑟兰’葡萄果实中共检测出 28 种芳香物质,且总含量随着施氮量的增加呈现出波动性变化的趋势,在 N450 和 N600 处理达到较高水平,分别为 $4\,249.80\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $4992.35\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,与对照相比分别增加了 1.14 和 1.51 倍,且多种芳香物质含量在 N600 处理下显著高于其他

施氮处理。该时期各处理下果实中醛类和醇类物质占芳香物质总量的比值较大,其相对含量之和介于 $88.80\%\sim 95.02\%$ 之间。醛类物质有 9 种,其中苯乙醛、(E)-2-己烯醛、己醛和苯甲醛为各处理共有香气成分,且前 3 种物质含量在 N600 处理下显著高于其他处理,分别为 42.27 、 $2\,596.73$ 、 $888.36\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,与对照相比分别提高了 2.14 倍、1.43 倍和 0.78 倍,苯甲醛含量总体随着施氮量的增加逐渐降低,2-己烯醛和 β -环柠檬醛分别是 N300 和 N450 处理的独有香气成分。醇类物质有 5 种,其中反式-2-己烯-1-醇、正己醇和 1-壬醇含量在 N600 处理下达到最大,且显著高于其他处理,而苯乙醇含量在 N300 和 N450 处理下显著高于其他处理,叶醇仅在 N600 处理下检测到;萜烯类物质有 3 种,分别为香叶醇、月桂烯和桃金娘烯醇,且 N600 处理香叶醇含量显著升高,桃金娘烯醇仅在 N450 处理下检测到,月桂烯在施氮处理后均未检测到;烷烃类和烯烃类物质共有 6 种,其中检测出的十二烷、十三烷和十六烷含量在 N0~N450 处理间无显著性差异,但均显著低于 N600 处理,该处理下含量分别为 85.35 、 $85.08\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $8.52\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,三十二烷、叶醇、(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛含量仅在 N600 下合成,表明过量氮肥条件下可能促使该类物质的大量积累。双戊烯在 N0、N300 和 N450 处理下无显著性差异,月桂烯在施氮处理下均无法合成,表明土壤氮肥的施用量或者果实中氮素含量水平可能很大程度影响该类香气物质的合成,推测在生产实践中可通过氮肥用量来调控该类物质的含量,进一步改善果实香气类型。2,4-二叔丁基苯酚、苯酚、邻甲酚、2,6-二叔丁基对甲酚和 β -紫罗酮含量随着施氮量的增加显著升高,在 N600 处理下达到最大,分别为 6.5 、 2.35 、 3.14 、 $109\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $3.46\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。十四烷和 2-己烯醛仅在 N300 下合成,推测该类物质在合成中对氮素水平有较严格的阈值。因此,通过氮肥水平调控可在一定程度上对果实香型产生影响。

成熟期果实芳香物质含量及种类是果实品质的主要指标之一,氮素水平对该时期果实芳香物质的影响尤为重要,由表 3 可知,(E,E)-2,4-己二烯醛、2-己烯醛、3-己烯醛和 (E)-2-辛烯-1-醇在施氮后果实中无法合成,表明氮素限制其合成代谢或者加速了其降解,果实中很难积累。DAF116 时‘马瑟兰’葡萄果实中共检测出 33 种芳香物质,N0 处理总含量为 $7\,776.13\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,显著高于其他施氮处理,而 N150~N600 处理总含量较低,分别为 $1\,564.91$ 、

表 2 各处理在 DAF85 时葡萄果实中芳香物质的含量/($\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Table 2 Effects of different treatments on the content of aromatic substances in grape berries with DAF85

香气成分		处理 Treatment				
Aroma component		NO	N150	N300	N450	N600
酚类 Phenols	2,4-二叔丁基苯酚 2,4-ditertiary butyl phenol	1.81±0.16c	0.90±0.13d	2.69±0.08b	1.13±0.17d	6.50±0.11a
	苯酚 Phenol	0.60±0.11b	0.49±0.02b	0.71±0.06b	0.58±0.02b	2.35±0.16a
	邻甲酚 O-cresol	0.64±0.01cd	0.54±0.03d	0.94±0.02b	0.88±0.01bc	3.14±0.12a
	2,6-二叔丁基对甲酚 2,6-di-tert-butyl-p-cresol	—	39.37±3.28b	54.72±5.22b	—	109.00±0.76a
	酚类含量 Phenol content	3.05±0.33d	41.30±2.85c	59.06±7.51b	2.58±0.99d	120.99±4.28a
烷烃类 Alkanes	十二烷 Dodecane	53.32±4.6b	52.20±1.64b	60.39±3.03b	—	85.35±2.26a
	十三烷 Tridecane	35.73±1.56b	35.29±1.4b	36.10±0.38b	37.66±2.17b	85.08±1.82a
	十六烷 Cetane	—	—	3.21±0.06b	3.58±0.12b	8.52±0.25a
	十四烷 Tetradecane	—	—	29.58±0.19	—	—
	三十二烷 N-dotriacontane	—	—	—	—	158.74±5.27
	烷烃类含量 Alkane content	89.05±6.71c	87.49±4.25c	129.28±1.19b	41.23±2.88d	337.69±11.30a
烯烃类 Alkenes	双戊烯 Dipentene	4.51±0.15a	—	4.61±0.36a	5.26±0.32a	—
	烯烃类含量 Olefin content	4.51±0.49a	—	4.61±0.05a	5.26±0.22a	—
萜烯类 Terpenes	香叶醇 Geraniol	36.89±1.26d	25.06±2.23e	64.47±1.5b	50.30±0.11c	96.83±2.7a
	月桂烯 Myrcene	4.35±0.15	—	—	—	—
	桃金娘烯醇 Myrtle enol	—	—	—	1.85±0.09	—
	萜烯类含量 Terpene content	41.24±2.53d	25.06±1.11e	64.47±0.94b	52.15±4.15c	96.83±1.77a
醛类 Aldehyde	苯甲醛 Benzaldehyde	140.47±5.39a	115.16±0.66c	95.12±1.55d	54.95±0.27e	125.98±1.95b
	苯乙醛 Phenylacetaldehyde	13.48±0.93c	13.12±1.65c	15.62±1.52c	22.23±0.08b	42.27±2.67a
	(E)-2-己烯醛 (E)-2-hexenal	1066.73±14.27c	1646.59±21.00b	1711.53±38.01b	1117.56±73.24c	2596.73±28.57a
	己醛 Hexanal	499.06±8.74d	758.31±24.50c	815.32±7.31b	551.70±35.03d	888.36±6.27a
	壬醛 Nonanal	10.75±0.56	—	17.29±1.07	—	—
	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	—	—	2.83±0.01b	2.61±0.24b	9.30±0.24a
	(E)-3,7-dimethyl-2,6-octadienal	—	—	—	—	—
	(Z)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	—	—	—	—	1.38±0.05
	(Z)-3,7-dimethyl-2,6-octadienal	—	—	—	—	—
	2-己烯醛 2-hexenal	—	—	1038.18±10.82	—	—
酮类 Ketones	β-环柠檬醛 β- Cyclocitral	—	—	—	0.55±0.06	—
	醛类含量 Aldehyde content	1730.48±17.40c	2533.19±18.33b	3695.88±20.08a	1749.59±40.55c	3664.02±18.36a
	β-紫罗酮 β-ionone	0.85±0.04c	1.73±0.35b	2.30±0.12b	2.27±0.27b	3.46±0.11a
	酮类含量 Ketone content	0.85±0.11c	1.73±0.20b	2.30±0.09b	2.27±0.33b	3.46±0.15a
	苯乙醇 Phenylethanol	7.65±0.36c	7.38±0.19c	18.23±0.57a	18.38±0.04a	16.08±1.16b
醇类 Alcohols	反式-2-己烯-1-醇 Trans-2-hexene-1-ol	37.00±1.69b	42.70±0.52b	65.37±1.21b	53.07±0.93b	249.6±24.47a
	正己醇 N-hexanol	73.97±3.59e	175.78±6.26c	207.49±3.99b	146.11±2.89d	447.20±8.23a
	1-壬醇 1-Nonanol	—	—	—	6.35±0.04b	9.57±0.20a
	叶醇 Folic alcohol	—	—	—	—	46.92±0.27
	醇类含量 Alcohol content	118.61±8.02d	225.87±3.55c	294.21±9.10b	223.90±2.94c	769.36±11.38a
总量 Total		1987.78	2914.64	4249.80	2076.96	4992.35

2 464.60、1 637.93、2 056.90 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。在该时期果实中芳香物质以醛类和醇类为主,不同施氮量处理这两类物质的相对含量变化范围分别是 68.39%~87.06%和 5.97%~19.50%,其中醛类物质有 8 种,共有香气成分为苯甲醛、(E)-2-己烯醛、苯乙醛和己醛,苯甲醛和(E)-2-己烯醛在 N0 处理下含量均显著高于施氮处理,分别为 191.14 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 3 774.31 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,之后随着施氮量的增加表现出先升高后降低的趋势,在 N300 处理下出现峰值,己醛含量在施氮处理后显著低于 N0 处理,且在不同施氮量间无显著性差异,而(E,E)-2,4-己二烯醛、2-己烯醛和 3-己烯醛均仅在 N0 处理检测出;醇类物质有 7 种,其中(E)-2-辛烯-1-醇和庚乙二烯乙

二醇分别为 N0 和 N150 处理的独有香气成分,1-壬醇含量在 N300 处理下为 5.2 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,显著高于其他处理,(E)-2-己烯-1-醇、苯乙醇、叶醇和正己醇含量均在 N0 处理下最高;月桂烯含量随施氮量的增加显著降低,而在 N0 和 N150 处理下未检测到该物质;烷烃类和烯烃类物质共有 7 种,分别为十二烷、十三烷、十四烷、十六烷、2,2,6,6-四甲基-4-亚甲基庚烷、双戊烯和 2,2,4,6,6-五甲基-3-庚烯,其中 2,2,6,6-四甲基-4-亚甲基庚烷和 2,2,4,6,6-五甲基-3-庚烯均为 N300 处理的独有香气成分;酚类物质有 5 种,其中 2,4-二叔丁基苯酚、2,6-二叔丁基对甲酚、苯酚和邻甲酚含量随着施氮量的增加表现出逐渐降低的趋势,且 N0 处理下含量显著高

于其他处理;酯类物质有棕榈酸异丙酯和十四酸乙酯,分别在 N300 和 N600 处理下检测到,且含量较低,分别为 $1.80\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $1.39\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$;酮类物质仅检测出 β -紫罗酮,在 N0 处理下最高,为 $4.45\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

2.2 不同施氮量处理下‘马瑟兰’葡萄果实中特征香气成分分析

在不同施氮量处理下‘马瑟兰’葡萄果实中共检测出 43 种芳香物质,但由于香气阈值存在差异,

果实的香味类型不仅取决于化合物浓度的大小,还与各种化合物所对应的嗅感阈值相关,而该嗅感阈值又受到所处介质的影响。由表 4 可知,‘马瑟兰’葡萄果实不同施氮量处理下共有 13 种特征香气成分,包括 6 种醛类化合物,醇类化合物和萜烯类化合物各 3 种,以及 1 种酮类化合物,其中苯乙醛、(E)-2-己烯醛、己醛和 β -紫罗酮为共有的特征香气成分,且这 4 种化合物的香气值在 DAF55 时 N300 处理下达到最大,DAF85 时在 N600 处理下达

表 3 各处理在 DAFF116 时葡萄果实中芳香物质的含量/($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

香气成分		处理 Treatment				
Aroma component		N0	N150	N300	N450	N600
酚类 Phenols	2,4-二叔丁基苯酚 2,4-ditertiary butyl phenol	4.51±0.23a	2.46±0.01b	1.29±0.15b	1.98±0.67b	1.22±0.14b
	2,6-二叔丁基对甲酚 2,6-di-tert-butyl-p-cresol	146.54±0.19a	61.45±0.43b	63.85±3.18b	37.82±1.72c	—
	苯酚 Phenol	2.88±0.14a	1.00±0.09bc	1.28±0.03b	0.76±0.02c	0.81±0.04c
	邻甲酚 O-cresol	3.19±0.29a	1.31±0.07c	2.43±0.20b	1.43±0.07c	1.80±0.13c
	2-硝基-4-甲苯酚 2-nitro-4-cresol	—	1.20±0.01b	1.85±0.09a	1.81±0.06a	1.91±0.02a
酚类含量 Phenol content		157.11±2.45a	67.42±6.13b	70.69±2.40b	43.79±3.09c	5.74±1.02d
烷烃类 Alkanes	十二烷 Dodecane	129.65±1.01a	30.61±1.56d	50.43±0.61b	27.18±0.72d	44.42±2.31c
	十六烷 Cetane	9.59±0.53b	3.52±0.02d	11.92±0.13a	1.89±0.19e	4.98±0.06c
	十三烷 Tridecane	96.61±1.03a	32.84±0.93d	71.93±0.72b	22.71±1.21e	39.81±1.10c
	2,2,6,6-四甲基-4-亚甲基庚烷	—	—	9.62±0.67	—	—
	十四烷 Tetradecane	—	—	—	9.00±0.75	12.28±0.79
烷烃类含量 Alkane content		235.85±5.65a	66.97±2.17d	143.90±4.94b	60.78±6.21d	101.49±4.77c
烯烃类 Alkenes	双戊烯 Dipentene	—	5.08±0.27b	—	4.67±0.10b	6.06±0.16a
	2,2,4,6,6-五甲基-3-庚烯	—	—	56.06±0.76	—	—
	2,2,4,6,6-pentamethyl-3-heptene	—	—	—	—	—
烯烃类含量 Alkenes		—	5.08±0.77c	56.06±2.19a	4.67±0.84c	6.06±0.21b
萜烯类 Terpenes	香叶醇 Geraniol	95.50±3.83a	54.42±1.30b	101.00±5.65a	50.69±0.38b	92.24±1.86a
	月桂烯 Myrcene	—	—	55.86±2.15a	5.31±0.03c	12.06±0.84b
	桃金娘烯醇 Myrtle enol	7.99±0.08a	2.09±0.05d	6.24±0.10b	1.99±0.09d	3.06±0.34c
	萜烯类含量 Terpene content	103.49±7.17b	56.51±1.29c	163.10±3.94a	57.99±8.11c	107.35±4.66b
醛类 Aldehyde	(E)-3,7-二甲基-2,6-辛二烯醛	—	—	5.63±0.06a	2.29±0.12c	3.44±0.10b
	(E)-3,7-dimethyl-2,6-octadienal	—	—	—	—	—
	(E,E)-2,4-己二烯醛 (E, E)-2,4-hexadienal	55.41±1.25	—	—	—	—
	2-己烯醛 2-hexenal	150.61±2.42	—	—	—	—
	3-己烯醛 3-hexenal	52.38±0.52	—	—	—	—
	苯甲醛 Benzaldehyde	191.14±6.36a	86.67±1.97c	132.96±0.52b	57.62±4.81d	57.20±1.27d
	苯乙醛 Phenylacetaldehyde	36.47±1.86b	31.52±1.70b	22.79±0.34b	236.81±11.27a	39.85±1.51b
	(E)-2-己烯醛 (E)-2-hexenal	3774.31±179.45a	529.61±14.40c	1016.92±79.72b	632.35±3.46c	847.00±7.48bc
酯类 Esters	己醛 Hexenal	2162.01±131.07a	422.39±3.33b	527.80±17.49b	311.74±11.14b	484.86±4.09b
	醛类含量 Aldehyde content	6422.32±17.66a	1070.18±28.34e	1706.10±16.20b	1240.80±55.11d	1432.34±39.38c
	棕榈酸异丙酯 Isopropyl palmitate	—	—	1.80±0.09	—	—
	十四酸乙酯 Tetradecanoic acid ethyl ester	—	—	—	—	1.39±0.16
	酯类含量 Ester content	—	—	1.80	—	1.39
酮类 Ketones	β -紫罗酮 β -ionone	4.45±0.28a	0.59±0.06c	1.54±0.01b	0.67±0.05c	1.47±0.11b
	酮类含量 Ketone content	4.45±0.99a	0.59±0.08c	1.54±0.08bb	0.67±0.10c	1.47±0.02b
	1-壬醇 1-Nonanol	4.16±0.14b	3.37±0.01c	5.20±0.13a	3.28±0.15c	3.55±0.20c
醇类 Alcohols	(E)-2-己烯-1-醇 (E)-2-hexenol	185.78±12.79a	134.98±12.85b	—	—	158.92±4.61ab
	苯乙醇 Phenylethanol	56.59±0.19a	28.31±0.13c	40.80±1.07b	20.82±0.28d	40.52±1.39b
	(E)-2-辛烯-1-醇 (E)-2-octene-1-alcohol	2.08±0.08	—	—	—	—
	叶醇 Folic alcohol	46.09±3.70a	9.09±0.56b	—	19.38±0.02b	—
	正己醇 N-hexanol	558.22±11.60a	122.23±2.40d	275.44±1.58b	185.73±5.14c	198.05±9.48c
	庚乙二烯乙二醇	—	-0.18±0.01	—	—	—
醇类含量 Alcohol content		852.91±22.09a	298.16±10.11c	321.43±9.18c	229.22±12.34d	401.05±10.55b
总量 Total		7776.13	1564.91	2464.60	1637.93	2056.90

表 4 不同施氮量处理后‘马瑟兰’葡萄果实特征香气成分及其香气值
Table 4 Characteristic aroma components and aroma values of Marselan grapes berries at different nitrogen application rate

特征香气 Characteristic aroma	阈值 Odor threshold /(μg · L ⁻¹)	香味描述 Odorant description	香系 Odorant series	DAF55						DAF85						DAF116					
				N0	N150	N300	N450	N600	N0	N150	N300	N450	N600	N0	N150	N300	N450	N600			
香叶醇 Folic alcohol	40	柠檬味、花香、玫瑰味 Lemon, flowery, rose	2	1.40	1.19	1.47	13.31	3.82	0.92	0.63	1.61	1.26	2.42	2.39	1.36	2.53	1.27	2.31			
月桂烯 Myrcene	36	青草、草木、烤香味 Grass, floral, roasted	1,5	-	-	-	-	-	0.12	-	-	-	-	-	-	1.55	0.15	0.33			
桃金娘烯醇 Myrtle enol	7	花香、薄荷香 Flowery, minty note	1,2	0.49	0.67	-	7.72	1.80	-	-	-	0.26	-	1.14	0.30	0.89	0.28	0.44			
苯甲醛 Benzaldehyde	350	芳香、焦糖味 Fragrance, caramel	2,3,4,5	0.12	0.13	0.15	1.59	0.30	0.40	0.33	0.27	0.16	0.36	0.55	0.25	0.38	0.16	0.16			
苯乙醛 Phenylacetaldehyde	4	花香、玫瑰味 Flowery, rose	2	5.47	5.05	7.74	53.11	11.43	3.37	3.28	3.91	5.56	10.57	9.12	7.88	5.70	59.20	9.96			
(E)-2-己烯醛 (E)-2-hexenal	17	青草、草木 Grass, floral	1	73.69	56.91	103.04	311.82	13.29	62.75	96.86	100.68	65.74	152.75	222.02	31.15	59.82	37.20	49.82			
己醛 Hexanal	4.5	绿色蔬菜 Green vegetables	1	128.52	157.93	230.47	1867.8	450.95	110.90	168.51	181.18	122.60	197.41	480.45	93.86	117.29	69.27	107.75			
壬醛 Nonanal	1	脂肪、青菜、果味 Fat, green, fruity	1,3	-	-	-	-	-	10.75	-	17.29	-	-	-	-	-	-	-			
3-己烯醛 3-hexenal	0.25	青草 Grass	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	209.52	-	-	-	-			
β-紫罗酮 β-ionone	0.007	脂膏香、紫罗兰香 Balsamic, violet	2,7	344.29	340.95	447.86	4811.40	840.48	120.95	247.62	329.05	324.29	494.76	635.71	84.29	219.29	95.71	210.00			
(E)-2-己烯-1-醇 (E)-2-hexene-1-ol	100	草本香、青菜味 Herbaceous, green	1	0.99	1.66	2.31	11.57	3.12	0.37	0.43	0.65	0.53	2.50	1.86	1.35	-	-	1.59			
叶醇 Folic alcohol	70	草本香、青菜味、脂肪 Herbaceous, green, fat	1,6	0.39	0.39	0.45	1.65	0.47	-	-	-	-	0.67	0.66	0.13	-	0.28	-			
正己醇 N-hexanol	500	花香、鲜草味、草木 Flowers, fresh grass, floral	1,2	0.23	0.48	0.47	3.20	0.94	0.15	0.35	0.41	0.29	0.89	1.12	0.24	0.55	0.37	0.40			

注:香系为:1:草香;2:花香;3:果香;4:甜香;5:烤香;6:脂防香;7:脂膏香。
Note: Odor series are: 1: Grass; 2: Flower; 3: Fruity; 4: Sweet; 5: Roasted; 6: Fatty; 7: Oily.

到最大。与对照相比,β-紫罗酮香气值在各施氮处理下明显升高,说明该化合物对‘马瑟兰’葡萄果实的香味贡献最大,且该香系属于花香和脂膏香;己醛和(E)-2-己烯醛对葡萄果实的香味贡献次之,且香系均属于草香,苯乙醛香气值在共有特征香气成分中最低,香系属于花香;N450 处理下,在 DAF55 时苯甲醛和叶醇的香气值均大于 1,N300 处理下,在 DAF116 时月桂烯香气值大于 1;N0 处理下桃金娘烯醇的香气值在 DAF116 时大于 1,N0 和 N300 处理下 DAF85 时壬醛香气值大于 1,分别为 10.75 和 17.29,N0 处理下在 DAF116 时正己醇香气值大于 1。

2.3 不同施氮量处理下‘马瑟兰’葡萄果实的香型分析

由图 2 可知,在‘马瑟兰’葡萄果实不同生育期施氮处理对果实的香型存在一定影响。DAF55 时,N0~N300 处理果实草香、脂膏香、花香、脂肪香、烤香、甜香和果香分布基本一致,N450 处理果实脂膏香、草香和花香占比增加,其他香气类型和 N0~N300 处理无差异,施氮量增加至 N600 时,果实脂膏香、草香和花香显著增加,脂膏香和花香均为 N450 处理的 5 倍以上,草香为 N450 处理的 2 倍以上,其他处理无显著变化,因此该时期果实香型主要以脂膏香和花香为主,并且在 N600 时表现最为明显。DAF85 时,相较前一时期,果实的草香占比增加,

N450 和 N0 无显著差异,N600 相较其他处理草香增加最为显著,脂膏香和花香在该时期均随施氮量增加而增加,该时期果实香型以脂膏香和花香为主的同时,草香占比增加。DAF116 时,相比其他处理 N0 果实香气增加最显著,平均是其他施氮处理的 3.62 倍~7.66 倍,该处理下果实草香最为浓郁,其次为脂膏香和花香,并且脂膏香和花香占比一致。N300 和 N600 处理果实香型为脂膏香、草香和花香,且 3 个香型占比接近。

2.4 不同施氮量对‘马瑟兰’葡萄产量的影响

测定不同施氮处理下葡萄产量发现(图 3),N600 处理下果实产量达到 16.07 t·hm⁻²,显著高于其他处理,N450、N300 和 N150 处理葡萄产量无显著差异,分别为 15.41、15.27 t·hm⁻²和 14.90 t·hm⁻²,N0 产量最低,为 11.58 t·hm⁻²。

3 讨 论

芳香物质是构成果实风味复合物的的重要组成部分之一,同时也是果实品质中重要的感官指标之一。果实中香气物质的形成受到众多因素的影响,如葡萄品种、栽培管理措施、土壤条件、气候因素等。王安妮^[21]对‘马瑟兰’葡萄进行铺膜与摘叶处理,结果共检测到 39 种香气物质,其中酯类为主要香气成分;覆膜时期也会影响果实中芳香物质种类的分布,

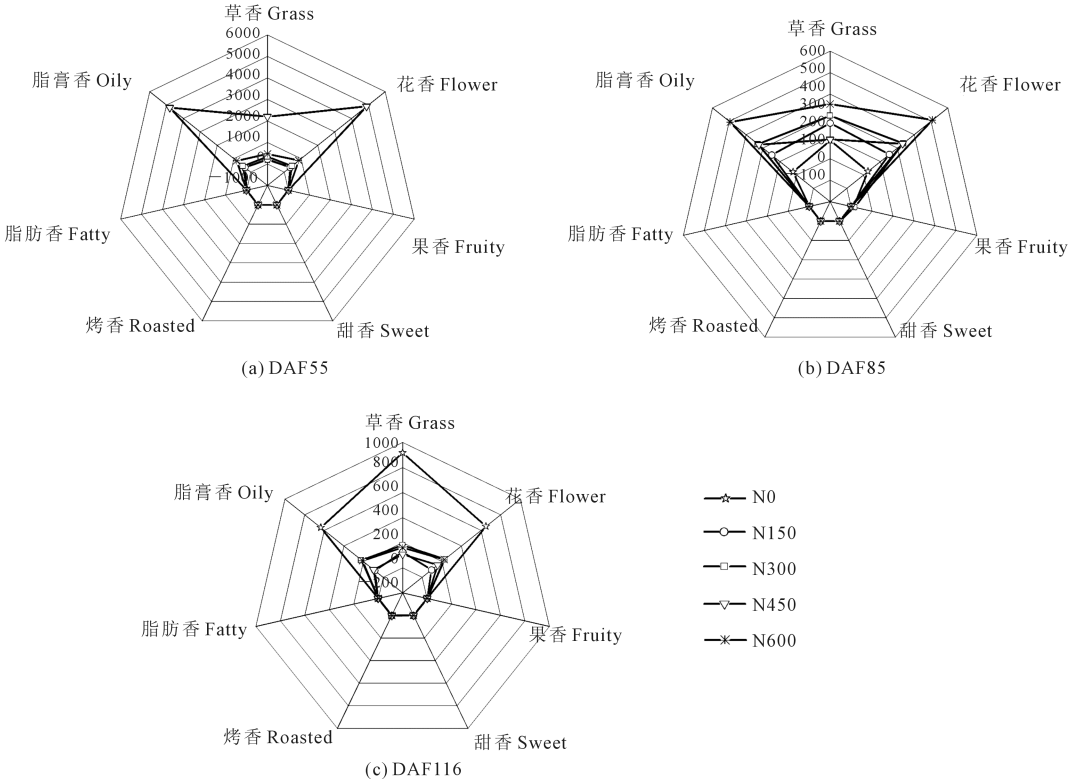
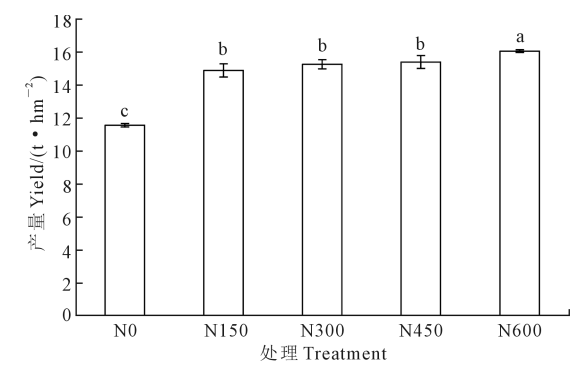


图 2 ‘马瑟兰’葡萄果实香气轮廓图

Fig.2 Aroma component profile of Marselan grape berries



注：不同小写字母表示各处理间差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters indicate significant differences among treatments ($P<0.05$).

图 3 不同施氮量下的果实产量

Fig.3 Fruit yield under different nitrogen application rates

花期覆膜能够有效促进果实中醛类物质的积累,且此时果实中香气物质种类最为丰富,而选择在转色期覆膜酮类物质及芳香物质总含量达到最高;同时,适当摘叶能够不同程度增加葡萄果实及葡萄酒中的芳香物质含量^[22],可见农艺措施的运用对果实芳香物质影响显著。本研究在‘马瑟兰’果实 3 个采样时期中共检测出 43 种芳香物质组分,醛类物质含量最多,占芳香物质总含量的 68% 以上,这与姜雪峰^[23]在‘马瑟兰’葡萄中的研究结果一致;对成熟期‘马瑟兰’果实中香气物质进行测定,发现共检测出 52 种香气物质,其中以醇类、酯类和醛类物质含量为最高^[24],这与本研究结果有所不同,可能是由于栽培环境及管理措施的不同造成试验结果存在差异。

本研究中 DAF116 时检测出 33 种芳香物质,对照果实中芳香物质含量达到最高,为 $7\,776.13\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,其次是 N300 处理,为 $2\,464.60\,\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,史星云等^[10]也认为 $160\,\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$: $12\,\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$: $210\,\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ (N : P_2O_5 : K_2O) 施氮水平下‘马瑟兰’果实中香气物质含量最高。一部分芳香物质含量很低,但由于其嗅感阈值更低,因此对浆果产生较大影响,该类芳香物质称为特征香气成分^[25-26],本研究 3 个采样时期各处理的共有特征香气成分为己醛、苯乙醛、(E)-2-己烯醛和 β -紫罗酮,前两者属于草香型香味^[18],后两者属于花香系列,且 β -紫罗酮也具有脂膏香味^[27-28],它们为‘马瑟兰’果实提供了基本的香味特征。N300、N450 和 N600 处理下的香叶醇及 N600 处理下的 (E)-2-己烯-1-醇,分别属于花香和草本香^[20,30],决定了不同施氮量下果实的特异性。

葡萄果实芳香物质组分尤其是特征香气组分的前体物质是果实中的糖类、脂肪酸和氨基酸等^[29],而植株内氮素营养参与了果实中糖类及氨基

酸等物质的合成^[30-31],因此合理的施氮水平有利于调节果实中芳香物质的形成,进而选择性地保持果实的风味品质。3 个采样时期的共有香气成分含量随着施氮量的增加均表现出不同程度的升高,其中 DAF55 时共有特征香气含量均呈现先升高后降低的趋势,在 N450 处理下达到最大;DAF85 时共有特征香气含量随施氮量的增加逐渐升高且 N450 处理下达到最大;DAF116 时共有特征香气含量呈现出波动性变化,但除苯乙醛以外剩余 3 种芳香物质含量均在对照处理下最高。另外,施氮处理还会影响果实中香味分布情况,本研究中 N450 对 DAF55 果实香味分布影响最为显著,使草香味明显变淡,果实香味以脂膏香和花香为主;N600 对 DAF85 果实香味分布影响最大,改变了果实原本以草香味为主的分布特征,使得脂膏香和花香最为浓郁。

4 结 论

施氮量不同显著影响了不同时期果实中的芳香物质含量,‘马瑟兰’果实中芳香物质以醛类为主,相对含量达到总含量的 68% 以上,施氮处理均能够增加 DAF85 前果实中挥发性物质含量,而在采收期 (DAF116) 对照果实中挥发性物质含量显著高于施氮处理。DAF116 时,不施氮果实中芳香物质含量高于施氮处理 3.56 倍以上。月桂烯是‘马瑟兰’果实的特征性芳香物质之一,主要在成熟果实中含量丰富,且在 N300 处理下香气值最高,3-乙醛是不施氮果实中的特征性香气物质。‘马瑟兰’果实香型以脂膏香和花香为主,施氮可增加原有香型比例,但不会改变整个生育期果实香味类型,而不施氮果实在成熟时以草香型为主,改变了原有香味特征。

参 考 文 献:

[1] 丁琦,李琪,张晓煜,等.宁夏贺兰山东麓产区‘马瑟兰’葡萄最佳采收期的确定[J].果树学报,2020,37(4):533-539.
DING Q, LI Q, ZHANG X Y, et al. Determination of the optimal harvesting period for ‘Marselan’ grape in east foot of Helan Mountain Region[J]. Journal of Fruit Science, 2020, 37(4): 533-539.

[2] 白世贱,户金鸽,蔡军社,等.砧木对极端干旱区马瑟兰葡萄光合及酿酒特性的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2021,49(3):129-137.
BAI S J, HU J G, CAI J S, et al. Effects of rootstocks on photosynthesis and vinification characteristics of Marselan grape in extreme arid region[J]. Journal of Northwest A & F University(Natural Science Edition), 2021, 49(3): 129-137.

[3] 高展,彭媛媛,董凯向,等.不同砧木对马瑟兰葡萄生长及果实品质的影响[J].华北农学报,2019,34(5):170-176.
GAO Z, PENG Y Y, DONG K X, et al. Effects of different rootstocks on the growth and fruit quality of Marselan grapes[J]. Acta Agriculturae Borali-Sinica, 2019, 34(5): 170-176.

[4] 艾丽丽,张振文.沙城产区主栽酿酒葡萄品质的研究[J].西北农业

- 学报,2011,20(8):116-120.
- AI L L, ZHANG Z W. The research on the quality of main wine grapes in Shacheng region[J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2011, 20(8): 116-120.
- [5] 宿萌,李蕊蕊,王欢,等.戴尔有孢圆酵母对品丽珠和马瑟兰葡萄酒香气物质的影响[J].食品与发酵工业,2020,46(21):62-69.
- SU M, LI R R, WANG H, et al. Effects of *Torulaspora delbrueckii* on the aroma compounds of cabernet franc and Marselan wines[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(21): 62-69.
- [6] YAO Y, CHEN K, YANG X Y, et al. Comparative study of the key aromatic compounds of *Cabernet Sauvignon* wine from the Xinjiang region of China[J]. Journal of Food Science and Technology, 2021, 58(6): 2109-2120.
- [7] STEFANELLO L O, SCHWALBERT R, SCHWALBERT R A, et al. Nitrogen supply method affects growth, yield and must composition of young grape vines (*Vitis vinifera* L. cv *Alicante Bouschet*) in southern Brazil[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 261: 108910.
- [8] KOBAYASHI Y, YAMAMOTO T, IKEDA H, et al. Effects of constantly high soil water content on vegetative growth and grape quality in Japan with high rainfall during grapevine growing season[J]. Folia Horticulturae, 2020, 32(2): 135-145.
- [9] 马宗桓,陈佰鸿,胡紫璟,等.施氮时期对干旱荒漠区“蛇龙珠”葡萄叶片糖代谢及果实品质的影响[J].干旱地区农业研究,2018,36(6):145-152, 167.
- MA Z H, CHEN B H, HU Z J, et al. Effects of nitrogen application on leaf sugar metabolism and fruit quality of ‘Cabernet Gernischt’ grape in arid desert region[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2018, 36(6): 145-152, 167.
- [10] 史星雲,徐珊珊,张兆铭,等.不同施肥量对酿酒葡萄“马瑟兰”果实香气成分的影响[J].林业科技通讯,2019,(9):59-67.
- SHI X Y, XU S S, ZHANG Z M, et al. Effects of different fertilization rates on aroma components of ‘Marselan’ wine grape[J]. Forest Science and Technology, 2019,(9): 59-67.
- [11] CARRAU F, MEDINA K, FARIÑA L, et al. Effect of *Saccharomyces cerevisiae* inoculum size on wine fermentation aroma compounds and its relation with assimilable nitrogen content[J]. International Journal of Food Microbiology, 2010, 143(1/2): 81-85.
- [12] DES GACHONS C P, LEEUWEN C V, TOMINAGA T, et al. Influence of water and nitrogen deficit on fruit ripening and aroma potential of *Vitis vinifera* L cv Sauvignon blanc in field conditions[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2005, 85(1): 73-85.
- [13] HELWI P, GUILLAUMIE S, THIBON C, et al. Vine nitrogen status and volatile thiols and their precursors from plot to transcriptome level[J]. BMC Plant Biology, 2016, 16(1): 173.
- [14] WANG X J, TAO Y S, WU Y, et al. Aroma compounds and characteristics of noble-rot wines of Chardonnay grapes artificially botrytized in the vineyard[J]. Food Chemistry, 2017, 226: 41-50.
- [15] MA Z H, YANG S J, MAO J, et al. Effects of shading on the synthesis of volatile organic compounds in ‘Marselan’ grape berries (*Vitis vinifera* L.)[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2021, 40(2): 679-693.
- [16] WU Y S, DUAN S Y, ZHAO L P, et al. Aroma characterization based on aromatic series analysis in table grapes[J]. Scientific Reports, 2016, 6: 31116.
- [17] PINO J A. Odour-active compounds in mango (*Mangifera indica* L. cv. Corazón)[J]. International Journal of Food Science & Technology, 2012, 47(9): 1944-1950.
- [18] PINO J A, MESA J. Contribution of volatile compounds to mango (*Mangifera indica* L.) aroma[J]. Flavour and Fragrance Journal, 2006, 21(2): 207-213.
- [19] VILANOVA M, GENISHEVA Z, BESCANS L, et al. Changes in free and bound fractions of aroma compounds of four *Vitis vinifera* cultivars at the last ripening stages[J]. Phytochemistry, 2012, 74: 196-205.
- [20] FENOILL J, MANSO A, HELLÍN P, et al. Changes in the aromatic composition of the *Vitis vinifera* grape Muscat Hamburg during ripening[J]. Food Chemistry, 2009, 114(2): 420-428.
- [21] 王安妮.不同栽培及酿造措施对‘马瑟兰’葡萄及葡萄酒品质影响的研究[D].烟台:烟台大学,2019.
- WANG A N. Study on quality control of ‘Marselan’ grape and wine with different cultivation and brewing measures[D]. Yantai: Yantai University, 2019.
- [22] 李志宇,都振江,王俊芳,等.摘叶对赤霞珠葡萄及所酿葡萄酒品质的影响[J].核农学报,2018,32(11):2178-2186.
- LI Z Y, DOU Z J, WANG J F, et al. Effect of leaf removing on grape berry and their wine quality of Carbenet Sauvignon[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2018, 32(11): 2178-2186.
- [23] 姜雪峰.不同果袋对‘马瑟兰’葡萄果实品质和香气成分的影响[D].兰州:甘肃农业大学,2018.
- JIANG X F. Effects of different bags on fruit quality and aroma components in grape cv. ‘Marselan’[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2018.
- [24] LYU J H, MA Y, XU Y, et al. Characterization of the key aroma compounds in Marselan wine by gas chromatography-olfactometry, quantitative measurements, aroma recombination, and omission tests[J]. Molecules, 2019, 24(16): 2978.
- [25] SUN J, MA M J, SUN B G, et al. Identification of characteristic aroma components of butter from Chinese butter hotpot seasoning[J]. Food Chemistry, 2021, 338: 127838.
- [26] 李晓颖,武军凯,王海静,等.欧李果实发育期内挥发性成分变化特征[J].中国农业科学,2021,54(9):1964-1980.
- LI X Y, WU J K, WANG H J, et al. Characterization of volatiles changes in Chinese dwarf cherry fruit during its development[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2021, 54(9): 1964-1980.
- [27] GENOVESE A, LAMORTE S A, GAMBUTI A, et al. Aroma of *Aglianico* and *Uva di troia* grapes by aromatic series[J]. Food Research International, 2013, 53(1): 15-23.
- [28] BELISARIO-SÁNCHEZ Y Y, TABOADA-RODRÍGUEZ A, MARÍN-INIESTA F, et al. Aroma recovery in wine dealcoholization by SCC distillation[J]. Food and Bioprocess Technology, 2012, 5(6): 2529-2539.
- [29] 穆宁,张振文,曹建宏.地形对赤霞珠干红葡萄酒香气成分的影响[J].干旱地区农业研究,2007,25(2):30-34.
- MU N, ZHANG Z W, CAO J H. Influence of different terrain on aroma components of Cabernet Sauvignon dry red wine[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(2): 30-34.
- [30] 范富,张庆国,侯迷红,等.优化施肥对沙地栽培葡萄产量及品质的影响[J].果树学报,2013,30(6):983-988.
- FAN F, ZHANG Q G, HOU M H, et al. Effects of optimized fertilization on yield and quality of grape in sandy soil[J]. Journal of Fruit Science, 2013, 30(6): 983-988.
- [31] 周兴本,王世光,郭修武,等.水分胁迫下肥料配比对葡萄光合速率与氮代谢的影响[J].干旱地区农业研究,2015,33(1):28-36,78.
- ZHOU X B, WANG S G, GUO X W, et al. Effects of fertilizer ratio on the photosynthetic rate and the nitrogen metabolism of grape under water stress[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2015, 33(1): 28-36, 78.