

马越,丁云花,刘光敏,等.青花菜花球及叶片中硫代葡萄糖苷组分及含量分析[J].江苏农业科学,2016,44(7):300-303.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.07.088

青花菜花球及叶片中硫代葡萄糖苷组分及含量分析

马越,丁云花,刘光敏,胡丽萍,赵学志,何洪巨

(北京市农林科学院蔬菜研究中心/果蔬农产品保鲜与加工北京市重点实验室/

农业部华北地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室/农业部都市农业(北方)重点实验室,北京100097)

摘要:对12个青花菜(*Brassica oleracea* L. var. *botryti* L.)品种的花球及叶片中的硫苷含量及组成进行了分析测定,结果表明,青花菜中含有9种硫代葡萄糖苷,分别为3-甲基硫氧烯丙基硫苷(IBE)、2-羟基-3-丁烯基硫苷(PRO)、2-丙烯基硫苷(SIN)、4-甲硫基-3-丁烯基硫苷(RAA)、3-丁烯基硫苷(NAP)、4-羟基吲哚基-3-甲基硫苷(4OH)、3-甲基吲哚基硫苷(GBC)、4-甲氧基吲哚基-3-甲基硫苷(4ME)、1-甲氧基吲哚基-3-甲基硫苷(NEO)。青花菜花球中的硫苷含量是叶片中的1~5倍不等,不同品种之间存在差异性。RAA是青花菜中含量最多的硫苷组分。

关键词:青花菜;花球;叶片;硫代葡萄糖苷

中图分类号: S635.301 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)07-0300-04

青花菜(*Brassica oleracea* L. var. *botryti* L.)属于十字花科芸薹属甘蓝种的变种,为一、二年生草本植物。硫代葡萄糖苷(glucosinolates, GLS, 简称硫苷)是一类含硫化合物,是十字花科蔬菜中重要的次生代谢产物。所有的十字花科植物都能够合成硫代葡萄糖苷,硫代葡萄糖苷存在于这些植物的根、茎、叶、种子中^[1]。由于侧链R基团的不同,可把硫苷分为脂肪类、芳香类、吲哚类硫苷3类。硫代葡萄糖苷及其降解产物具有多种生物活性、化学活性,硫代葡萄糖苷已被证实与十字花科蔬菜的风味及营养成分、植物自我保护机制以及人类的身体健康有着密切关系。蔬菜在被食用或机械破碎时,其中所含的硫苷被内源芥子酶水解成多种具有生理活性的降解产物,产物之一的异硫氰酸酯能够有效预防癌症,尤其是膀胱

癌、结肠癌和肺癌^[2-4]。青花菜富含3-甲基硫氧烯丙基硫苷(glucobrassicin)、4-甲基硫氧丁基硫苷(glucoraphanin)、3-甲基吲哚基硫苷(glucobrassicin)以及1-甲氧基吲哚基-3-甲基硫苷(neoglucobrassicin)^[5]。英国科学家已选育出高硫苷含量的青花菜新品种,该品种的抗癌能力是普通青花菜的80倍^[4,6]。不同蔬菜种类或同一蔬菜种类的不同品种、不同生长环境以及同一植株的不同生长阶段、同一植株的不同部位硫苷的含量及组分都存在差别^[7-10]。本研究对我国市场上常见的12个青花菜品种的花球、叶片的硫苷含量及组成进行了测定,结合青花菜栽培性状及产量等进行分析,旨在对青花菜育种及副产物综合利用提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试的12个青花菜品种来自北京市农林科学院蔬菜研究中心(表1)。2013年2月1日播种,3月25日定植于北京市农林科学院蔬菜研究中心通州农场,采用露地直播方式,株距50 cm,行距50 cm,重复3次。7月24日取新鲜的花球及叶片测定硫苷含量。

收稿日期:2015-05-18

基金项目:农业部公益性行业科研专项(编号:20130309);北京市农林科学院科技创新能力建设专项(编号:KJXC20140111)。

作者简介:马越(1971—),女,浙江绍兴人,硕士,副研究员,主要从事食品加工研究。E-mail: mayue@nervc.org。

通信作者:何洪巨,博士,研究员,主要从事蔬菜营养品质研究。E-mail: hongjuhe@hotmail.org。

情况。如果水温低,应及时采取升温措施,以保证蛙卵的正常孵化。(2)检查蛙卵有无污染。如果卵膜晶莹透明,表明蛙卵没有污染;如果卵团变为土黄色,卵胶膜黏一层泥沙,表明水质不清洁,蛙卵已被污染,应改进灌水技术,排出污染的水,灌入新鲜干净的水。(3)检查有无沉水卵,尤其在利用水池孵化时。如果发现蛙卵沉入池底并粘连于池底泥沙之上,表面黏一层泥沙,呈土黄色,表明出现沉水卵。(4)检查卵团是否在放入孵化池3 d内浮出水面。如果卵团浮出水面,在卵粒胶膜之间出现大量气泡,卵团由球形变为片状,表明卵团没有被泥沙污染,孵化状况良好。(5)经常检查蛙卵孵化情况,检查蛙卵发育速度是否整齐一致。在正常情况下,同一团蛙

卵的发育速度基本一致。检查胚胎死亡情况,如果发现较多蛙卵停止发育,如同一团卵有的已发育至尾芽期,有的则停留在神经胚阶段,表明停止发育的卵已经死亡。

参考文献:

- [1]杜景新,王丽,李春慧,等.林蛙油、林蛙卵油的成分及开发利用[J].人参研究,2003,15(3):18-19.
- [2]宋百军,王春清,徐丽平.药用动物养殖学[M].长春:吉林人民出版社,2009:343-347.
- [3]吕树臣,王春青,常维毅.中国林蛙难产及其防治[J].特种经济动植物,2003,6(1):39.

表 1 供试的 12 个青花菜品种信息

品种	熟性	单球质量 (kg)	品种来源
中绿 1 号	中熟	0.4	中国种子集团有限公司
贡献者	早熟	0.2	北京华耐农业发展有限公司
优雅	中晚熟	0.4	北京柯瑞德种子有限公司
野绿	中熟	0.3	商丘市傲雪种业有限公司
中绿 6 号	中熟	0.3	中国种子集团有限公司
绿森	中晚熟	0.3	北京华耐农业发展有限公司
中绿 9 号	中晚熟	0.4	中国种子集团有限公司
中绿 5 号	中晚熟	0.4	中国种子集团有限公司
南秀 366 号	中熟	0.5	北京华耐农业发展有限公司
萨利 3 号	早熟	0.2	北京华耐农业发展有限公司
幸运	中熟	0.4	上海实满丰种业有限公司(比久)
大帝	中早熟	0.5	北京柯瑞德种子有限公司

1.2 方法

1.2.1 硫苷的提取^[11] 取新鲜青花菜花球及叶片,分割成小球或小片,在真空冷冻干燥机内干燥。称量粉碎好的样品 0.2 g,放入 15 mL 塑料管中。加入内标 TRO(苯甲基硫苷) 0.25 mL,迅速加入 100% 预热的甲醇,80 ℃ 下水浴 20 min,每隔 4~5 min 涡旋振荡 1 次,3 000 r/min 离心 10 min,取上清液倒入 15 mL 塑料管中,放在冰盆中。沉淀物继续用 70% 甲醇提取 2 次,同上述处理方法,合并上清液,即为样品液。取一次性注射器,加入玻璃棉,塞紧,放在试管上。加入 DEAE 胶溶液 2 mL,用 2 mL 双蒸水洗涤,加入样品液 2 mL。待样品液不再滴下,加入 0.02 mol/L NaAc 溶液。待不再有液体滴下,将注射器转移到另一试管上,加入 75 μL 硫酸酯酶溶液,封口过夜。将过夜的注射器用双蒸水洗涤 3 次,每次 0.5 mL。用注射头挤压注射器,使液体尽可能转移到试管中。将试管中液体通过 0.45 μm 滤膜转移到小玻璃瓶中,冷冻保存,待用。

1.2.2 硫苷的分析 HPLC 分析条件:Nova-Pak® C₁₈ 色谱

柱:3.9 mm × 150 mm,50 μm,检测波长 229 nm,流速 1.0 mL/min,常温,进样量 20 μL,梯度洗脱如表 2 所示。A 液:1 g 四甲基氯化铵(TMACl)溶于 2 L 双蒸水中,混匀,抽滤。B 液:1 g 四甲基氯化铵(TMACl)溶于 1.6 L 双蒸水中,加入 400 mL 色谱纯乙腈,混匀抽滤。

表 2 流动相梯度组成

时间 (min)	流量 (mL/min)	泵 A (%)	泵 B (%)
0	1	100	0
1	1	100	0
21	1	0	100
26	1	100	0
31	1	100	0

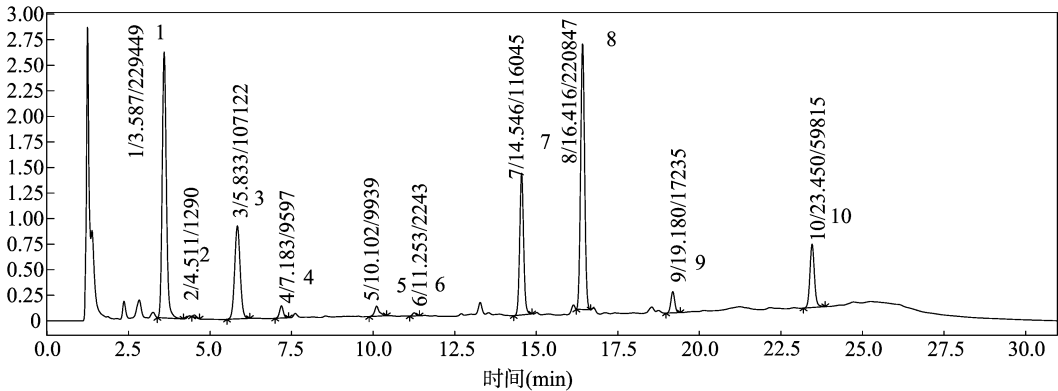
采用苯甲基硫苷作为内标,根据保留时间和峰面积测定硫苷组分。利用内标和响应因子计算硫苷含量,硫苷含量计算公式如下:

硫苷含量 = $\frac{\text{脱硫硫苷峰面积} \times \text{内标量} \times \text{脱硫硫苷相对响应因子}}{\text{内标峰面积} \times \text{试样质量}}$

2 结果与分析

2.1 青花菜中硫苷组分

根据不同保留时间以及特征峰形,可以鉴定得到:3-甲基硫氧烯丙基硫苷(glucobrassicin,IBE)、2-羟基-3-丁烯基硫苷(progoitrin,PRO)、2-丙烯基硫苷(sinigrin,SIN)、4-甲基硫氧丁基硫苷(glucoraphanin,RAA)、3-丁烯基硫苷(glucanapin,NAP)、4-羟基吲哚基-3-甲基硫苷(4-hydroxyglucobrassicin,4OH)、苯甲基硫苷(glucotropaeolin,TRO,内标)、3-甲基吲哚基硫苷(glucobrassicin,GBC)、4-甲氧基吲哚基-3-甲基硫苷(4-methoxyglucobrassicin,4ME)、1-甲氧基吲哚基-3-甲基硫苷(neoglucobrassicin,NEO)(图 1)。



1—3-甲基硫氧烯丙基硫苷(IBE); 2—2-羟基-3-丁烯基硫苷(PRO); 3—2-丙烯基硫苷(SIN); 4—4-甲基硫氧丁基硫苷(RAA); 5—3-丁烯基硫苷(NAP); 6—4-羟基吲哚基-3-甲基硫苷(4OH); 7—苯甲基硫苷(内标); 8—3-甲基吲哚基硫苷(GBC); 9—4-甲氧基吲哚基-3-甲基硫苷(4ME); 10—1-甲氧基吲哚基-3-甲基硫苷(NEO)

图 1 青花菜硫苷的 HPLC 图谱

2.2 不同青花菜品种中总硫苷含量

由图 2 可以看出,不同青花菜品种间花球及叶片中总硫苷含量差异较大。青花菜花球中,中绿 1 号的硫苷含量最高,为 23.53 μmol/g DW;其次是贡献者,含量为 23.03 μmol/g DW;含量最低的是大帝,为 9.19 μmol/g DW。

青花菜叶片中,中绿 9 号总硫苷含量最高,为 10.11 μmol/g DW;其次为中绿 5 号,为 9.86 μmol/g DW;含量最低的是南秀 366 号,仅为 1.93 μmol/g DW。总体而言,青花菜花球中的硫苷含量是叶片的 1~5 倍不等,不同品种之间存在差异性。

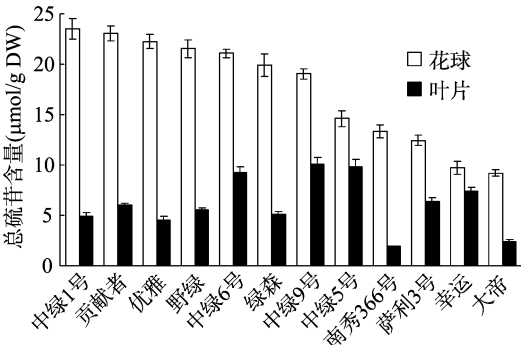


图2 不同青花菜品种花球、叶片中总硫苷含量

2.3 不同青花菜品种中硫苷组分的分析

目前已从自然界中分离鉴定出 120 多种硫苷,不同十字花科作物中的硫苷组分不同,其中在芸薹属蔬菜中发现了 15~20 种硫苷^[12],青花菜中已报道的则有 16 种^[5]。本试验对 12 个青花菜品种的花球和叶片中的硫苷组分进行了测定,

共检测出 9 种硫苷组分(表 3、表 4)。这 9 种硫苷分属于脂肪类、吡啶类,没有检测出芳香类硫苷。

由表 3 可以看出,9 种硫苷组分中,RAA 在青花菜花球中含量最多,占硫苷总含量的 20.14%~69.42%。南秀 366 号总硫苷含量为 13.31 μmol/g,但 RAA 含量为 9.24 μmol/g,在所有品种中占比最高。野绿总硫苷含量为 21.55 μmol/g,但其中 RAA 仅为 4.34 μmol/g,仅占总含量的 20.14%。结果表明,不同青花菜栽培种对 RAA 硫苷在总硫苷含量中所占的比例有影响,这与 Schonhof 等的检测结果^[13]一致。Abercrombie 等研究发现,连续 2 年青花菜双单倍体(自交种)亲本形成的双列杂交群体中,RAA 含量呈现显著的常规遗传结合力,但没有发现显著的特殊遗传结合力,常规遗传结合力均方约为特殊遗传结合力均方的 14 倍,表明常规结合力在预测杂交产生的 RAA 含量方面比特殊结合力更重要,因此一个给定的自交种与其他自交种结合将产生相对可预测 RAA 含量的杂交种^[14]。青花菜花球是主要的可食部位,因此,青花菜潜在的保健作用主要取决于所选择的栽培品种。

表 3 不同青花菜品种的花球中硫苷组成及总量

品种	脂肪族硫苷含量(μmol/g DW)					吡啶族硫苷含量(μmol/g DW)				硫苷总量 (μmol/g DW)
	RAA	IBE	PRO	NAP	SIN	NEO	4ME	4OH	GBC	
中绿 1 号	13.62 (57.88%)	0.05	0.01	0.71	0.01	4.43	0.35	0.30	4.05	23.53
贡献者	12.22 (53.06%)	3.17	1.82	0.35	0.44	1.73	0.26	0.45	2.59	23.03
优雅	7.57 (34.04%)	0.90	2.01	0.29	0.26	8.20	0.46	0.15	2.40	22.24
野绿	4.34 (20.14%)	0.01	0.08	0.78	0.01	11.83	0.91	0.28	3.31	21.55
中绿 6 号	10.46 (49.64%)	1.40	0.13	0.31		4.25	0.35	0.22	3.95	21.07
绿森	8.82 (44.37%)	3.23	0.36	0.38		3.59	0.21	0.19	3.10	19.88
中绿 9 号	6.75 (35.45%)	0.87	0.86	0.61	0.34	5.22	0.33	0.07	3.99	19.04
中绿 5 号	6.64 (45.45%)	1.00	0.01	0.40		3.07	0.26	0.13	3.10	14.61
南秀 366 号	9.24 (69.42%)	0.08	0.17	0.63		1.13	0.24	0.29	1.53	13.31
萨利 3 号	5.35 (43.04%)	1.36	1.27	0.73	0.38	1.58	0.48	0.15	1.13	12.43
幸运	3.64 (37.41%)	0.73		0.35	0.01	2.87	0.20	0.05	1.88	9.73
大帝	4.67 (50.82%)	0.74	0.54	1.19	0.19	0.81	0.13	0.03	0.89	9.19

注:括号内数值表示该硫苷在总硫苷中所占百分比。下表同。

由表 4 可以看出,RAA 在青花菜叶片硫苷组分中占比最高,占总含量的 9.33%~56.57%,其中中绿 6 号总硫苷含量 9.25 μmol/g DW,RAA 含量为 4.76 μmol/g DW;南秀 366 号总硫苷含量为所有品种中最低,仅为 1.93 μmol/g DW,其中 RAA 占比也最低。叶片的用途与花球不同,叶片是青花菜的

副产物,可以作为饲料进行再利用。研究表明,含有 β-OH 的硫代葡萄糖苷能降解生成 2 种能导致甲状腺肿大的产物:异硫氰酸盐和唑烷-2-硫,它们通过不同的方式作用于动物或人体的甲状腺造成危害^[3-4]。PRO 是对营养价值不利的主要硫苷组分^[15]。从表 4 可以看出,PRO 占总硫苷含量从

表 4 不同青花菜品种的叶片中硫苷组成及总量

品种	脂肪族硫苷含量(μmol/g DW)					吡啶族硫苷含量(μmol/g DW)				硫苷总量 (μmol/g DW)
	RAA	IBE	PRO	NAP	SIN	NEO	4ME	4OH	GBC	
中绿 9 号	3.00 (26.70%)	3.27	2.13 (21.07%)	0.50	0.54	0.41	0.06	0.10	0.10	10.11
中绿 5 号	4.28 (43.41%)	2.05	1.95 (19.78%)	0.33	0.74	0.35	0.10	0.06		9.86
中绿 6 号	4.76 (51.46%)	1.85	1.13 (12.22%)	0.53	0.76	0.17	0.01	0.03	0.01	9.25
幸运	3.23 (43.65%)	1.3	0.88 (11.89%)	0.80	0.89	0.25	0.01	0.03	0.01	7.40
萨利 3 号	1.34 (21.04%)	1.5	2.14 (33.59%)	0.76	0.24	0.25	0.08	0.01	0.05	6.37
贡献者	1.60 (26.71%)	1.78	1.42 (23.71%)	0.42	0.29	0.35	0.02	0.08	0.03	5.99
野绿	0.86 (15.58%)	1.89	1.65 (29.89%)	0.40	0.01	0.60	0.05	0.05	0.01	5.52
绿森	1.88 (37.08%)	0.66	0.73 (14.40%)	0.35	1.09	0.18	0.13	0.04	0.01	5.07
中绿 1 号	2.80 (56.57%)	0.73	0.78 (15.76%)	0.33	0.02	0.21	0.04	0.03	0.01	4.95
优雅	0.73 (16.11%)	0.82	1.94 (42.83%)	0.63	0.08	0.24	0.08	0.01		4.53
大帝	0.32 (13.06%)	0.57	0.73 (29.80%)	0.62	0.06	0.13	0.02			2.45
南秀 366 号	0.18 (9.33%)	0.32	0.51 (26.42%)	0.65	0.01	0.12	0.01	0.12	0.01	1.93

11.89% ~ 42.83% 不等,其中幸运品种 PRO 含量为 0.88 $\mu\text{mol/g DW}$,硫苷总含量为 7.4 $\mu\text{mol/g DW}$,幸运品种的叶片最适宜进行饲料加工。

青花菜是十字花科蔬菜中 4-甲硫基-3-丁烯基硫代葡萄糖苷 (glucoraphanin, RAA) 含量最丰富的蔬菜之一^[16]。RAA 是萝卜硫素前体,萝卜硫素已被证实是迄今为止发现的最强烈的 phase II 酶诱导剂,能降低食道癌、结肠癌、乳腺癌等多种癌症的发病率^[2-5,17-19]。其他硫苷的同源异硫氰酸盐的抗癌功效也有报道,如 3-甲基吡啶基硫苷 (glucobrassicin, GBC) 的水解产物吡啶-3-甲醇能够调节生物转化酶的活性,从而抑制乳腺癌、前列腺癌细胞的活性^[20-21]。

不同蔬菜和品种中硫苷含量的差异可以归结为基因型不同^[22],同时受环境因素的影响。Farnham 等对生长在 3 个不同环境下的 9 种不同基因型的青花菜硫苷含量进行了研究,发现环境对硫苷含量影响显著,RAA 是唯一显著受基因型影响的硫苷,对 RAA 含量的影响因素中,基因型效应占 52.8%,基因型和环境互作效应小于基因型^[10]。本试验中所有青花菜品种均生长在同一环境中,栽培条件基本相同,因此硫苷含量差异主要取决于品种本身基因差异。

3 结论

本研究表明,青花菜中检测到 9 种硫代葡萄糖苷,分别为 3-甲基硫氧烯丙基硫苷 (IBE)、2-羟基-3-丁烯基硫苷 (PRO)、2-丙烯基硫苷 (SIN)、4-甲硫基-3-丁烯基硫苷 (RAA)、3-丁烯基硫苷 (NAP)、4-羟基吡啶基-3-甲基硫苷 (4OH)、3-甲基吡啶基硫苷 (GBC)、4-甲氧基吡啶基-3-甲基硫苷 (4ME)、1-甲氧基吡啶基-3-甲基硫苷 (NEO)。这 9 种硫苷分属于吡啶类与脂肪类,没有检测到芳香类硫苷。其中 4-甲硫基-3-丁烯基硫代葡萄糖苷是青花菜中的主要硫苷。南秀 366 号花球中 RAA 含量占比最高,叶片中 RAA 含量占比最低,具有潜在的应用前景。

参考文献:

- [1] 季宇彬,武晓丹,邹翔. 硫代葡萄糖苷的研究[J]. 哈尔滨商业大学学报:自然科学版,2005,21(5):550-554.
- [2] Cartea M E, Velasco P. Glucosinolates in brassica foods: Bioavailability in food and significance for human health[J]. Phytochemistry Reviews, 2008, 7(2): 213-229.
- [3] Manson M M, Ball H W, Barrett M C, et al. Mechanism of action of dietary chemoprotective agents in rat liver: induction of phase I and II drug metabolizing enzymes and aflatoxin B₁ metabolism[J]. Carcinogenesis, 1997, 18(9): 1729-1738.
- [4] Mithen R, Faulkner K, Magrath R, et al. Development of isothiocyanate-enriched broccoli, and its enhanced ability to induce phase 2 detoxification enzymes in mammalian cells[J]. Theoretical and Applied Genetics, 2003, 106(4): 727-734.
- [5] Latté K P, Appel K E, Lampen A. Health benefits and possible risks of broccoli: an overview[J]. Food and Chemical Toxicology, 2011, 49

- (12): 3287-3309.
- [6] Sarikamis G, Marquez J, McCormack R, et al. High glucosinolate broccoli: A delivery system for sulforaphane[J]. Molecular Breeding, 2006, 18(3): 219-228.
- [7] 何洪巨,陈杭, Schnitzler W H. 芸薹属蔬菜中硫代葡萄糖苷鉴定与含量分析[J]. 中国农业科学, 2002, 35(2): 192-197.
- [8] Sun B, Liu N, Zhao Y T, et al. Variation of glucosinolates in three edible parts of Chinese kale (*Brassica alboglabra* Bailey) varieties[J]. Food Chemistry, 2011, 124(3): 941-947.
- [9] Brown P D, Tokuhisa J G, Reichelt M, et al. Variation of glucosinolate accumulation among different organs and developmental stages of *Arabidopsis thaliana*[J]. Phytochemistry, 2003, 62(3): 471-481.
- [10] Farnham M W, Wilson P E, Stephenson K K, et al. Genetic and environmental effects on glucosinolate content and chemoprotective potency of broccoli[J]. Plant Breeding, 2004, 123(1): 60-65.
- [11] He H, Ping L, Bonnema G, et al. Genetic variation in glucosinolate content within *Brassica rapa* vegetables [J]. Acta Horticulturae, 2012, 944: 129-140.
- [12] Fahey J W, Zalcmann A T, Talalay P. The chemical diversity and distribution of glucosinolates and isothiocyanates among plants[J]. Phytochemistry, 2001, 56(1): 5-51.
- [13] Schonhof I, Krumbein A, Brückner B. Genotypic effects on glucosinolates and sensory properties of broccoli and cauliflower[J]. Die Nahrung, 2004, 48(1): 25-33.
- [14] Abercrombie J M, Farnham M W, Rushing J W. Genetic combining ability of glucoraphanin level and other horticultural traits of broccoli [J]. Euphytica, 2005, 143(1/2): 145-151.
- [15] Halkier B A, Gershenzon J. Biology and biochemistry of glucosinolates[J]. Annual Review of Plant Biology, 2006, 57: 303-333.
- [16] Vallejo F, Tomás-Barberán F A, García-Viguera C. Potential bioactive compounds in health promotion from broccoli cultivars grown in Spain [J]. Journal of Science of Food and Agriculture, 2002, 82: 1293-1297.
- [17] Juge N, Mithen R F, Traka M. Molecular basis for chemoprevention by sulforaphane: A comprehensive review[J]. Cellular and Molecular Life Sciences, 2007, 64(9): 1105-1127.
- [18] 姚丹燕, 吴秋云, 李倩, 等. 萝卜硫素调控机制的研究进展[J]. 园艺学报, 2014, 41(5): 1020-1026.
- [19] 单彦卿, 张建丽, 何洪巨. 十字花科植物中硫代葡萄糖苷及萝卜硫素的性质研究[J]. 食品科技, 2007, 32(9): 110-112.
- [20] Brew C T, Aronchik I, Kosco K, et al. Indole-3-carbinol inhibits MDA-MB-231 breast cancer cell motility and induces stress fibers and focal adhesion formation by activation of Rho kinase activity [J]. International Journal of Cancer, 2009, 124(10): 2294-2302.
- [21] Weng J R, Tsai C H, Kulp S K, et al. Indole-3-carbinol as a chemopreventive and anti-cancer agent[J]. Cancer Letters, 2008, 262(2): 153-163.
- [22] 刘哲, 张秋萍, 苏小俊, 等. 萝卜硫苷合成和调节相关基因研究进展[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(6): 168-170.