

利用黄毛草莓创制蜜桃香味草莓新株系

王爱华, 钟霏霖, 吴青青, 马红叶, 杨仕品, 李荣飞, 乔荣*

(贵州省农业科学院园艺研究所, 贵阳 550006)

摘要: 为创制具有蜜桃香味的草莓新株系, 用栽培品种‘红颊’(‘Benihoppe’, $2n=8x$)与黄毛草莓(*Fragaria nilgrrensis*, $2n=2x$)为亲本进行杂交, 得到种间杂种五倍体($2n=5x$), 再经秋水仙素诱导后获得十倍体($2n=10x$), 收获该十倍体的种子进行实生选种, 选育出 4 个具有蜜桃香味的草莓新株系。结果表明, ‘红颊’×黄毛草莓的杂交组合结实率和出苗率分别为 39.58%和 28.11%, 适宜草莓十倍体诱导的秋水仙素浓度在 200 mg/L 左右, 处理时间 30~40 d, 4 个草莓新株系均具有蜜桃香味, 抗氧化物质含量显著提高, 但果肉质地较松软, 平均单果重和株产稍低。这为野生草莓资源的利用和种质创新提供了科学参考。

关键词: 黄毛草莓; 野生资源; 蜜桃香味; 种间杂种

doi: 10.11926/jtsb.4260

Creating New Strawberry Strains with Honey Peach Aroma by Using *Fragaria nilgerrensis*

WANG Ai-hua, ZHONG Pei-lin, WU Qing-qing, MA Hong-ye, YANG Shi-pin, LI Rong-fei, QIAO Rong*

(Institute of Horticulture, Guizhou Academy of Agricultural Science, Guiyang 550006, China)

Abstract: To create new strawberry strains with honey peach aroma, the interspecific hybrid of pentaploid ($2n=5x$) was obtained from the cross between ‘Benihoppe’ ($2n=8x$) and *Fragaria nilgrrensis* ($2n=2x$), and then decaploid ($2n=10x$) strawberry was obtained by inducing pentaploid ($5x$) with colchicine. From obtained decaploid ($2n=10x$), four new strawberry strains with honey peach aroma were screened. The results showed that the setting rate and emergence rate of the hybrid of ‘Benihoppe’×*F. nilgrrensis* were 39.58% and 28.11%, respectively. The hybrid ($2n=5x$) treated with 200 mg/L colchicine for 30–40 days, decaploid ($2n=10x$) strawberry was induced. The screened four new strawberry strains all had honey peach aroma, which the antioxidant contents were higher than those in ‘Benihoppe’, but the texture of four new strawberry strains was soft, and single fruit weight and yield per plant were low. Therefore, these would provide a scientific reference for the utilization of wild strawberry resources and germplasm innovation.

Key words: *Fragaria nilgerrensis*; Wild resource; Peach roma; Interspecific hybrid

草莓(*Fragaria*×*ananassa*)是全球最受消费者欢迎的水果之一^[1], 现有的常规栽培种在抗性、风味等方面存在明显不足^[2], 利用野生草莓资源进行种质创新是突破传统育种瓶颈的途径之一。黄毛草莓(*Fragaria nilgrrensis*)俗称白泡、白猛、猛猛等, 为亚洲东部和东南部地区所特有的一种野生二倍体

草莓^[3], 黄毛草莓抗逆性强、果实有浓郁的蜜桃香味^[2-4], 还含有丰富的维生素、酚类等抗氧化物质, 抗氧化功效也非常好^[5-8], 利用黄毛草莓的优良性状进行品种改良, 可培育出具有更好商业价值的新品种。目前, 在对野生草莓优良性状的利用方面, 多限于中间材料的获得^[9-14], 国内还未见利用野生

收稿日期: 2020-06-02

接受日期: 2020-07-29

基金项目: 贵州省科技支撑计划项目([2018]2282, [2020]1Y018)资助

This work was supported by the Project for Science and Technology Support Plan in Guizhou (Grant No. 2018-2282, 2020-1Y018).

作者简介: 王爱华(1982~), 女, 助理研究员, 研究方向为分子细胞生物学。E-mail: 118wah@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: 1105197620@qq.com

草莓培育新品种(系)的报道,国外仅日本学者 Noguchi 等^[15-16]选育的 $2n=10x$ 栽培品种‘桃熏’具有一定的栽培面积,但存在极晚熟的缺陷,在黔中地区还表现为桃香味淡,果实较软,产量低,不抗白粉病。本课题以栽培品种‘红颊’和黄毛草莓为材料,利用远缘杂交和倍性育种技术,成功将黄毛草莓的优良性状进行转移,获得了具有蜜桃香味的新株系,有望改进现有栽培种的缺陷及形成稳定可遗传的新品种,也为其它野生草莓资源利用及种质创新提供科学参考。

1 材料和方法

1.1 材料

黄毛草莓(*Fragaria nilgrrensis*, $2n=2x$)于 2007 年从贵州省毕节市七星关区收集,并种植于贵州省园艺研究所野生草莓资源圃,栽培品种‘红颊’(又名‘红颜’,‘Benihoppe’, $2n=8x$)种植于贵州省园艺研究所草莓园。

1.2 方法

五倍体($2n=5x$)植株的获得 2010 年 4 月在贵州省园艺研究所育种棚用黄毛草莓($2n=2x$)与草莓栽培品种‘红颊’($8x$)进行正反交(表 1),杂交 21 d 后去袋,调查结实花朵数、杂交结实率和种子数,采集种子置于 4℃冰箱 30 d 后播种于营养土,2 月后统计播种出苗数和出苗率。

十倍体($2n=10x$)植株的诱导和倍性鉴定 2014 年取远缘杂交五倍体后代($2n=5x$)的匍匐茎茎尖,在无菌条件下诱导愈伤组织($MS+6-BA\ 2\ mg/L+NAA\ 0.2\ mg/L$),35 d 后将愈伤组织转接至添加秋水仙素的培养基($MS+6-BA\ 0.1\ mg/L$)上培养(表 2),将成活的愈伤组织分化成苗后移栽至育种棚,进行 DNA 倍性鉴定及根尖染色体数目观察。每处理接种 7 个愈伤块,3 次重复。DNA 倍性鉴定参考王爱华等^[17]的方法并稍做修改,采用德国 Partec 公司的 CyFlow space 流式细胞仪,以黄毛草莓植株做对照,通过 DNA index 确定植株倍性。根尖染色体数目观察采用常规压片法^[14],于田间切取前天埋好的新生匍匐茎茎尖(长约 5 mm),常温下置于二氯苯饱和水溶液中预处理 2 h,洗涤 3~5 次后先放入 Canoy 固定液中室温固定 15~20 h,再置于 5 mol/L 浓盐酸中室温解离 7 min,最后冲洗并置于载玻片上,加入 1~2

滴改良卡宝品红染色 5~7 min 制片并摄像。愈伤死亡率用褐化死亡的愈伤个数占接种愈伤来表示,五倍体、十倍体、混倍体的诱导率用经流式细胞仪鉴定的植株个数占总检测株数来表示。

蜜桃香味草莓新株系的获得与性状比较 将十倍体植株经实生选种得到的 4 个优良株系分别于 2018 年 8 月和 2019 年 8 月下旬定植大棚,株行距 $20\ cm\times 25\ cm$ 。以‘红颊’为对照,按照试验设计共栽种 5 个参试株系,每株系每小区 10 株,3 次重复,共 150 株,参考赵密珍等^[18]的草莓种质资源描述规范和数据标准进行植物学性状及果实性状比较,平均单果重采用一级序果实平均值,果实硬度用杭州托普仪器有限公司生产的 GY-2 型号水果硬度计测定;可溶性糖、总酸、维生素 C、总酚和类黄酮含量的测定按照苏州科铭生物技术有限公司试剂盒的说明书,3 次重复,所有数据均使用 DPS 16.05 和 Excel 2007 软件进行统计分析。

2 结果和分析

2.1 草莓五倍体($5x$)的获得

在利用黄毛草莓($2n=2x$)和栽培品种‘红颊’($2n=8x$)进行正反交,正反交的结实率和出苗率显著不同(表 1),以‘红颊’为母本,黄毛草莓为父本,杂交结实率和出苗率较高(39.58%和 28.11%),以黄毛草莓为母本,‘红颊’为父本,杂交结实率和出苗率较低(7.27%和 2.50%)。‘红颊’($2n=8x$) $\times$ 黄毛草莓($2n=2x$)的杂交后代大棚表现只开花不结果(图 1: A),始花期在十月中旬,盛花期在 10 月下旬,经流式细胞仪及根尖染色体数目观察鉴定为五倍体($2n=5x$)(图 2: D, 图 3: G)。

2.2 草莓十倍体($2n=10x$)植株的诱导和倍性鉴定

将草莓五倍体($2n=5x$)植株的匍匐茎茎尖诱导的愈伤组织接种在含有不同秋水仙素浓度的培养基上进行培养,植株叶片用流式细胞仪进行倍性检测,结果表明,高秋水仙素浓度、长时间诱导可得到较高加倍效果(表 2),十倍体比率最高为 21.42%,即用 200 mg/L 秋水仙素培养 40 d,而对照(不加秋水仙素)和 100 mg/L 秋水仙素培养 20 d 均未检测到加倍植株。随着秋水仙素浓度的升高及处理天数的增加,愈伤组织死亡率也急剧增加,400 mg/L 秋水仙素培养 40 d 的死亡率达 71.43%。因此,适宜的

表 1 黄毛草莓和‘红颊’的杂交结实和出苗情况

Table 1 Setting and emergence of cross between the *Fragaria nilgerrensis* and ‘Benihoppe’

组合 Combination	花朵数 Number of flower	结实花朵数 Number of setting flower	结实率 Setting rate /%	种子数 Number of seed	出苗数 Number of seedling	出苗率 Emergence rate /%
‘红颊’×黄毛草莓 ‘Benihoppe’× <i>F. nilgrrensis</i>	96	38	39.58	217	61	28.11
黄毛草莓×‘红颊’ <i>F. nilgrrensis</i> ×‘Benihoppe’	110	8	7.27	40	1	2.50



图 1 草莓五倍体(A)和十倍体(B)植株
Fig. 1 Pentaploid (A) and decaploid (B) strawberry

表 2 秋水仙素对草莓十倍体诱导的影响

Table 2 Effect of different colchicine concentrations on decaploid induction in straberry

秋水仙素 Colchicine (mg/L)	时间 Days	总数 Total	五倍体数 Number of pentaploid	%	十倍体数 Number of decaploid	%	混倍体数 Number of mixoploid	%	死亡愈伤数 Number of dead callus	%
100	20	20	18	90.00	0	0	2	10.00	1	4.76
	30	21	15	71.42	2	9.52	4	19.05	0	0
	40	19	14	73.68	2	10.52	3	15.78	2	9.52
200	20	19	9	47.37	1	5.26	9	17.37	2	9.52
	30	16	10	62.50	3	18.75	3	18.75	5	23.80
	40	14	5	35.71	3	21.42	6	42.85	7	28.57
400	20	13	9	69.23	2	15.38	2	15.38	8	33.33
	30	8	3	37.50	1	12.50	4	50.00	13	61.90
	40	6	2	33.33	1	16.67	3	50.00	15	71.43
对照 Control		21	21	21.00	0	0	0	0	0	0

十倍体诱导秋水仙素浓度为 200 mg/L，培养 30~40 d。取经流式细胞仪筛选出的五倍体、十倍体和黄毛草莓植株根尖进行染色体压片分析，结果表明，黄毛草莓的染色体数目 $2n=2x=14$ 条(图 3: F)，草莓五倍体的染色体数目为 $2n=5x=35$ 条(图 3: G)，草莓十倍体的染色体数目为 $2n=10x=70$ 条(图 3: H)，故草莓五倍体($2n=5x$)经秋水仙素诱导后的植株应为十倍体植株($2n=10x$)，命名为 5^+ 。

2.3 蜜桃香味草莓新株系的获得与性状比较

十倍体植株 5^+ ($2n=10x$)结合了‘红颊’和黄毛草

莓的特性(图 1: B)，植株形态似‘红颊’，植株矮壮，叶片大而厚实，叶色深绿，叶柄、花序梗粗壮，花朵较大，田间表现与 $2n=10x$ 草莓相符，始花期在 10 月中旬，盛花期在 11 月上旬，匍匐茎较五倍体 ($2n=5x$)少发，果实始熟期在 12 月上旬，果实粉红或红色，果肉软，汁多，口感甜，具有黄毛草莓浓郁的蜜桃香味，但植株易感白粉病，畸形果多。经过连续 4 代实生选种，选育出 4 个结果早、果形正、蜜桃香味浓郁、感病轻的优良株系(图 4: I, J, K, L)。

选育的 4 个蜜桃香味草莓新株系的植株高度和长势均稍矮于‘红颊’(表 3)，植株高度为 15.50~

19.33 cm, 其中 5⁺-01 和 5⁺-03 号株系较粗壮, 长势较壮(图 4: I, K), 5⁺-02 和 5⁺-04 号植株稍纤细, 长势一般(图 4: J, L); ‘红颊’植株姿态直立(图 4: M), 4 个蜜桃香味草莓新株系姿态中间, ‘红颊’和 4 个株系花序连续抽生性好, 单花序花数 8~18 枚, 在贵州省黔中地区, 始花期均在 10 月中旬, 始熟期在

11 月中旬到 12 月上旬, 其中 5⁺-02 和 5⁺-04 号株系果实成熟期较长, 始熟期相比‘红颊’晚半个月左右。

‘红颊’果形为圆锥形(图 4: M), 选育的 4 个株系(表 4)果形为楔形或卵形, 果形一致, 平均单果重及果实硬度均极显著低于‘红颊’, 平均单果重在 19.02~24.08 g 之间, 果实硬度在 1.03~1.57 kg/cm²

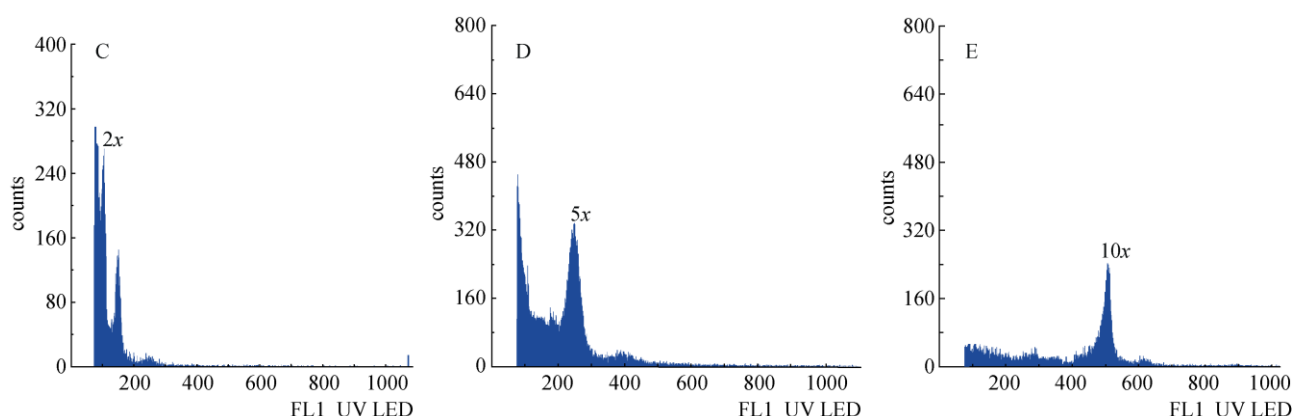


图 2 草莓二倍体(C)、五倍体(D)和十倍体(E)叶片的流式图

Fig. 2 Flow cytometry histograms of nuclei isolated from leaves of diploid (C), pentaploid (D) and decaploid (E) strawberry

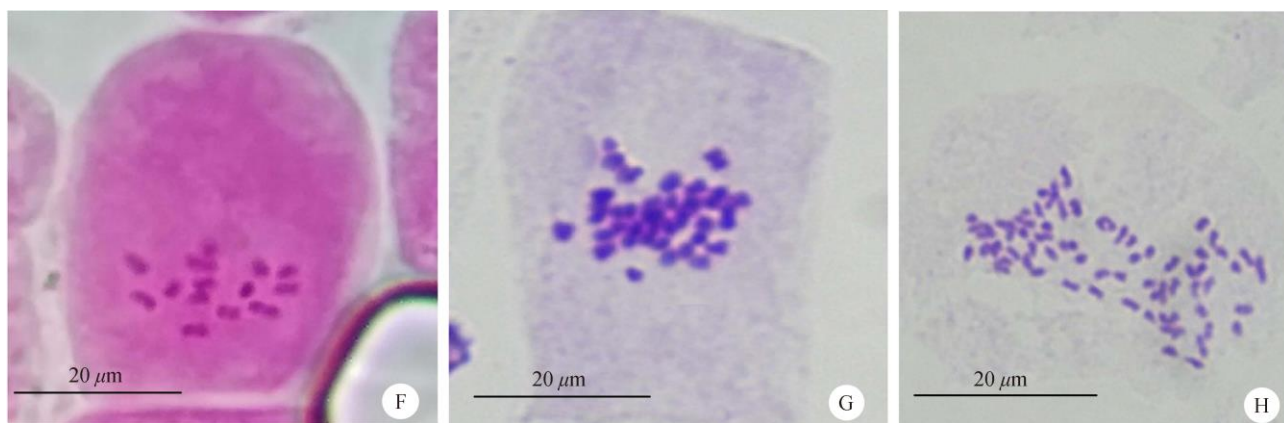


图 3 草莓二倍体(F)、五倍体(G)和十倍体(H)根尖细胞分裂中期染色体(×100)

Fig. 3 Chromosomes at metaphase of root tip cell of diploid (F), pentaploid (G) and decaploid (H) strawberry (×100)



图 4 4 个具有蜜桃香味的草莓新株系和‘红颊’。I: 5⁺-01; J: 5⁺-02; K: 5⁺-03; L: 5⁺-04; M: ‘红颊’。

Fig. 4 Four new strawberry strains with honey peach aroma and ‘Benihoppe’. I: 5⁺-01; J: 5⁺-02; K: 5⁺-03; L: 5⁺-04; M: ‘Benihoppe’.

表 3 ‘红颊’和 4 个蜜桃香味草莓新株系的植物学性状比较

Table 3 Comparison of botanical characteristics between ‘Benihoppe’ and 4 new strawberry strains with honey peach aroma

株系 Strain	生长势 Growth vigor	株高 Height (cm)	姿态 Posture	花数 Number of flower	始花期 First flowering date	果实始熟期 Fruit ripening date	株产 ^a (g) Yield per plant
5 ⁺ -01	壮 Strong	18.57±0.40BC	中间 Middle	9~12	10 月中旬 Mid. Oct.	11 月下旬 Late Nov.	210.84±3.33B
5 ⁺ -02	中 Middle	17.10±0.66CD	中间 Middle	9~12	10 月中旬 Mid. Oct.	12 月上旬 Early Dec.	185.30±10.14C
5 ⁺ -03	壮 Strong	19.33±0.76B	中间 Middle	13~18	10 月中旬 Mid. Oct.	11 月中旬 Mid. Nov.	193.67±6.35BC
5 ⁺ -04	中 Middle	15.50±0.50D	中间 Middle	8~18	10 月中旬 Mid. Oct.	12 月上旬 Early Dec.	200.67±4.04BC
‘红颊’ ‘Benihoppe’	壮 Strong	24.02±1.40A	直立 Erect	8~15	10 月中旬 Mid. Oct.	11 月中旬 Mid. Nov.	257.00±8.89A

同列数据后不同字母表示经邓肯氏多重极差检验差异显著($P<0.01$)。下表同。

Data followed different letters within column indicate significant difference at 0.01 level by Duncan’s multiple range test. The same is following Tables.

之间, 髓心空洞无、小或中, 其中, 5⁺-01 和 5⁺-03 号株系果面光泽强, 果面颜色深红, 果肉颜色分别为红和橙红(图 4: I, K), 5⁺-02 和 5⁺-04 号株系果面光泽中, 果面颜色红, 果肉颜色白(图 4: J, L)。

选育的 4 个株系(表 5)均具有黄毛草莓的蜜桃香气, 风味佳, 其中 5⁺-01 和 5⁺-03 株系果实果肉质度绵, 5⁺-02 和 5⁺-04 株系果实果肉质度

松, ‘红颊’和 4 个株系的可溶性糖、可滴定酸和维生素 C 含量差异均不显著, 4 个株系的类黄酮和总酚含量均极显著高于‘红颊’, 类黄酮含量为 5.23~8.76 mg/g, 总酚含量为 8.93~13.93 mg/g, 其中 5⁺-01 株系的维生素 C 含量、类黄酮和总酚含量最低, 5⁺-04 株系的维生素 C 含量、类黄酮和总酚含量最高。

表 4 ‘红颊’和 4 个草莓优良株系果实外观性状比较

Table 4 Comparison of fruit appearance characters between ‘Benihoppe’ and 4 new strawberry strains with honey peach aroma

株系 Strain	形状 Shape	质量 Weight (g)	光泽 Glossiness	果面颜色 Face color	果肉颜色 Flesh color	硬度 Firmness (kg/cm ²)	髓心空洞 Fruit cavity size
5 ⁺ -01	楔形 Wedge	24.08±2.20B	强 Glossy	深红 Dark red	红 Red	1.57±0.35B	无 None
5 ⁺ -02	卵形 Oval	19.02±1.13C	中 Middle	红 Red	白 White	1.03±0.18B	小 Small
5 ⁺ -03	卵形 Oval	20.89±1.02BC	强 Glossy	深红 Dark red	橙红 Orange-red	1.35±0.21B	小 Small
5 ⁺ -04	卵形 Oval	23.52±2.41B	中 Middle	红 Red	白 White	1.14±0.13B	中 Middle
‘红颊’ ‘Benihoppe’	圆锥形 Conic	30.73±2.41A	强 Glossy	深红 Dark red	橙红 Orange-red	2.34±0.21A	中 Middle

表 5 ‘红颊’和 4 个草莓优良株系果实品质性状比较

Table 5 Comparison of fruit quality characters between ‘Benihoppe’ and 4 new strawberry strains with honey peach aroma

株系 Strain	蜜桃香气 Honey peach aroma	果肉质度 Fruit texture	风味 Flavor	可溶性糖 Soluble sugar (mg/g FW)	可滴定酸 Soluble acidity /%	维生素 C Vitamin C (μg/g FW)	类黄酮 Flavonoid (mg/g DW)	总酚 Total phenol (mg/g DW)
5 ⁺ -01	淡 Weak	绵 Mealy	酸甜适中 Sweet-sour	57.36±2.83A	0.63±0.11A	663.59±85.11A	5.23±0.18A	8.93±0.32A
5 ⁺ -02	浓 Dense	松 Soft	酸甜适中 Sweet-sour	53.62±5.75A	0.51±0.03A	703.77±131.85A	8.56±2.69A	12.25±3.12A
5 ⁺ -03	淡 Weak	绵 Mealy	酸甜适中 Sweet-sour	51.72±13.67A	0.52±0.05A	557.16±39.21A	8.66±1.21A	11.76±1.41A
5 ⁺ -04	浓 Dense	松 Soft	酸甜适中 Sweet-sour	55.31±8.59A	0.59±0.07A	744.39±145.32A	8.76±0.87A	13.93±0.89A
‘红颊’ ‘Benihoppe’	无 No	脆 Crisp	甜酸 Sour with some sweet	62.86±7.57A	0.64±0.05A	512.67±29.40A	0.71±0.15B	1.87±0.08B

3 结论和讨论

草莓被称为“水果皇后”, 由于含有丰富的营养

物质(维生素、糖、矿物质、膳食纤维)和生物活性物质(多酚), 可有效预防心血管、肥胖、癌症和衰老等疾病, 是全球最受消费者欢迎的水果之一[19–21]。

现有草莓栽培品种多为八倍体凤梨草莓($2n=8x$)的后代,遗传背景狭窄,近几十年来,草莓育种家以提高农艺性能为目标,选育出了各种果实大,色泽艳丽,产量高的草莓新品种^[22],但是这些草莓栽培种香型单一、香气淡,而野生草莓虽果实小、产量低,但蕴藏的香型丰富、香气浓,因此被育种家认为是新型香味分子的重要供体^[19]。

果香是由多基因位点控制的复杂性状^[23],目前草莓香气的研究主要集中在果实香气成分的鉴定及比较方面,香气物质积累的生物合成途径及其内在的遗传规律和调控机制并不十分清楚^[22]。Negri等^[19]对 2 个野生草莓麝香草莓(*F. moschata*)和森林草莓(*F. vesca*)的香气成分进行了比较分析;Urrutia等^[22]基于 GC-MS 技术探讨了森林草莓/布哈拉草莓(*F. bucharica*)近等基因系(near isogenic line, NIL)果实品质的遗传变异特征,并认为 NIL 是野生草莓果实香气物质积累遗传剖析的良好工具,也是挖掘可以增强栽培草莓果实香气的基因和等位基因的来源。本研究利用黄毛草莓进行品种改良,经实生选种,选育出的 4 个草莓新株系均遗传了黄毛草莓的蜜桃香气,但各株系蜜桃香气浓郁不同,其中 5⁺-02 和 5⁺-04 株系蜜桃香气浓郁,5⁺-01 和 5⁺-03 株系的蜜桃香气较淡,说明存在微效多基因效应,蜜桃香气具有数量性状遗传的特点。在后续的研究中,如以‘红颊’为轮回亲本,经过 5~7 代的回交选育,则有望选育出以蜜桃香气为目的性状的近等基因系,以作为黄毛草莓蜜桃香气关键基因的挖掘及调控基因位点解析的珍贵理想材料。

与草莓商业品种相比,野生草莓还具有酚类等抗氧化物质含量高的优点^[24],尽管 *F. vesca* 草莓的基因组和果实大小都比凤梨草莓小很多,但它是多种多酚类物质的丰富来源^[25],Urrutia 等^[1]基于 LC-MS 技术分析 *F. vesca* 草莓近等基因系果实的代谢组,定性出 22 种酚类物质,映射出控制酚类化合物累积的 76 个 QTL;Skender 等^[26]对草莓果实中维生素 C 和总酚含量的分析结果表明,野生草莓中抗氧化成分的含量显著高于商业品种。本研究选育出的 4 个草莓优良株系酚类等抗氧化物质含量均显著高于栽培品种‘红颊’,不足之处是果肉质软,平均单果重和株产稍低(接近于栽培品种),这可能与亲本性在 F₁ 代可表现出近高亲本遗传和近低亲本遗传有关^[27]。据报道利用黄毛草莓育成的栽培品种‘桃熏’,在日本促成栽培条件下,其果实始熟期

在 1 月末^[16],本研究选育的 4 个蜜桃香味的草莓优良株系始熟期比桃熏早,比栽培品种‘红颊’稍晚。就植株形态、果色及风味等总体而言,5⁺-01 和 5⁺-03 株系偏向于其母本‘红颊’,5⁺-02 和 5⁺-04 株系偏向于其父本黄毛草莓。因此,有必要经过进一步回交选育,以期在果实硬度及产量等方面有所提升,进而育成具有广泛应用前景的草莓新品种。

种间或属间远缘杂交时经常会出现正反交结果不同的现象^[28]。本研究中,‘红颊’($2n=8x$)×黄毛草莓($2n=2x$)结实率约为黄毛草莓($2n=2x$)×‘红颊’($2n=8x$)结实率的 5 倍,说明正反交组合亲和性不同,即存在“种间杂交单向不亲和”(unilateral cross-incompatibility)^[14],同时也启示在不同倍性的杂交育种中,为获得较高的结实率,需高倍性草莓作母本低倍性草莓作父本进行杂交,这与雷家军^[29]的研究报道一致。黄毛草莓与栽培种亲缘关系较远,其远缘杂交后代多为五倍体种间杂种,奇数倍的草莓种间杂种不能正常结实,因此,野生种的优良性状并未真正被利用。针对此问题,我们采用染色体加倍技术来克服远缘杂交障碍。本研究采用秋水仙素对草莓五倍体种间杂种的愈伤组织进行加倍时,加倍率低而死亡率高,因此加倍技术仍需完善。柳颢等^[30]认为应用流式细胞术能快速、准确地测定巴西橡胶树的染色体倍性,但流式细胞仪的测定是相对倍性,可能会出现较大的误差,本研究在流式细胞仪鉴定五倍体($2n=5x$)及十倍体($2n=10x$)植株的基础上,进一步用根尖染色体数目观察进行鉴定。植物的有性生殖受内因和外因的共同影响,植物生活史周期的任何一个环节都对生殖成功与否至关重要^[31],本研究中 5⁺实生苗($2n=10x$)畸形果较多,可能是花器畸形、孢子发育异常导致,也可能是奇数染色体不能配对所致,多数报道指出,多倍体形成初期并不稳定^[32],除了生长缓慢、严重不育外,还存在回复原来倍性的可能,所以有必要对其进行扩繁稳定、育苗移栽,形态及倍性筛选也应延续几个世代^[17]。

参考文献

- [1] URRUTIA M, SCHWAB W, HOFFMANN T, et al. Genetic dissection of the (poly)phenol profile of diploid strawberry (*Fragaria vesca*) fruits using a NIL collection [J]. Plant Sci, 2016, 242: 151–168. doi: 10.1016/j.plantsci.2015.07.019.
- [2] WANG J H, LI H W, LIU J J. Aroma improvement by utilizing wild

- Fragaria* germplasm [J]. Chin Agric Sci Bull, 2016, 32(22): 189–193. doi: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb15120085.
- 王建辉, 李洪雯, 刘建军. 利用野生种质进行草莓香味改良研究进展 [J]. 中国农学通报, 2016, 32(22): 189–193. doi: 10.11924/j.issn.1000-6850.casb15120085.
- [3] ZHANG J X, LEI Y Y, WANG B T, et al. The high-quality genome of diploid strawberry (*Fragaria nilgerrensis*) provides new insights into anthocyanin accumulation [J/OL]. Plant Biotechnol J, 2020: 1–17. (2020-08-09) doi: 10.1111/pbi.13351.
- [4] MA H X, CHEN P D. Production and cytogenetics of interspecific hybrids from the cross of *Fragaria nilgerrensis* Schlecht and *F. ananassa* Duch. [J]. Sci Agric Sin, 2004, 37(12): 1966–1970. doi: 10.3321/j.issn:0578-1752.2004.12.030.
- 马鸿翔, 陈佩度. 黄毛草莓与凤梨草莓种间杂种的获得及其细胞遗传学分析 [J]. 中国农业科学, 2004, 37(12): 1966–1970. doi: 10.3321/j.issn:0578-1752.2004.12.030.
- [5] DIAS M I, BARROS L, OLIVEIRA M, et al. Phenolic profile and antioxidant properties of commercial and wild *Fragaria vesca* L. roots: A comparison between hydromethanolic and aqueous extracts [J]. Ind Crop Prod, 2015, 63: 125–132. doi: 10.1016/j.indcrop.2014.10.021.
- [6] DIAS M I, BARROS L, SOUSA M J, et al. Enhancement of nutritional and bioactive compounds by in vitro culture of wild *Fragaria vesca* L. vegetative parts [J]. Food Chem, 2017, 235: 212–219. doi: 10.1016/j.foodchem.2017.05.060.
- [7] GIAMPIERI F, TULIPANI S, ALVAREZ-SUAREZ J M, et al. The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health [J]. Nutrition, 2012, 28: 9–19. doi: 10.1016/j.nut.2011.08.009.
- [8] D'URSO G, PIZZA C, PIACENTE S, et al. Combination of LC-MS based metabolomics and antioxidant activity for evaluation of bioactive compounds in *Fragaria vesca* leaves from Italy [J]. J Pharm Biomed Anal, 2018, 150: 233–240. doi: 10.1016/j.jpba.2017.12.005.
- [9] RHO I R, HWANG Y J, LEE H I, et al. Interspecific hybridization of diploids and octoploids in strawberry [J]. Sci Hort, 2012, 134: 46–52. doi: 10.1016/j.scienta.2011.10.021.
- [10] NOGUCHI Y, MOCHIZUKI T, SONE K. Breeding of a new aromatic strawberry by interspecific hybridization *Fragaria* × *ananassa* × *F. nilgerrensis* [J]. Eng Gakkai Zasshi, 2002, 71(2): 208–213. doi: 10.2503/jjs.71.208.
- [11] NOGUCHI Y, MURO T, MORISHITA M. The possibility of using decaploid interspecific hybrids (*Fragaria* × *ananassa* × *F. nilgerrensis*) as a parent for a new strawberry [J]. Acta Hort, 2009, 842: 447–450. doi: 10.17660/ActaHortic.2009.842.89.
- [12] LEI J J, DAI H P, GE H B, et al. Studies on the hexaploid interspecific hybrid and its backcross with cultivars in strawberry [J]. Acta Hort Sin, 2004, 31(4): 496–498. doi: 10.3321/j.issn:0513-353X.2004.04.015.
- 雷家军, 代汉萍, 葛会波, 等. 草莓六倍体种间杂种及其回交研究 [J]. 园艺学报, 2004, 31(4): 496–498. doi: 10.3321/j.issn:0513-353X.2004.04.015.
- [13] LEI J J, TAN C H, DAI H P, et al. Study on obtaining pentaploid interspecific hybrids and its backcross in strawberry [J]. J Jilin Agric Univ, 2010, 32(3): 284–288.
- 雷家军, 谭昌华, 代汉萍, 等. 草莓五倍体种间杂种的获得及回交研究 [J]. 吉林农业大学学报, 2010, 32(3): 284–288.
- [14] LEI J J, XUE L, DAI H P. Obtaining dodecaploid interspecific hybrid in strawberry and its backcross [J]. Sci Agric Sin, 2012, 45(22): 4651–4659. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2012.22.011.
- 雷家军, 薛莉, 代汉萍. 草莓十二倍体种间杂种的获得及其回交研究 [J]. 中国农业科学, 2012, 45(22): 4651–4659. doi: 10.3864/j.issn.0578-1752.2012.22.011.
- [15] NOGUCHI Y. 'Tokun': A new decaploid interspecific hybrid strawberry having the aroma of the wild strawberry [J]. J Jpn Assoc Odor Environ, 2011, 42(2): 122–128. doi: 10.2171/jao.42.122.
- [16] NOGUCHI Y, YAMADA T. Flower bud initiation of a decaploid strawberry 'Tokun' by night chilling and short day treatment [J]. Acta Hort, 2014, 1049: 907–910. doi: 10.17660/ActaHortic.2014.1049.147.
- [17] WANG A H, WU Q Q, YANG L, et al. Study on polyploid of *Dendrobium ochreatum* induced by colchicine [J]. J SW Univ (Nat Sci), 2017, 39(1): 55–60. doi: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.01.009.
- 王爱华, 吴青青, 杨澜, 等. 秋水仙素诱导黑喉石斛多倍体研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(1): 55–60. doi: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.01.009.
- [18] ZHAO M Z, WANG G X, QIAN Y M, et al. Descriptors and Data Standard for Strawberry (*Fragaria* spp.) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2006: 1–67.
- 赵密珍, 王桂霞, 钱亚明, 等. 草莓种质资源描述规范和数据标准 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2006: 1–67.
- [19] NEGRI A S, ALLEGRA D, SIMONI L, et al. Comparative analysis of fruit aroma patterns in the domesticated wild strawberries "Profumata di Tortona" (*F. moschata*) and "Regina delle Valli" (*F. vesca*) [J]. Front Plant Sci, 2015, 6: 56. doi: 10.3389/fpls.2015.00056.
- [20] ZELIOU K, PAPASOTIROPOULOS V, MANOUSSOPOULOS Y, et al. Physical and chemical quality characteristics and antioxidant properties of strawberry cultivars (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) in Greece: Assessment of their sensory impact [J]. J Sci Food Agric, 2018, 98(11): 4065–4073. doi: 10.1002/jsfa.8923.
- [21] GIAMPIERI F, FORBES-HERNANDEZ T Y, GASPARRINI M, et al.

- Strawberry as a health promoter: An evidence based review [J]. *Food Funct*, 2015, 6(5): 1386–1398. doi: 10.1039/c5fo00147a.
- [22] URRUTIA M, RAMBLA J L, ALEXIOU K G, et al. Genetic analysis of the wild strawberry (*Fragaria vesca*) volatile composition [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2017, 121: 99–117. doi: 10.1016/j.plaphy.2017.10.015.
- [23] GOFF S A, KLEE H J. Plant volatile compounds: Sensory cues for health and nutritional value [J]. *Science*, 2006, 311(5762): 815–819. doi: 10.1126/science.1112614.
- [24] WANG S Z, ZHANG Y H, QIU J R, et al. Comparison of characteristics of strawberry varieties with different ploidy [J]. *Acta Agric Zhejiang*, 2019, 31(6): 893–899. doi: 10.3969/j.issn.1004-1524.2019.06.05.
- 王淑珍, 张亚惠, 裘劫人, 等. 不同倍性草莓品种性状比较 [J]. *浙江农业学报*, 2019, 31(6): 893–899. doi: 10.3969/j.issn.1004-1524.2019.06.05.
- [25] ROY S, WU B H, LIU W W, et al. Comparative analyses of polyphenolic composition of *Fragaria* spp. color mutants [J]. *Plant Physiol Biochem*, 2018, 125: 255–261. doi: 10.1016/j.plaphy.2018.02.003.
- [26] SKENDER A, AJDINOVIĆ T, BEĆIRSPAHIĆ D. The comparison of phenotypic characteristics of current varieties and wild species of *Fragaria* [J]. *Genetika*, 2015, 47(1): 45–52. doi: 10.2298/gensr1501045s.
- [27] CHENG X X, XIE H, HE S, et al. Heterosis and parentage regression relation analysis of seed reserve utilization efficiency in *Sh2* sweet corn [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2017, 25(5): 497–502. doi: 10.11926/jtsb.3716.
- 程昕昕, 谢宏, 何松, 等. 超甜玉米种子萌发物质利用性状杂种优势及亲子回归关系分析 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2017, 25(5): 497–502. doi: 10.11926/jtsb.3716.
- [28] WANG C, LI Y X, LI X H, et al. Flower and fruit characteristics of offspring from the cross of red-flowered and cultivars in strawberry [J]. *N Hort*, 2019(1): 55–61. doi: 10.11937/bfy.20180866.
- 王冲, 李迎薪, 李向辉, 等. 红花草莓与栽培品种杂交后代花及果实性状调查 [J]. *北方园艺*, 2019(1): 55–61. doi: 10.11937/bfy.20180866.
- [29] LEI J J, DAI H P, DENG M Q, et al. Studies on the interspecific hybridization in the genus *Fragaria* [J]. *Acta Hort Sin*, 2002, 29(6): 519–523. doi: 10.3321/j.issn:0513-353X.2002.06.004.
- 雷家军, 代汉萍, 邓明琴, 等. 草莓种间杂交的研究 [J]. *园艺学报*, 2002, 29(6): 519–523. doi: 10.3321/j.issn:0513-353X.2002.06.004.
- [30] LIU J, NIU Y F, WU Y, et al. Genome C value and variation analysis of cultivated rubber tree (*Hevea brasiliensis*) germplasms by flow cytometry [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2018, 26(5): 523–528. doi: 10.11926/jtsb.3857.
- 柳颀, 牛迎凤, 吴裕, 等. 巴西橡胶树栽培种质基因组 C 值测定和变异分析 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2018, 26(5): 523–528. doi: 10.11926/jtsb.3857.
- [31] LU X J, LIU F Y, GAO C J, et al. Microsporogenesis and male gametophyte development of *Dodonaea viscosa* [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2019, 27(2): 181–186. doi: 10.11926/jtsb.3939.
- 卢雪佳, 刘方炎, 高成杰, 等. 车桑子小孢子发生与雄配子体发育 [J]. *热带亚热带植物学报*, 2019, 27(2): 181–186. doi: 10.11926/jtsb.3939.
- [32] HE H J, YANG Y S, WU H. Induction and biological significance of polyploidy in medicinal plants [J]. *Chin Trad Herb Drugs*, 2010, 41(6): 1000–1006.
- 何韩军, 杨跃生, 吴鸿. 药用植物多倍体的诱导及生物学意义 [J]. *中草药*, 2010, 41(6): 1000–1006.