

冯献君,吴英华,史艳,等. 菜心酸性蔗糖转化酶基因家族的鉴定及表达分析[J]. 江苏农业科学,2022,50(19):44-50.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.19.006

# 菜心酸性蔗糖转化酶基因家族的鉴定及表达分析

冯献君, 吴英华, 史艳, 侯雷平, 李梅兰

(山西农业大学园艺学院, 山西太谷 030801)

**摘要:**酸性蔗糖转化酶包括细胞壁蔗糖转化酶和液泡蔗糖转化酶,该家族的基因是植物体内蔗糖代谢的关键基因。为了更好地了解该基因家族在菜心蔗糖代谢调控过程中的作用机制,对该基因家族成员的理化性质、染色体定位、系统进化树、蛋白质二级结构预测及亚细胞定位、基因结构和保守基序进行生物信息学分析,同时测定该基因家族成员在菜心不同器官中的表达量。结果共鉴定出 13 个菜心酸性蔗糖转化酶基因家族成员,这些基因分为 2 类,其中有 9 个为细胞壁蔗糖转化酶基因(CWINV),4 个为液泡蔗糖转化酶基因(VINV),不均匀地分布在 7 条染色体上。菜心酸性蔗糖转化酶基因家族的蛋白质氨基酸数量大部分集中在 500~650 个范围内,分子量变化与氨基酸数量变化趋势一致。其蛋白质的二级结构无规则卷曲所占比例最高。该家族蛋白质大部分被定位在细胞质和周质中。基因结构分析结果显示,13 个基因中有 8 个基因均含有 10 个保守基序。部分酸性蔗糖转化酶存在外显子丢失的情况,大部分基因均含有 6 个或 7 个外显子。13 个酸性蔗糖转化酶基因在菜心茎和花蕾中高表达的成员较多。这为进一步研究菜心酸性蔗糖转化酶基因家族成员在蔗糖代谢调控中的作用提供了数据基础。

**关键词:**菜心;酸性蔗糖转化酶;基因家族;生物信息学;基因表达

**中图分类号:**S634.501 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)19-0044-06

菜心(*Brassica campestris* L. ssp. *chinesis* var. *utilis* Tsen et Lee)别称菜薹,是十字花科芸薹属白菜亚种中的一个变种,在华南地区广泛栽培<sup>[1]</sup>,而在我国北方地区属稀有蔬菜。近年来,随着社会发展和人员的流动,菜心的栽培范围逐渐扩大,栽培区域逐渐北移<sup>[2]</sup>。菜心以幼嫩的薹茎和花蕾为可食用部位<sup>[3]</sup>,而花薹的发育决定其产量和品质。目前关于花薹营养物质积累方面的研究较少,主要集中在花薹形成的调控机制中。蔗糖、葡萄糖和果糖等可溶性糖是菜心花薹中重要的营养物质<sup>[4]</sup>,其中葡萄糖和果糖在菜心的甜度及口感方面起重要作用<sup>[5]</sup>,它们在蔗糖转化酶的水解作用下进一步转化成己糖磷酸酯参与细胞代谢,因此蔗糖转化酶在调节菜心各个器官的营养品质形成(尤其是糖的累积

利用)中是必不可少的。

植物通过光合作用固定碳源,产生植物生长发育所需的营养物质,并从源器官运输到库器官中<sup>[6-7]</sup>,而蔗糖是主要的产物之一。蔗糖在降解过程中的关键酶是蔗糖转化酶和蔗糖合成酶,其中蔗糖转化酶的作用不可逆<sup>[8]</sup>。Barratt 等研究表明,蔗糖转化酶在植物生长发育和初级氮代谢中至关重要<sup>[9]</sup>。根据亚细胞定位将蔗糖转化酶分为细胞壁蔗糖转化酶(CWINV)、液泡蔗糖转化酶(VINV)和细胞质蔗糖转化酶<sup>[10]</sup>;根据最适 pH 值又可分为酸性蔗糖转化酶和中性蔗糖转化酶。前二者属于酸性蔗糖转化酶,后者属于中性蔗糖转化酶<sup>[11]</sup>。中性转化酶活性较低且不稳定<sup>[12]</sup>,酸性蔗糖转化酶属于  $\beta$ -呋喃果糖苷酶,是糖基水解酶家族 32(GH32)的成员之一,其在植物生长发育及蔗糖代谢中发挥关键作用<sup>[13]</sup>。

近年来,酸性蔗糖转化酶已在玉米<sup>[14]</sup>、拟南芥<sup>[15]</sup>、番茄<sup>[16]</sup>等植物中广泛研究,蔗糖转化酶在菜心中的相关研究较少。因此,本研究对菜心酸性蔗糖转化酶基因家族成员进行鉴定,从理化性质、染色体定位、系统进化树、蛋白质的二级结构以及保守基序进行分析,以期为进一步探索菜心酸性蔗糖转化酶的多样性提供理论依据。

收稿日期:2021-11-14

基金项目:山西省重点研发计划重点项目(编号:201703D211001-04-01);山西省重点研发计划(编号:201803D221005-8);山西农业大学曲沃果蔬研究院项目(编号:2021QWGS-3)。

作者简介:冯献君(1996—),女,山西吕梁人,硕士研究生,主要从事蔬菜育种及生物技术应用研究。E-mail:643046085@qq.com。

通信作者:侯雷平,硕士,教授,主要从事设施园艺、蔬菜栽培以及园艺植物生物技术方面的教学与研究,E-mail:sxndhlp@126.com;李梅兰,博士,教授,主要从事蔬菜育种及生物技术应用研究,E-mail:15935485975@163.com。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验时间和地点

本试验于 2021 年 7 月在山西农业大学园艺学院实验室完成。

### 1.2 菜心酸性蔗糖转化酶基因家族鉴定及蛋白质的理化性质分析

先从拟南芥信息资源网站 (TAIR) (<http://www.Arabidopsis.Org>) 找到拟南芥中已鉴定的 8 个酸性蔗糖转化酶家族基因及氨基酸序列,再根据笔者所在实验室已有的转录组数据并结合大白菜全基因组数据库 (BRAD) 进行同源搜索,初步筛选得到菜心蔗糖转化酶基因家族成员。通过 NCBI - CDD 数据库分别对所有基因序列进行保守结构域检查,删除不完整序列,最终获得菜心酸性蔗糖转化酶基因。利用相同的方法分别鉴定得到 13 个甘蓝、9 个水稻、8 个黄瓜的酸性蔗糖转化酶基因。对筛选得到的菜心酸性蔗糖转化酶家族蛋白质序列,使用在线软件 ExPASy (<http://www.expasy.org/>) 进行理化性质的分析<sup>[17]</sup>。

### 1.3 基因家族系统进化树分析

使用 MEGA 7.0 软件对菜心、拟南芥、甘蓝、水稻和黄瓜酸性蔗糖转化酶家族蛋白质序列进行比对,构建系统发育树。利用在线软件 iTOL (<http://itol.embl.de/>) 修饰美化进化树。

### 1.4 基因染色体定位

菜心酸性转化酶基因染色体定位图使用在线工具 MG2C ([http://mg2c.iask.in/mg2c\\_v2.0/](http://mg2c.iask.in/mg2c_v2.0/))

绘制。

### 1.5 蛋白质的二级结构预测及亚细胞定位

菜心酸性蔗糖转化酶家族蛋白质二级结构的预测使用在线软件 SOPMA ([http://npsa-prabi.ibcp.fr/cgi-bin/npsa\\_automat.pl?page=npsa\\_sopma.html](http://npsa-prabi.ibcp.fr/cgi-bin/npsa_automat.pl?page=npsa_sopma.html)) 进行。亚细胞定位通过在线工具 CELLO (<http://cello.life.ntcu.edu.tw/>) 进行。

### 1.6 基因家族结构及蛋白质保守基序分析

菜心酸性蔗糖转化酶基因结构的分析使用在线软件 GSDS (<http://gsds.gao-lab.org/index.php>) 进行。使用在线软件 MEME (<https://meme-suite.org/meme/tools/meme>) 和 TBtools 软件绘制蛋白质保守基序图。

### 1.7 酸性蔗糖转化酶基因表达分析

根据菜心不同器官的转录组数据,分析酸性蔗糖转化酶家族基因在各个器官中的表达情况。

## 2 结果与分析

### 2.1 菜心酸性蔗糖转化酶基因的染色体定位分析

为了探讨菜心酸性蔗糖转化酶基因在染色体上的分布,使用在线软件 MG2C 信息可视化网站分析,可知菜心的 13 个酸性蔗糖转化酶基因分布在 A01、A03、A04、A05、A06、A09 和 A10 号染色体上 (图 1)。这 13 个酸性蔗糖转化酶基因不均匀地分布在 7 条染色体上。其中定位在 A09 号染色体上的基因最多,有 3 个。A01 和 A10 号染色体上定位的基因最少,均为 1 个,其余 4 条染色体上均定位到 2 个基因。

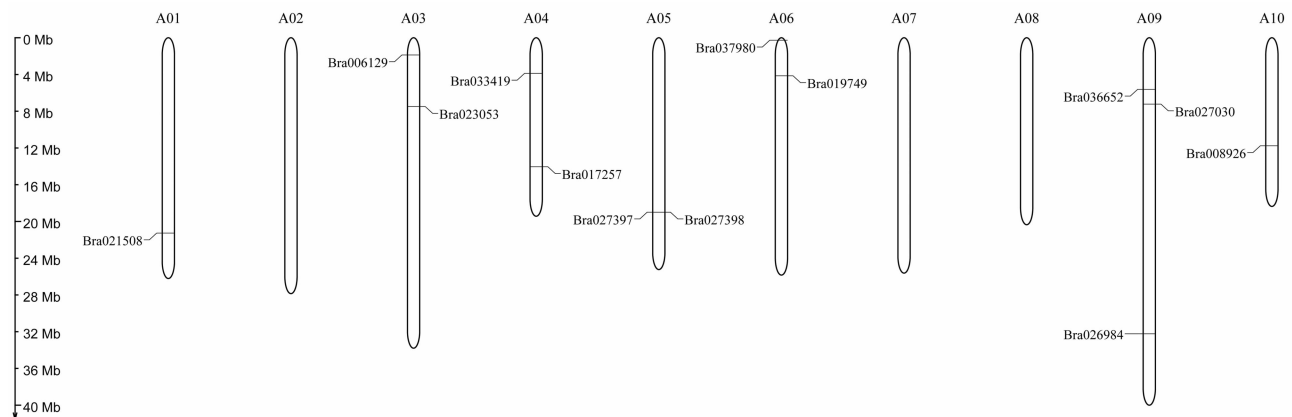


图1 菜心酸性蔗糖转化酶基因的染色体定位

### 2.2 菜心酸性蔗糖转化酶基因家族的系统进化树分析

为了进一步探究菜心酸性蔗糖转化酶基因的

进化关系,使用 MEGA 7.0 软件选用甘蓝、水稻、黄瓜和拟南芥的酸性蔗糖转化酶家族基因为参考序列构建系统发育树。结果 (图 2) 显示 51 个蔗糖转

化酶基因分为 2 类,分别为液泡蔗糖转化酶基因(VINV)、细胞壁蔗糖转化酶基因(CWINV)。其中拟南芥有 2 个液泡蔗糖转化酶基因,6 个细胞壁蔗糖转化酶基因;菜心有 4 个 VINV,9 个 CWINV;甘蓝有 3 个 VINV,10 个 CWINV;水稻有 6 个 CWINV,3 个

VINV;黄瓜仅有 1 个 VINV。从系统发育树中可以看出拟南芥已知的酸性蔗糖转化酶基因及其对应的菜心基因均聚在一个分支上,说明它们的进化关系较近,结构和功能相似或相同。

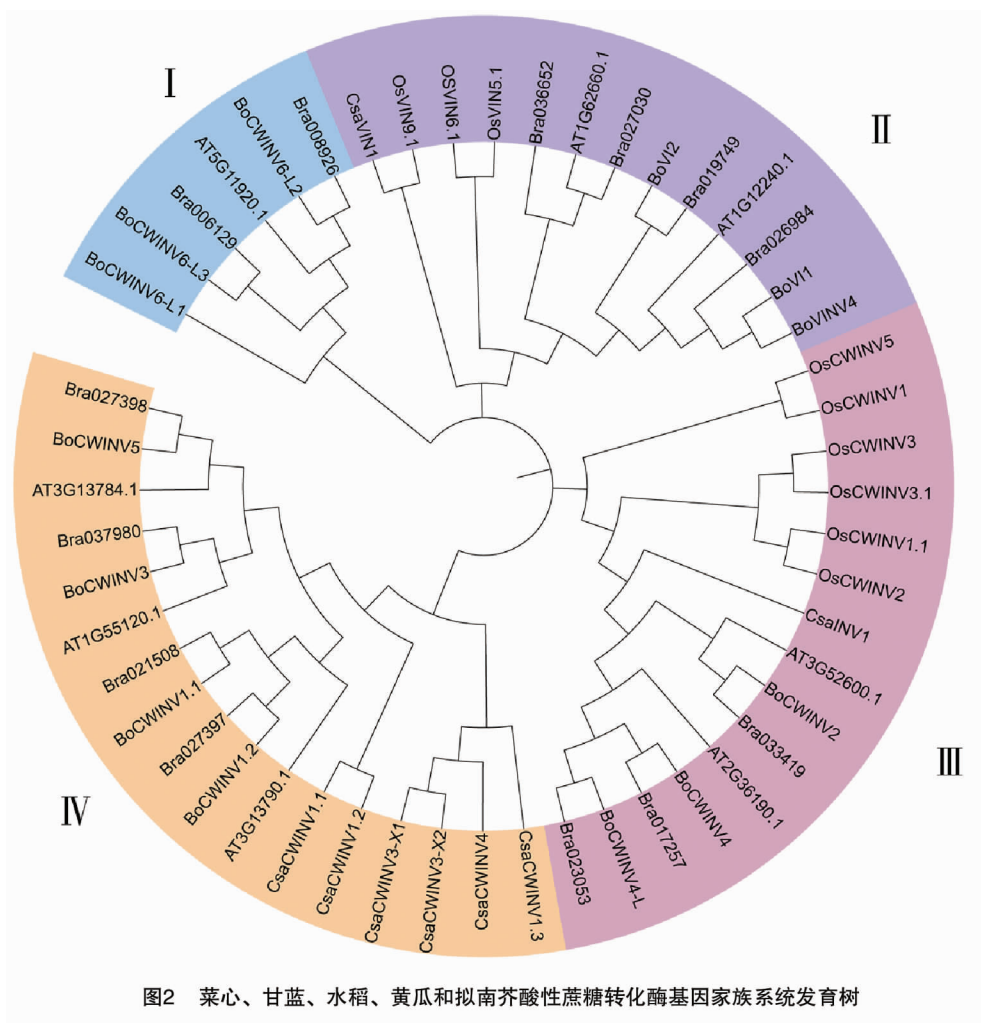


图2 菜心、甘蓝、水稻、黄瓜和拟南芥酸性蔗糖转化酶基因家族系统发育树

### 2.3 菜心酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白质的理化性质

通过对菜心酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白质进行理化性质分析,发现其氨基酸数量、分子量、等电点、原子总数、不稳定系数、脂肪系数及亲水性均不一(表 1)。菜心酸性蔗糖转化酶基因家族成员编码的氨基酸残基为 418 ~ 800 个,其中大部分都集中在 500 ~ 650 个之间。分子量为 47.49 ~ 90.38 ku,与氨基酸数量变化趋势一致。等电点(pI)为 4.96 ~ 9.19,其中液泡蔗糖转化酶基因家族蛋白的 pI 均小于 7.5,说明液泡蔗糖转化酶基因家族蛋白均属于酸性蛋白。当蛋白质的不稳定系数大于 40 时,容易降解<sup>[18]</sup>。菜心酸性转化酶家族蛋白的不稳定系数

只有 1 个大于 40,其余均小于 40,为稳定蛋白。脂肪系数在 69.19 ~ 82.31 之间。亲水性均为负值,说明所有蛋白质都是亲水性蛋白。

### 2.4 菜心酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白质的二级结构预测及亚细胞定位分析

菜心酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白质是由  $\alpha$ -螺旋、 $\beta$ -转角、延伸链和无规则卷曲构成(表 2),主要为无规则卷曲和延伸链。各蛋白质的二级结构均表现为无规则卷曲 > 延伸链 >  $\alpha$ -螺旋 >  $\beta$ -转角。无规则卷曲占比在 49.90% ~ 56.75% 之间, $\alpha$ -螺旋占比在 12.75% ~ 19.94% 之间,延伸链占比在 21.25% ~ 28.80% 之间, $\beta$ -转角占比在 4.60% ~ 6.46% 之间(表 2)。

表 1 菜心酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白质理化性质

蛋白类型	基因名称	氨基酸数量 (个)	分子量 (ku)	等电点	原子总数 (个)	不稳定系数	脂肪系数	亲水性
液泡蔗糖转化酶基因家族蛋白	<i>Bra036652</i>	598	67.23	6.25	9 421	38.27	79.20	-0.31
	<i>Bra027030</i>	654	73.16	6.04	10 214	34.61	77.03	-0.34
	<i>Bra019749</i>	662	73.33	5.87	10 226	33.35	77.02	-0.28
	<i>Bra026984</i>	690	76.86	6.02	10 733	37.49	76.70	-0.36
细胞壁蔗糖转化酶基因家族蛋白	<i>Bra027397</i>	580	65.74	8.96	9 204	35.96	78.26	-0.45
	<i>Bra021508</i>	579	65.90	8.99	9 224	39.17	77.06	-0.45
	<i>Bra033419</i>	592	66.53	9.16	9 324	27.00	73.89	-0.47
	<i>Bra037980</i>	575	64.63	5.04	8 982	39.65	79.27	-0.36
	<i>Bra017257</i>	418	47.49	8.72	6 632	29.96	69.19	-0.54
	<i>Bra023053</i>	587	67.02	8.64	9 369	31.51	75.33	-0.48
	<i>Bra027398</i>	493	55.02	9.19	7 697	38.52	77.20	-0.44
	<i>Bra008926</i>	515	57.80	4.96	8 022	38.69	82.31	-0.30
	<i>Bra006129</i>	800	90.38	5.16	12 550	44.83	81.11	-0.34

表 2 菜心酸性蔗糖转化酶家族蛋白二级结构预测及亚细胞定位分析

蛋白类型	基因名称	占比(%)				亚细胞定位
		α-螺旋	β-转角	延伸链	无规则卷曲	
液泡蔗糖转化酶基因家族蛋白	<i>Bra036652</i>	18.90	6.35	22.91	51.84	外膜
	<i>Bra027030</i>	18.50	5.81	21.25	54.43	周质
	<i>Bra019749</i>	19.94	5.44	23.41	51.21	细胞壁、外膜、周质
	<i>Bra026984</i>	16.52	5.22	23.33	54.93	细胞壁、外膜、周质
细胞壁蔗糖转化酶基因家族蛋白	<i>Bra027397</i>	19.31	5.69	24.31	50.69	细胞壁、外膜、周质
	<i>Bra021508</i>	19.00	5.35	25.04	50.60	周质
	<i>Bra033419</i>	17.31	6.05	24.54	52.10	周质
	<i>Bra037980</i>	15.48	4.87	25.22	54.43	细胞壁
	<i>Bra017257</i>	16.03	6.46	27.51	50.00	周质
	<i>Bra023053</i>	17.38	4.60	24.70	53.32	周质
	<i>Bra027398</i>	13.59	4.87	28.80	52.74	细胞壁
	<i>Bra008926</i>	16.12	6.21	27.77	49.90	细胞壁
	<i>Bra006129</i>	12.75	5.25	25.25	56.75	外膜

菜心酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白质亚细胞定位预测结果(表 2)表明,液泡蔗糖转化酶基因家族蛋白和细胞壁蔗糖转化酶基因家族蛋白质定位于细胞壁、周质及外膜上,推测菜心酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白在这 3 个地方发挥作用。

2.5 菜心酸性蔗糖转化酶家族基因的结构分析

参考大白菜基因组数据库得到菜心蔗糖转化酶蛋白质序列对应的基因序列及蛋白质编码区(CDS)序列,并确定了其内含子和外显子的组成,构建了菜心酸性蔗糖转化酶家族基因的基因结构(图 3),图中黄色为菜心酸性蔗糖转化酶基因的 CDS。从图 3 可以看出,菜心酸性蔗糖转化酶家族基因所

含的 CDS 为 3~9 个,其中含有 6、7 个 CDS 的基因均有 4 个。*Bra006129* 含有 9 个 CDS,*Bra008926* 和 *Bra023053* 含有 5 个 CDS, *Bra017257* 含有 4 个 CDS,*Bra027398* 仅含有 3 个 CDS。CDS 数量有差异,表明菜心酸性蔗糖转化酶基因结构存在多样性。

2.6 菜心酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白质的保守基序分析

为了进一步研究菜心酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白质的结构特征及蛋白多样性,使用在线软件 MEME 对菜心酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白保守基序进行分析,确定了 10 个保守基序(motif1~motif10)类型。由图 4 可知,13 个菜心酸性蔗糖转化

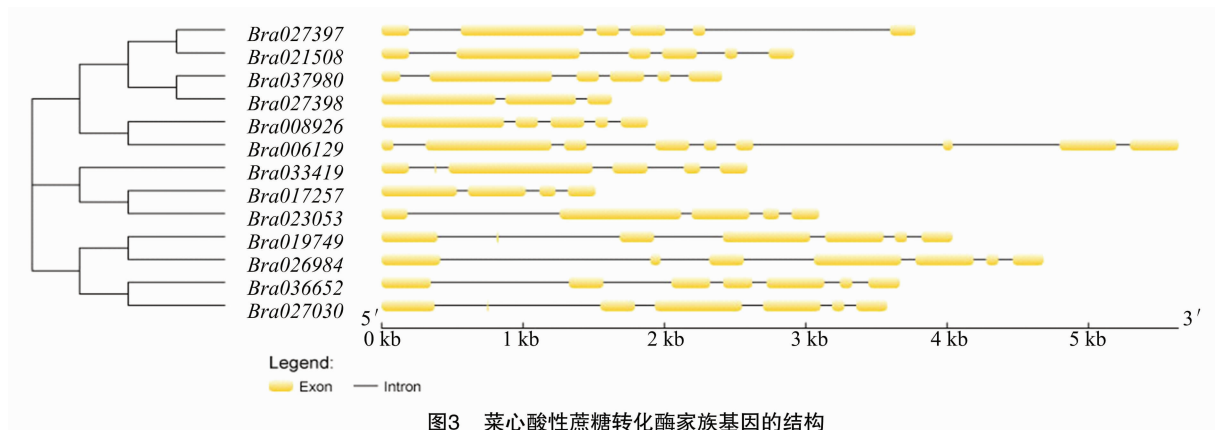


图3 菜心酸性蔗糖转化酶家族基因的结构

酶基因家族蛋白质均含有 motif 1、motif 2、motif 4、motif 5、motif 8 和 motif 10。有 8 个蛋白质含有所有的保守基序,说明菜心酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白保守性较高。*Bra008926*、*Bra006192* 和 *Bra036652* 不含有 motif 9, *Bra027398* 和 *Bra008926* 不含有 motif 6, *Bra017257* 不含有 motif 3、motif 6 和

motif 7。4 个液泡蔗糖转化酶基因家族蛋白中有 3 个均含有 10 个保守基序, 9 个细胞壁蔗糖转化酶基因家族蛋白中有 5 个均含有 10 个保守基序, 表明液泡蔗糖转化酶基因家族蛋白的保守性要高于细胞壁蔗糖转化酶基因家族蛋白。成员的保守基序分布不同, 构成了蛋白质的多样性。

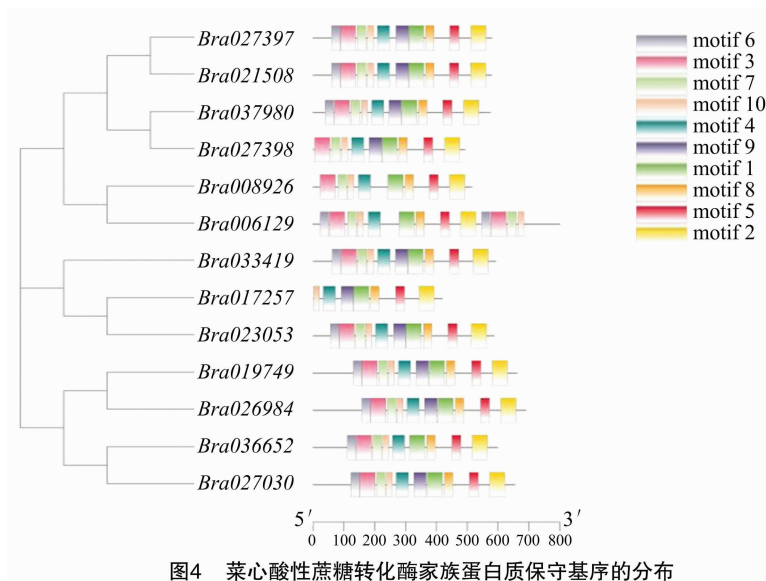


图4 菜心酸性蔗糖转化酶家族蛋白质保守基序的分布

## 2.7 酸性蔗糖转化酶家族基因表达模式分析

利用菜心不同器官转录组数据分析酸性蔗糖转化酶家族基因在叶片、茎秆和花蕾中的表达特征, 结果(图 5)表明, 13 个基因均至少在 1 个器官中表达, 其中有 10 个基因在各个组织中均有表达, *Bra019749* 和 *Bra026984* 在茎秆中有很高的表达量, *Bra017257* 在花蕾中有很高的表达量, 说明这些基因在菜心茎秆和花蕾营养物质积累中具有重要作用。此外, 部分基因在不同部位中存在特异性表达, 如 *Bra027398* 和 *Bra006129* 在花蕾中特异性表达。

## 3 讨论与结论

近年来, 众多的研究表明, 酸性蔗糖转化酶在植物生长发育、营养物质分配及表达调控方面发挥着关键作用<sup>[19]</sup>, 进而提高植物的产量及品质, 这为人们研究植物中酸性蔗糖转化酶基因奠定了基础。植物中糖的代谢和积累与其产量和品质密切相关, 蔗糖是高等植物光合作用的主要产物之一<sup>[20]</sup>。本研究通过对比拟南芥酸性蔗糖转化酶基因家族, 在菜心中鉴定出 13 个酸性蔗糖转化酶基因家族成员, 数量上与拟南芥、番茄<sup>[21]</sup>相近。



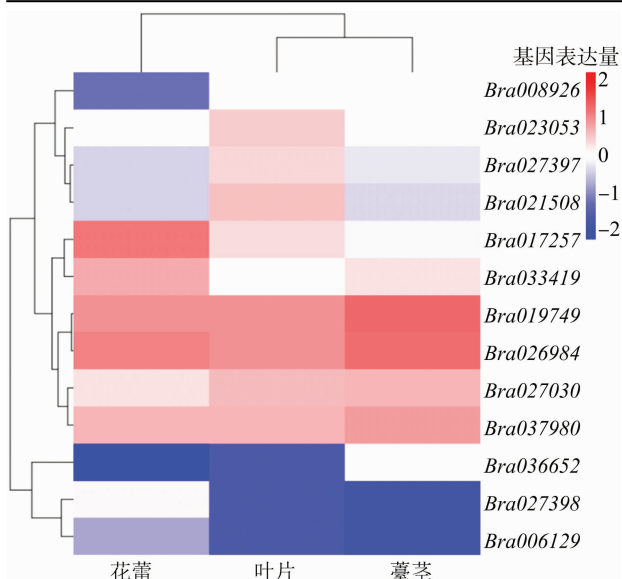


图5 菜心酸性蔗糖转化酶基因家族在不同部位中的表达情况

通过生物信息学分析软件对菜心酸性转化酶家族基因进行理化性质分析,发现 13 个菜心酸性转化酶基因家族蛋白质成员的氨基酸数量为 418 ~ 800 个,其中 *Bra017257* 的为 418 个,少于其他的基因。酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白的氨基酸数量有很大差异,主要是由于外显子和内含子数量不同导致的,植物中该基因的典型结构包括 7 个外显子和 6 个内含子<sup>[22]</sup>。因此 *Bra017257*、*Bra027398* 这 2 个细胞壁蔗糖转化酶基因蛋白氨基酸数量少是由于 *Bra017257* 有 4 个外显子, *Bra027398* 有 3 个外显子。与其他酸性蔗糖转化酶差异明显,说明 *CWINV4* (*Bra017257*) 和 *CWINV5* (*Bra027398*) 存在外显子丢失情况。从酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白序列的保守基序来看,大部分基因中都包含 10 个保守基序且排序一致,说明菜心酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白质具有高度保守性。通过分析酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白的理化性质发现液泡蔗糖转化酶的等电点低于细胞壁蔗糖转化酶。相关研究表明,高等植物中低等电点的酶为液泡蔗糖转化酶,高等电点的酶为细胞壁蔗糖转化酶,且分别定位到液泡和细胞壁<sup>[23-24]</sup>,本研究中通过亚细胞定位将菜心酸性蔗糖转化酶基因家族蛋白质定位在细胞壁、外膜和周质上,表明这些基因在细胞壁、外膜和周质中发挥作用。

本研究利用拟南芥 8 个酸性蔗糖转化酶家族基因作为参考序列,根据笔者所在课题组已有的菜心转录组数据结合大白菜全基因组数据库对菜心所有酸性蔗糖转化酶家族基因进行鉴定,识别出了 13

个菜心酸性蔗糖转化酶基因家族成员,它们的氨基酸数量大部分为 500 ~ 650 个,分子量变化与氨基酸数量变化趋势一致。其蛋白质二级结构无规则卷曲所占比例最高。13 个基因中有 8 个基因均含有 10 个保守基序。系统发育分析结果显示,这些基因分为 2 类,其中菜心细胞壁蔗糖转化酶基因 (*CWINV*) 9 个,液泡蔗糖转化酶基因 (*VINV*) 4 个,它们不均匀地分布在 7 条染色体上,其家族中大部分基因均含有 6 个或 7 个外显子。13 个酸性蔗糖转化酶基因在菜心茎和花蕾中高表达的成员较多。这些结果有助于理解酸性蔗糖转化酶基因在菜心蔗糖代谢调控中的作用,同时也为探究酸性蔗糖转化酶基因多样性提供了数据基础。

#### 参考文献:

- [1] 张衍荣. 菜心育种现状与展望[J]. 广东农业科学, 1997, 24(3): 27-29.
- [2] 陆信娟, 邢后银, 刘先友, 等. 南京地区“50 天油绿”菜心栽培技术[J]. 河北农业科学, 2008, 12(1): 47-48.
- [3] 闫旭成. 名优特蔬菜: 菜薹[J]. 新疆农垦科技, 1993, 16(4): 38.
- [4] 陈荣宇, 钟玉娟, 谢大森, 等. 不同菜心品种的营养品质及外在感官品质评价分析[J]. 广东农业科学, 2020, 47(5): 21-28.
- [5] Doty T E. Fructose sweetness: a new dimension[J]. Cereal Foods World, 1976, 21: 62-63.
- [6] Bihmidine S, Hunter C T, Johns C E, et al. Regulation of assimilate import into sink organs: update on molecular drivers of sink strength[J]. Frontiers in Plant Science, 2013, 4: 177.
- [7] Tiessen A, Padilla - Chacon D. Subcellular compartmentation of sugar signaling: links among carbon cellular status, route of sucrolysis, sink - source allocation, and metabolic partitioning[J]. Frontiers in Plant Science, 2013, 3: 306.
- [8] Basson C E, Groenewald J H, Kossmann J, et al. Sugar and acid - related quality attributes and enzyme activities in strawberry fruits: invertase is the main sucrose hydrolysing enzyme[J]. Food Chemistry, 2010, 121(4): 1156-1162.
- [9] Barratt D H P, Derbyshire P, Findlay K, et al. Normal growth of *Arabidopsis* requires cytosolic invertase but not sucrose synthase[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(31): 13124-13129.
- [10] Rausch T, Greiner S. Plant protein inhibitors of invertases[J]. Biochimica et Biophysica Acta, 2004, 1696(2): 253-261.
- [11] Masuda H, Takahashi T, Sugawara S. The occurrence and properties of alkaline invertase in mature roots of sugar beets[J]. Agricultural and Biological Chemistry, 1987, 51(9): 2309-2314.
- [12] 潘秋红, 张大鹏. 植物转化酶的种类、特性与功能[J]. 植物生理学通讯, 2004, 40(3): 275-280.
- [13] Sturm A. Invertases. Primary structures, functions, and roles in plant development and sucrose partitioning[J]. Plant Physiology,

陈月红,赵密珍,郭成宝,等. 不同水质和培养基对紫金久红草莓组培快繁的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(19):50-55.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.19.007

# 不同水质和培养基对紫金久红草莓组培快繁的影响

陈月红<sup>1</sup>, 赵密珍<sup>2</sup>, 郭成宝<sup>1</sup>, 曹荣祥<sup>1</sup>, 朱微元<sup>1</sup>, 林久军<sup>1</sup>, 王庆莲<sup>2</sup>, 韩金龙<sup>1</sup>, 于红梅<sup>2</sup>, 石英健<sup>3</sup>

(1. 江苏丘陵地区南京农业科学研究所, 江苏南京 210046; 2. 江苏省农业科学院园艺研究所, 江苏南京 210014;

3. 宿迁绿隆现代农业科技有限公司, 江苏宿迁 223800)

**摘要:**以紫金久红草莓为试材,红颊草莓为对照,研究不同水质和基本培养基对草莓试管苗快繁和生长的影响。结果表明,草莓植株在 MS 增殖培养基中的生长势显著优于 White 培养基,自来水配制的 MS 培养基比去离子水配制的 MS 培养基更适合草莓植株的生长;1/2 MS 培养基和 White 培养基都可以用于草莓生根培养,草莓在 1/2 MS 培养基中的生根情况优于 White 培养基,但 White 培养基成本低于 1/2 MS 培养基。

**关键词:**草莓;水质;培养基;组培快繁;试管苗

**中图分类号:**S668.404 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)19-0050-06

草莓产业在许多国家有着蓬勃的发展<sup>[1-2]</sup>,而草莓种苗质量是影响草莓产业化发展的关键因素之一。在传统自繁自育的育苗方式下,出现了草莓种苗繁殖系数降低、易感病、产量降低等不利因素,严重影响了草莓发展。通过组培快繁技术培育的草莓种苗具有长势强、产量高等优点<sup>[3]</sup>,但组培快繁

技术的成本相对较高。选择适合的水质和培养基是降低生产成本的措施之一。生产中为了降低植物组织培养成本,较多采用自来水配制培养基<sup>[4-5]</sup>。

MS 培养基最初用于烟草培养<sup>[6-7]</sup>,随后在草莓上应用的研究报道越来越多<sup>[8-13]</sup>。MS 培养基常用于草莓茎尖诱导培养、增殖培养<sup>[9]</sup>、再生培养<sup>[14-15]</sup>,1/2 MS 培养基多用于生根培养<sup>[14]</sup>。改良的 White 培养基在植物组织培养中用途也比较广泛<sup>[16-18]</sup>。本试验通过对不同水质和培养基进行对比筛选,以期草莓工厂化生产提供技术依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

试验草莓品种为紫金久红草莓、红颊草莓。紫

收稿日期:2021-10-29

基金项目:亚夫科技服务项目[编号:KF(21)2015];南京市现代种业项目(编号:20210815);江苏省苏北科技专项(编号:SZ-SQ2021001)。

作者简介:陈月红(1975—),女,江苏盐城人,硕士,主要从事园艺植物栽培研究。E-mail:cyh2007104026@163.com。

通信作者:于红梅,副研究员,主要从事草莓栽培技术研究。E-mail:1320836861@qq.com。

1999,121(1):1-7.

[14] Juárez-Colunga S, López-González C, Morales-Eliás N C, et al. Genome-wide analysis of the invertase gene family from maize[J]. Plant Molecular Biology, 2018, 97(4/5):385-406.

[15] Schwebel-Dugue N, Mtili N E, Krivitzky M, et al. Arabidopsis gene and cDNA encoding cell-wall invertase[J]. Plant Physiology, 1994, 104(2):809-810.

[16] Reca I B, Brutus A, D'Avino R, et al. Molecular cloning, expression and characterization of a novel apoplastic invertase inhibitor from tomato (*Solanum lycopersicum*) and its use to purify a vacuolar invertase[J]. Biochimie, 2008, 90(11/12):1611-1623.

[17] 熊思亦, 张聪聪, 马荣雪, 等. 西瓜、甜瓜蔗糖转化酶基因家族鉴定及表达分析[J]. 分子植物育种, 2021(5):1-15.

[18] 高雅倩, 陈学良, 陈东红, 等. 铁皮石斛 CSLA 基因家族的全基因组鉴定和表达分析[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(13):3120-

3127.

[19] 王连军. 高等植物中蔗糖转化酶的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(24):8108-8111.

[20] 陈俊伟, 张上隆, 张良诚. 果实中糖的运输、代谢与积累及其调控[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(1):1-10.

[21] 魏华伟, 柴松琳, 胡克玲, 等. 辣椒酸性蔗糖转化酶基因家族鉴定及表达[J]. 分子植物育种, 2019, 17(15):4900-4907.

[22] 黄五星, 任聪, 邵惠芳, 等. 植物转化酶研究进展[J]. 北京农业, 2013(15):3-4.

[23] Tymowska-Lalanne Z, Kreis M. The plant invertases: physiology, biochemistry and molecular biology[J]. Advances in Botanical Research, 1998, 28:71-117.

[24] Roitsch T, González M C. Function and regulation of plant invertases: sweet sensations[J]. Trends in Plant Science, 2004, 9(12):606-613.