

# 茎瘤芥营养生长后期瘤茎鲜重和总芥子油苷变化规律研究

胡相云, 胡敏, 谭祥国, 王恩东, 田春美

(重庆工贸职业技术学院, 重庆 408000)

**摘要:**以茎瘤芥主栽品种“涪杂2号”和“永安小叶”为试材,分析了茎瘤芥营养生长后期瘤茎鲜重和总芥子油苷含量变化。结果表明:瘤茎鲜重与总芥子油苷含量变化与气温有关,茎瘤芥品种间的总芥子油苷含量受采收日期影响显著,各器官间也存在显著差异。试验表明,在重庆沿江茎瘤芥产区,以2月中旬气温回升时采收最为适宜,瘤茎能够达到较高的总芥子油苷含量并实现丰产。

**关键词:**茎瘤芥;鲜重;总芥子油苷;采收期

**中图分类号:**S 637.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)24-0024-04

茎瘤芥(*Brassica juncea* var. *tumida* Tsen et Lee)属十字花科芸薹属芥菜的一个茎用变种,其瘤茎主要用于加工榨菜,也是非常好的鲜食蔬菜。芥子油苷(硫代葡萄糖苷,简称硫苷)是芥菜类蔬菜重要的成分物质,在完整的植物体内相对稳定。芥子油苷酶易分解,当植物组织和细胞受到损伤时,遇自身黑芥子酶会迅速分解,脱去等摩尔的硫酸和葡萄糖,并在不同的条件下进行非酶化重组反应,形成多种不同的降解产物。其降解产物具有多种生物活性,对植物、动物和人类有重要的生物学和营养学作用,特别是 ITC<sub>s</sub> 具有很强的抗癌活性,已引起人们广泛关注<sup>[1]</sup>。影响榨菜风味品质的营养物质主要是蛋白质和氨基酸、芥子油苷和糖类物质,其中,芥子油苷的水解产物是榨菜“菜香味”的主要成分<sup>[2]</sup>,其生物合成又与氨基酸和葡萄糖代谢存在内在关系<sup>[3]</sup>,可见,芥子油苷是茎瘤芥重要营养物质。有关茎瘤芥芥子油苷含量变化规律的研究报道较少<sup>[4]</sup>。该研究以涪陵区

主栽茎瘤芥品种“涪杂2号”和“永安小叶”为材料,测定茎瘤芥营养生长后期瘤茎鲜重和总芥子油苷含量,以期确定茎瘤芥较高芥子油苷含量的最佳采收期提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为重庆市主栽榨菜品种“涪杂2号”和“永安小叶”,于2013年9月10日播种育苗,10月13—15日大田定植。

主要试剂:乙酸锌、亚铁氰化钾、3,5-二硝基水杨酸溶液、氢氧化钠、丙三醇、无水葡萄糖。以上均为分析纯,试验用水为超纯水。溶液的配制见参考文献[5]。

主要仪器:HH-2 数显恒温水浴锅:常州华奥仪器制造有限公司;DHG-9624A 电热恒温鼓风干燥箱:上海将任实验设备有限公司;723C 可见分光光度计:上海欣茂仪器有限公司中。

### 1.2 试验方法

试验在重庆市涪陵区世忠乡进行,海拔270 m,地势平坦,壤土。试验设2个处理,3次重复,各处理随机区组设计,小区面积21.78 m<sup>2</sup> (3.3 m×6.6 m),株行距为0.33 m×0.33 m,每小区共栽植171株,小区间隔0.5 m。

**第一作者简介:**胡相云(1968-),男,重庆垫江人,本科,副教授,现主要从事果蔬栽培与食品分析及安全控制等研究与教学工作。  
E-mail:13896775543@163.com

**基金项目:**重庆市教委科研资助项目(KJ132301)。

**收稿日期:**2014-09-04

**Abstract:** Taking the peach strain ‘3-18’ from Peach Resources Nursery and Laboratory of Henan Agricultural University as material, by spraying CaCl<sub>2</sub>, which in different concentrations and different times on its foliar. The physiological index was determined, in order to seek the rational applying concentration of Ca<sup>2+</sup> and provide theoretical basis for scientific experiment in the future. The results showed that the chlorophyll content was improved. The MDA content was affected significantly. However, the effect on the dry weight and fresh weight wasn’t obvious.

**Keywords:** foliage fertilization; CaCl<sub>2</sub>; chlorophyll content; dry weight and fresh weight; MDA content

田间管理同一般大田生产。试验于2014年1月19日分区选留生长良好、大小一致的中等偏上植株,剔除不需要植株,并从1月19日开始从留下的茎瘤芥植株中取样,每隔7 d采集1次试样。试样采用“五点法”随机取样,每品种每次每小区采5株共15株,除去叶片和老的菜皮,洗净,采用四分法纵切留取每茎1/4,放入60℃烘箱中烘干,粉碎密封袋贮藏于4℃冰箱中备用。采集2月23日“涪杂2号”的根(取侧根和须根洗净)、瘤茎、茎尖(花蕾)、健壮功能叶(瘤茎上常绿的大叶横切去叶柄带中肋的叶片)、衰退老叶(瘤茎上失绿的去叶柄带中肋的叶片)烘干粉碎备用。

### 1.3 项目测定

葡萄糖含量采用3,5-二硝基水杨酸分光光度法<sup>[5]</sup>测定,根据吸光度差值确定芥子油苷含量。将粉碎后的茎瘤芥瘤茎样品加水后,芥子油苷能被自身存在的酶水解得到等摩尔的葡萄糖,用3,5-二硝基水杨酸测定其葡萄糖含量,即可推算出芥子油苷含量。由于样品本身存在游离的葡萄糖,因而该试验需制备A液(酶失活的葡萄糖提取液)和B液(酶解得到的葡萄糖提取液),B-A即得总芥子油苷含量。两者的提取条件较一致,因而差值的误差小。B液制备:准确称取1.000 g经粉碎的瘤茎粉于250 mL锥形瓶中,加超纯水30 mL,在45℃恒温水浴中浸提30 min,沸水浴5 min,立即流水冷却,转入100 mL容量瓶,加入5 mL乙酸锌和5 mL亚铁氰化钾,定容至刻度,摇匀后静置30 min,用滤纸过滤,弃初滤液,收集滤液备用。A液制备:准确称取1.000 g经粉碎的瘤茎粉于250 mL锥形瓶中,在沸水浴中干蒸10 min,

加入沸水煮沸5 min,立即流水冷却,然后转入45℃恒温水浴中浸提30 min,立即流水冷却后转移到100 mL容量瓶中,其后操作与B液制备相同。取1 mL样液于具塞刻度试管,加入2 mL 3,5-二硝基水杨酸,置沸水浴中加热5 min,立即用流水迅速冷却,用水定容到25 mL。用1 cm的比色皿,以试剂空白为参比,在540 nm处测定吸光度。通过对葡萄糖标准溶液的吸光度多次测定,计算得到线性回归方程: $Y=0.0333X-0.0021$ ,  $R^2=0.9999$ ;根据公式计算得到总芥子油苷含量公式: $\Delta X=\Delta Y/0.0333$ ,式中: $\Delta X$ 为总芥子油苷含量, $\Delta Y$ 为吸光度差值。

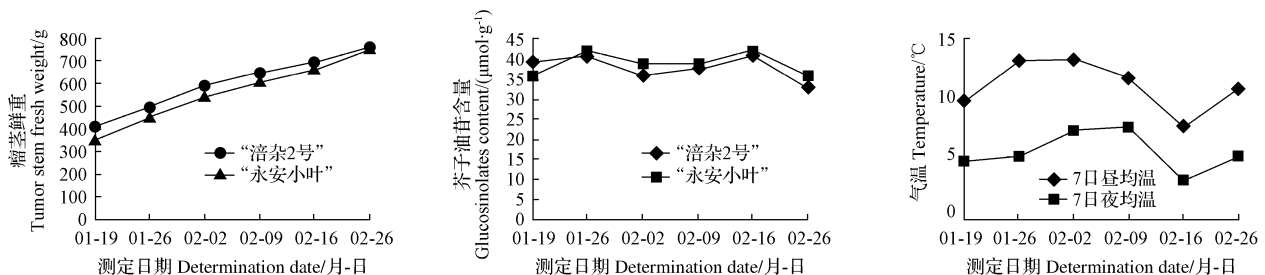
### 1.4 数据分析

试验数据采用Excel软件进行统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 茎瘤芥营养生长后期瘤茎鲜重的变化规律

从图1可以看出,从1月19日到2月2日,2个品种增重都特别快,近似直线关系,2月2日到2月16日增重稍有减缓,2月16日之后,增重又加快,到了2月23日,2个品种的鲜重趋于接近,“涪杂2号”增重348.88 g/株,“永安小叶”增重401.85 g/株。表明“涪杂2号”和“永安小叶”在相同的肥水条件下,产量无显著差异,但“涪杂2号”启动生长较早于“永安小叶”,这可能与“涪杂2号”移栽定植早于“永安小叶”1 d,先缓苗恢复生长有关;在整个瘤茎膨大后期,瘤茎增重时快时慢,这主要与气温升降有关;瘤茎鲜重不断上升,无极限值,说明茎瘤芥产量随采收时间的推迟会不断增加,单纯从产量考虑,推迟采收期有利于增加产量。



注:气象资料来源于涪陵历年天气预报。

Note: Weather information from calendar year weather forecast in Fuling.

图1 茎瘤芥营养生长后期瘤茎鲜重和总芥子油苷含量的变化

Fig. 1 Change of tumor stem fresh weight and total glucosinolates during the late of vegetative growth of tumorous stem mustard

### 2.2 茎瘤芥营养生长后期瘤茎总芥子油苷含量的变化规律

从图1可以看出,在整个试验期,2个品种的总芥子油苷含量变化规律表现为波浪状起伏,即为先上升后下降再上升再下降。1月19日前“涪杂2号”的芥子油苷

含量稍高于“永安小叶”,但到1月26日,“永安小叶”的芥子油苷含量则超过“涪杂2号”,2个品种都达到一个较高值,之后2个品种的总芥子油苷含量稍有下降,到2月16日2个品种又都上升到一个较高值,到了2月23日,2个品种的芥子油苷含量明显下降,且“涪杂2号”下

降更快。说明“涪杂2号”合成积累总芥子油苷早于“永安小叶”，且下降也较早而快，可能与“涪杂2号”启动生长早于“永安小叶”，提早进入成熟期有关。

### 2.3 茎瘤芥总芥子油苷含量的采收期和品种间差异

由表1可知，不同采收期对瘤茎总芥子油苷含量的影响极显著，若以2月23日作为采收终期对照，“涪杂2号”在1月19日至2月23日之前，“永安小叶”在1月26日至2月23日之前采收，其总芥子油苷含量都显著高于对照，其中，“涪杂2号”在1月26日和2月16日的总芥子油苷含量分别为40.84  $\mu\text{mol/g}$ 和40.54  $\mu\text{mol/g}$ ，是对照的1.24、1.23倍，2个测定时间差异不显著，但与对照差异都达极显著水平；“永安小叶”在1月26日和2月16日的总芥子油苷含量都为42.04  $\mu\text{mol/g}$ ，是对照的

1.17倍，与对照差异达极显著水平。结果表明，“涪杂2号”和“永安小叶”最适宜在1月26日和2月16日采收，最不适宜在2月23日之后采收。

试验期间，“涪杂2号”和“永安小叶”的总芥子油苷含量分别在33.03~40.84  $\mu\text{mol/g DW}$ 和36.04~42.04  $\mu\text{mol/g DW}$ 之间波动，总体平均值分别为37.84  $\mu\text{mol/g DW}$ 和39.04  $\mu\text{mol/g DW}$ ，2个品种间的总体芥子油苷含量差异不显著，但不同品种在相同的测定期，除1月26日外，总芥子油苷含量有显著或极显著差异，特别是在2月23日采收，2个品种差异达极显著水平，说明茎瘤芥品种不同，适宜采收时间也不完全相同。综合产量和加工品质考虑，“涪杂2号”适宜于2月16日采收，“永安小叶”适宜于2月16—20日采收。

表1 不同采收期对瘤茎芥子油苷含量的影响

品种名称	日期 Date/月-日					
Variety	01-19	01-26	02-02	02-09	02-16	02-23(CK)
“涪杂2号”‘Fuza 2’	39.04 bB(aA)	40.84 aA(bB)	36.04 cC(bB)	37.54 bcC(bB)	40.54 aA(bB)	33.03 dD(bB)
“永安小叶”‘Yong'an Xiaoye’	36.04 cC(bB)	42.04 aA(bB)	39.04 bB(aA)	39.04 bB(aB)	42.04 aA(aB)	36.04 cC(aA)

注：表中不同大小写字母分别表示处理间差异达0.01和0.05极显著和显著水平。○前表示同品种不同采收期比较；○内表示品种间比较。

Note: Different capital and lowercase letters in column in the table shows significant difference at  $P=0.01$  and  $P=0.05$ . Before that said the same varieties of different harvest period; in that said comparison between varieties.

### 2.4 茎瘤芥不同器官总芥子油苷含量的变化

为了考查茎瘤芥不同器官的芥子油苷含量状况，测定了2月23日采收的“涪杂2号”各器官总芥子油苷含量。由图2可知，茎瘤芥各器官的总芥子油苷含量差异极显著，叶中总芥子油苷含量最高，健壮功能叶达到145.65  $\mu\text{mol/g DW}$ ，变黄的衰老叶也达到了70.5  $\mu\text{mol/g DW}$ ，其次是须根和茎尖，分别是69.07、45.05  $\mu\text{mol/g DW}$ ，含量最少的是瘤茎，含量为33.03  $\mu\text{mol/g DW}$ 。健康功能叶、须根和茎尖中总芥子油苷含量分别是膨大瘤茎的4.41、2.09、1.36倍。从图2还可以看出，生长旺盛的器官总芥子油苷含量较高，一

般规律为健壮常绿功能叶>失绿变黄衰老叶，茎尖>膨大瘤茎。

### 3 结论与讨论

该试验发现，茎瘤芥营养生长后期瘤茎鲜重与总芥子油苷含量变化的波动性与气候条件变化有关。从图1可以看出，瘤茎膨大增重符合最适膨大温度是8~13.6℃<sup>[2]</sup>。瘤茎总芥子油苷含量变化受气候影响复杂。从1月19—26日，随着气温的回升，光照和水分的适宜，光合作用和芥子油苷的合成代谢旺盛，瘤茎鲜重和总芥子油苷含量同步上升；从1月26日至2月1日，持续的晴好天气，瘤茎仍然快速膨大，但总芥子油苷含量稍有下降，可能是光合产物的运输速度快于芥子油苷的运输速度，单位质量芥子油苷相对降低，也可能是光强的增加和水分的减少，降低了芥子油苷含量<sup>[6-7]</sup>；从2月2—8日，气温有所回落，特别是测定前的7~8 d，气温下降明显，瘤茎的增重减缓，抑制了总芥子油苷的进一步下降，总芥子油苷含量相对稳定；2月9—15日，连续的低温(7 d均温为3.3~7.7℃，最低气温为3~6℃)抑制了瘤茎快速增长，总芥子油苷含量上升，可能是低温胁迫诱导芥子油苷的合成增加<sup>[6]</sup>，抑或瘤茎增重减慢，单位质量芥子油苷含量相对增加；2月16日之后，气温又开始回升，瘤茎膨大和茎尖生长加快，瘤茎总芥子油苷又开

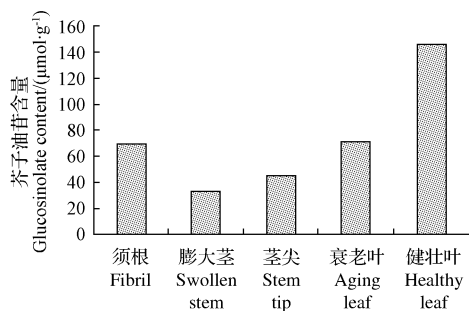


图2 茎瘤芥不同器官的芥子油苷含量

Fig. 2 Glucosinolate content in different organs of tumorous stem mustard

始下降,主要与茎尖生长加快,芥子油苷向茎尖转移有关,也可能是瘤茎增长总芥子油苷相对下降。综上所述,瘤茎膨大成熟与芥子油苷代谢存在内在关系。年前气温由高到低,当温度下降到 15℃ 以下时,瘤茎开始膨大,最适膨大温度是 8~13℃,年后(立春后),随着气温的上升,瘤茎膨大加快,特别是雨水节后,茎尖生长也加快,芥子油苷向茎尖转移,瘤茎总芥子油苷明显下降。可见,茎瘤芥花蕾显露是瘤茎总芥子油苷明显下降的标志,符合加工榨菜的最大限度采收期标准<sup>[2]</sup>。2 月中旬的适当低温(昼温≤10℃),有利于抑制瘤茎快速增重和茎尖的生长,促进瘤茎总芥子油苷的积累,对防止茎瘤芥的提早抽苔成熟具有重要意义。纵观涪陵气象资料,2 月上中旬都存在气温上下波动变化。因而,茎瘤芥适宜选择在 2 月中旬气温下降后再回升时采收,此时,花蕾还未显露,瘤茎芥子油苷含量较高,产量高,菜形指数好,空心少。相反,气温回升后持续时间越长,花蕾显露而抽长,特别是 2 月下旬采收,虽然产量增加显著,但芥子油苷含量显著下降,茎瘤芥品质变差。

该研究表明,茎瘤芥品种间的总芥子油苷含量受采收日期影响显著。“涪杂 2 号”和“永安小叶”在试验期测得的总芥子油苷含量波动于 33.03~40.84 μmol/g DW 和 36.04~42.04 μmol/g DW,“涪杂 2 号”和“永安小叶”在 2 月 16 日测定的总芥子油苷含量分别为 40.54、42.04 μmol/g,分别是 2 月 23 日测定的 1.23、1.17 倍,不同采收期差异达极显著水平,品种间差异达显著水平。分析表明,“涪杂 2 号”和“永安小叶”最适宜在 2 月 16 日采收,最不适宜在 2 月 23 日之后采收。

该试验发现,茎瘤芥不同器官的总芥子油苷含量差异极显著,且生长旺盛的器官含总芥子油苷相对较高。健壮功能叶、须根、茎尖和瘤茎的总芥子油苷分别是 145.65、69.07、45.05、33.03 μmol/g DW,健壮功能叶、须根和茎尖中总芥子油苷含量分别是膨大瘤茎的 4.41、2.09、1.36 倍。总芥子油苷的分布规律表现为健壮常绿功能叶>失绿变黄衰老叶,茎尖>膨大瘤茎。该次试验测定方法简单,特别是测定的须根总芥子油苷高达 69.07 μmol/g DW,测定的功能叶总芥子油苷含量也较高,各器官间的总芥子油苷分布规律有待用高效液相色谱法(HPLC)进一步测定验证。

该试验没有比较不同播种期、不同营养状况下的芥子油苷变化规律,是否具有播种移栽早晚影响瘤茎总芥子油苷积累和下降速度快慢,有待进一步研究。

#### 参考文献

- [1] 汪俏梅,曹家树.芥子油苷研究进展及其在蔬菜育种上的应用前景[J].园艺学报,2001,28(增刊):669-675.
- [2] 刘佩英.中国芥菜[M].北京:中国农业出版社,1996.
- [3] 钟海秀,陈亚州,阎秀峰.植物芥子油苷代谢及其转移[J].生物技术通报,2007(3):44-48.
- [4] 李燕,王晓艳,王毓洪,等.茎瘤芥的芥子油苷组分及含量的品种间差异[J].园艺学报,2011,38(7):1356-1364.
- [5] 大连轻工业学院.食品分析[M].北京:中国轻工业出版社,2006:152-173.
- [6] 陈亚洲,陈思学,阎秀峰.环境对植物芥子油苷代谢的影响[J].生态学报,2008,28(6):2828-2834.
- [7] 任欢,钟海秀,戴绍军,等.拟南芥莲座叶芥子油苷含量对水分胁迫的影响[J].生态学报,2009,29(8):4372-4379.

## Study on Change Rule of Tumor Stem Fresh Weight and Total Glucosinolates During the Late of Vegetative Growth of Tumorous Stem Mustard

HU Xiang-yun, HU min, TAN Xiang-guo, WANG En-dong, TIAN Chun-mei  
(Chongqing Industry and Trade Polytechnic, Chongqing 408000)

**Abstract:** Taking ‘Fuza 2’ and ‘Yong’an Xiaoye’ as test materials, tumor stem fresh weight and the content of total glucosinolates during the late of vegetative growth of tumorous stem mustard were analyzed. The results showed that, the change of tumor stem fresh weight and the content of total glucosinolates related with temperature, and there was a significant difference between organs. The analysis presented in tumorous stem mustard, along the river in Chongqing region, in mid-February, recovery was most suitable when temperatures rised, tumor stem could reach the higher glucosinolate content and achieve high yield.

**Keywords:** tumorous stem mustard; fresh weight; total glucosinolate; harvest time