

# 水葫芦沼液对青菜生长及 AsA-GSH 循环影响的动态研究

薛延丰<sup>1,2,3</sup>, 冯慧芳<sup>1,4</sup>, 石志琦<sup>1,2,3</sup>, 严少华<sup>5\*</sup>, 郑建初<sup>5</sup>

(1. 江苏省农业科学院食品质量安全检测研究所, 江苏 南京 210094; 2. 江苏省食品质量安全重点实验室—省部共建国家重点实验室培育基地, 江苏 南京 210094; 3. 农业部食品安全监控重点开放实验室, 江苏 南京 210094; 4. 南京师范大学生命科学学院, 江苏 南京 210097; 5. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏 南京 210014)

**摘要:**以青菜为材料,研究了在青菜整个生长周期内,不同比例水葫芦沼液对青菜生长的影响及其体内 AsA-GSH 循环影响的动态变化。结果表明,使用不同比例沼液代替化肥对青菜的株高及生物量产生不同的影响,其中,以 25%沼液替代化肥的处理效果最好,在不同的采样时期,其株高和生物量均显著大于对照,当沼液使用比例大于 50%时,株高和生物量均随着沼液使用比例的增加而降低;处理后总量 Vc、还原型抗坏血酸(AsA)和脱氢抗坏血酸(DHA)的变化趋势不同,25%沼液替代化肥处理 45 和 60 d 时,总量 Vc 与对照相比显著增加;AsA 虽然有所增加(除了 30 d 时),但与对照差异不显著;DHA 含量均显著大于对照。当沼液使用比例大于 50%时,总量 Vc、AsA 和 DHA 与对照相比均显著降低;在 AsA 循环中的抗坏血酸过氧化物酶(APX)、抗坏血酸氧化酶(AAO)和脱氢抗坏血酸还原酶(DHAR)活性变化趋势相似,均随着处理时间增加呈先增加后降低的趋势,其中以 25%沼液替代化肥处理 30 d 酶活性最高,而单脱氢抗坏血酸还原酶(MDHAR)活性则随着处理时间的增加而增加,以 25%沼液替代化肥的处理效果最好;在还原型谷胱甘肽(GSH)循环中的氧化型谷胱甘肽(GSSG)和 GSH 含量随着处理时间的增加而增加,以 25%沼液替代化肥的处理效果最好,与对照相比差异显著,而谷胱甘肽还原酶(GR)活性随着处理时间增加呈先增加后降低的趋势,其中以 25%沼液替代化肥处理 45 d 酶活性最高。说明用适量的水葫芦沼液替代化肥对青菜进行处理,有助于植株的生长,同时增加了体内 AsA-GSH 代谢循环,提高了青菜的抗氧化防御能力。

**关键词:**水葫芦;沼液;青菜;抗坏血酸;谷胱甘肽

**中图分类号:**S555<sup>+</sup>.5;Q948.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5759(2011)03-0091-08

水葫芦(*Eichhornia crassipes*)学名凤眼莲,原产于南美洲,属雨久花科,因在每个叶柄中部都有一个膨大似葫芦的球状体而得名。具有发达的水下根系。水葫芦喜欢高温湿润,水葫芦庞大的根须不断地吸收水中的污染物,其惊人的繁殖速度造就了超强的净化水质的本领。水葫芦的资源化利用成了人们关注的热点,通常水葫芦可以直接燃烧提供能源(热能或电能)、也可作为饲料直接利用,或者发酵后作为有机肥进行利用,研究发现,水葫芦体内富含氮磷钾,其中含 N 6.56%,P 0.84%,K 12.32%,Ca 4.58%,Mg 1.58%,Fe 0.671%,Mn 0.446%,C/N 接近 15,水葫芦发酵液几乎含有植物生长的所有营养元素<sup>[1]</sup>。还有研究发现,水葫芦发酵液具有促进作物生长、抗病虫害等功效,利用生物质厌氧发酵形成的发酵液被誉为是一种优质的有机肥料和广谱性的生物农药,其商品化价值巨大<sup>[2]</sup>。那么水葫芦发酵后的沼液如何进行合理利用,还没有得到更多的研究。通过本实验室前期研究水葫芦沼液对青菜(*Brassica rapa*)种子浸种后对种子发芽参数和生理参数的影响,发现水葫芦沼液可以提高其发芽指数、活力指数、生物量以及叶绿素含量<sup>[3]</sup>,为进一步研究在青菜整个生长周期内水葫芦沼液对其生长及 AsA-GSH 代谢循环的影响,故本试验选取青菜为研究对象,使用不同比例水葫芦沼液对青菜进行处理,分别于不同处理时间进行采样,研究其生长及 AsA-GSH 代谢循环中相关参数的变化,并对其进行分析,以期进一步为水葫芦沼液浸种的实用性提供更为全面的理论支持。

收稿日期:2010-05-04;改回日期:2010-06-14

基金项目:国家科技支撑项目(2009BAC63B02)资助。

作者简介:薛延丰(1978-),男,河南孟州人,博士。E-mail:xueyanfeng@jaas.ac.cn

\* 通讯作者。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料和处理

供试蔬菜:青菜(绿领矮抗1号);供试沼液取自江苏省农业科学院水葫芦发酵后产生的沼液,其中pH值为7.06,全N、全P、全K含量分别为0.75 g/kg,0.22 g/kg,0.15 g/kg。该试验在江苏省农业科学院培苗室进行,时间为2009年5—9月。

青菜种子用0.3%的 $H_2O_2$ 消毒后,用蒸馏水洗净,然后挑选均一、形态正常的种子置于铺3层滤纸的培养皿(直径15 cm)中,进行培苗,昼夜平均温度分别为31和22℃。当幼苗长到5 cm左右时,选取长势一致的材料将其转移至塑料盆钵中,苗龄20 d后,分别用不同处理液进行浇灌,每个处理重复3次。处理液每隔5 d浇灌一次,分别于处理15,30,45,60 d后进行采样,测定各处理青菜相关生理生化指标。

具体处理如下:对照(CK)、25%沼液+75%化肥(Z-25%)、50%沼液+50%化肥(Z-50%)、75%沼液+25%化肥(Z-75%)、100%沼液(Z-100%)。所用化肥采用江苏省农业科学院蔬菜所提供的水溶性肥料,内含全氮30%,其中铵态氮( $NH_4-N$ )2.42%、硝态氮( $NO_3-N$ )3.32%,水溶性磷( $P_2O_5$ )10%,水溶性钾( $K_2O$ )10%,水溶性镁( $MgO$ )0.20%及微量元素等;水葫芦的折算方法是用水葫芦沼液干物质质量按比例来替代化肥。

### 1.2 测定方法

**1.2.1 鲜重测定** 试验结束后,于采样当天的7:00—8:00,每盆随机挑取6棵生长状况较一致的幼苗,然后用去离子水洗净吸干后测量其鲜重<sup>[4,5]</sup>。

**1.2.2 抗坏血酸含量测定** 还原型抗坏血酸(ascorbate, AsA)、脱氢抗坏血酸(dehydroascorbate, DHA)和总Vc含量参照Zhang和Kirkham<sup>[6]</sup>的方法测定。称取1 g青菜叶片在4℃下于5%的偏磷酸中研磨成匀浆,然后于4℃下12 000 r/min离心15 min,收集上清液用于测定总Vc和AsA的含量。测定总Vc时,取0.3 mL上清液,加入0.75 mL含5 mmol/L乙二胺四乙酸(ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA)的磷酸缓冲液(150 mmol/L, pH 7.4)和0.15 mL 10 mmol/L的二硫苏糖醇(DiThioThreitol, DTT)。室温下放置10 min后,加入0.15 mL 0.5% N-乙基马来酰亚胺以消除多余的DTT。然后加入0.6 mL的10%三氯乙酸(trichloroacetic acid, TCA)、0.6 mL的44%正磷酸溶液、0.6 mL的4%双吡啶酒精(70%)溶液和0.15 mL的0.3% (w/v)  $FeCl_3$ 溶液。混匀后40℃水浴40 min,测525 nm处的吸光值。AsA的测定过程中以0.3 mL水代替DTT和N-乙基马来酰亚胺,其余操作步骤如上所述。DHA为总Vc与AsA的差值<sup>[7]</sup>。

**1.2.3 谷胱甘肽含量的测定** 氧化型谷胱甘肽(oxidized glutathione, GSSG)含量和还原型谷胱甘肽(reduced glutathione, GSH)含量测定参照樊怀福等<sup>[8]</sup>的方法。

**1.2.4 谷胱甘肽还原酶(glutathione reductase, GR)测定** 提取GR酶液:取0.5 g青菜,加入5 mL 50 mmol/L的Tris-HCl(pH 7.0),内含20% (v/v)甘油、1 mmol/L抗坏血酸、1 mmol/L DTT、1 mmol/L EDTA、1 mmol/L GSH及5 mmol/L  $MgCl_2$ ,在冰上研磨后,提取液在4℃下、10 000 r/min离心30 min,上清液用于测定酶活性<sup>[9]</sup>。GR的测定参照郭丽红等<sup>[9]</sup>和吴锦程等<sup>[10]</sup>的方法,这是基于烟酰胺腺嘌呤二核苷酸(NADPH)氧化后在340 nm处的吸光度减少来衡量酶活性大小的方法。反应液包括50 mmol/L Tris-HCl(pH 7.5)缓冲液、5 mmol/L  $MgCl_2$ 、0.5 mmol/L GSSG和0.2 mmol/L NADPH,终体积为1.2 mL。在25℃下,加入GSSG启动反应。

**1.2.5 抗坏血酸—谷胱甘肽循环相关酶活性的测定** 抗坏血酸氧化酶(ascorbate oxidase, AAO)活性参照吴锦程等<sup>[10,11]</sup>的方法测定。取2 g叶片,加10 mL预冷的50 mmol/L磷酸缓冲液[pH 7.0,含1 mmol/L抗坏血酸,1 mmol/L EDTA、2%聚乙烯吡咯烷酮(PVP)、0.25% TritonX-100]研磨,于4℃下8 000 r/min离心20 min,上清液即为酶液。取上清液0.12 mL,加入3 mL含2.88 mL磷酸缓冲液(pH 7.0,0.5 mmol/L抗坏血酸)的反应液,以不加酶液为对照,记录 $OD_{290}$ 变化<sup>[10]</sup>。抗坏血酸过氧化物酶(ascorbate peroxidase, APX)、脱氢抗坏血酸还原酶(dehydroascorbate reductase DHAR)和单脱氢抗坏血酸还原酶(monodehydroascorbate reductase, MDHAR)的活性测定参照吴锦程等<sup>[10,11]</sup>的方法进行,粗酶液提取方法同上,以每min内吸光值变化0.01为一个酶活性单位(U)。

### 1.3 统计分析

运用 EXCEL 和 SPSS 生物统计软件进行相关数据分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 沼液对青菜生长的影响

在不同比例沼液处理下,青菜的株高和生物量随着处理时间的不同而不同(表1)。就株高而言,Z-25%处理下,15,30,45和60d时,株高分别比对照增加了6.6%,6.0%,11.2%和10.5%,均显著大于对照;在Z-50%处理下,15d时比对照小0.5%,但与对照差异不显著,30d时比对照增加了3.0%,与对照差异不显著。随着处理时间的增加,株高与对照相比显著增加,45和60d时的株高分别比对照增加了6.8%和9.9%;在Z-75%处理下,15,30,45和60d时株高分别比对照减少了10.8%,17.6%,18.3%和9.9%,均显著小于对照;随着沼液使用比例的增加,株高生长受到严重影响,在Z-100%处理下,株高的变化趋势与Z-75%处理相同,随着处理时间的增加,株高与对照相比显著降低。

生物量的变化趋势与株高不同。在Z-25%处理下,15d时鲜重增加的最多,比对照增加了22.9%,显著大于对照,30,45和60d时鲜重分别比对照增加了7.6%,8.7%和9.3%,均显著大于对照;在Z-50%处理下,15d时比对照小1.5%,但与对照差异不显著,30和45d时鲜重分别比对照增加了1.0%和3.3%,60d时比对照小14.8%,显著小于对照;在Z-75%处理下,随着处理时间的增加,鲜重降低的幅度越大,15,30,45和60d时鲜重分别比对照减少了18.3%,27.3%,29.7%和42.6%,均显著小于对照;在Z-100%处理下,鲜重的变化趋势与Z-75%处理相同。说明用适量的水葫芦沼液对青菜进行处理,有助于植株的生长。

表1 不同比例沼液处理对青菜生长及生物量的影响

Table 1 Effects of different biogas slurry ratio on the growth and biomass in *B. rapa*

项目 Item	处理 Treatment	处理时间 Treatment time (d)			
		15	30	45	60
株高 Shoot height (cm)	CK	5.35±0.093 b	11.13±0.351 b	14.57±0.351 b	15.20±0.300 b
	Z-25%	5.70±0.067 a	11.80±0.265 a	16.20±0.361 a	16.80±0.794 a
	Z-50%	5.32±0.101 b	11.47±0.252 ab	15.57±0.252 a	16.70±0.300 a
	Z-75%	4.77±0.095 c	9.17±0.351 c	11.90±0.200 c	13.70±0.458 c
	Z-100%	3.88±0.085 d	7.93±0.252 d	11.03±0.802 d	12.40±0.656 d
鲜重 Fresh weight (mg)	CK	1.27±0.047 b	2.56±0.131 b	5.64±0.227 a	7.57±0.227 b
	Z-25%	1.56±0.016 a	2.75±0.055 a	6.13±0.147 a	8.28±0.147 a
	Z-50%	1.25±0.044 b	2.59±0.083 a	5.83±0.186 a	6.45±0.186 c
	Z-75%	1.04±0.056 c	1.86±0.059 c	3.97±0.082 b	4.35±0.082 d
	Z-100%	0.87±0.049 d	1.70±0.053 d	3.40±0.269 c	3.80±0.369 d

注:同列不同小写字母表示差异显著( $P<0.05$ ),下同。

Note: The different letters in the same column mean the significant difference at  $P<0.05$ , the same below.

### 2.2 沼液对青菜体内抗坏血酸含量的影响

总量 Vc、AsA 和 DHA 变化趋势不相同(表2)。对于总量 Vc 而言,Z-25%处理下,15和30d时青菜体内总量 Vc 分别比对照增加了4.7%和5.0%,但与对照相比差异不显著,随着处理时间的增加,在45和60d时,青菜体内总量 Vc 分别比对照增加了5.2%和12.4%,显著大于对照;在Z-50%处理下,15d时比对照小7.5%,显著小于对照,30,45和60d时分别比对照增加了1.9%,2.1%和5.7%,但与对照差异不显著;在Z-75%处理下,15,30,45和60d时青菜体内总量 Vc 分别比对照减少了24.7%,20.1%,21.1%和16.1%,均显著小于对照;在Z-100%处理下,总量 Vc 的变化趋势与Z-75%处理相似,随着处理时间的增加,总量 Vc 与对照相比显著降低。

在Z-25%处理下,除了30d时青菜体内 AsA 含量显著大于对照,处理15,45和60d时青菜体内 AsA 含量

虽然与对照相比有所增加,但差异不显著;在 Z-50%处理下,15 和 30 d 时青菜体内 AsA 含量分别比对照小 11.4%和 3.0%,与对照差异显著,处理 45 和 60 d 时 AsA 含量分别比对照小 4.5%和 4.8%,但差异不显著;Z-75%处理下,青菜体内 AsA 含量的变化趋势与 Z-50%处理相似;在 Z-100%处理下,15,30,45 和 60 d 时青菜体内 AsA 含量分别比对照减少了 61.2%,32.1%,38.1%和 34.6%,均显著小于对照。

DHA 含量的变化趋势与总量 Vc 和 AsA 含量的变化趋势各不相同。在 Z-25%处理下,处理 15,30,45 和 60 d 时,青菜体内 DHA 含量分别比对照增加了 5.5%,4.2%,5.5%和 17.1%,均显著大于对照;Z-50%处理下青菜体内 DHA 含量的变化趋势与 Z-25%处理相似;在 Z-75%处理下,处理 15 d 时青菜体内 DHA 含量比对照小 7.6%,但与对照差异不显著,随着处理时间的增加,在 30,45 和 60 d 时分别比对照小 29.8%,27.2%和 22.6%,差异显著;在 Z-100%处理下,青菜体内的 DHA 含量均显著小于对照。

表 2 不同比例沼液处理对青菜体内抗坏血酸含量的影响  
Table 2 Effects of different biogas slurry ratio on the ascorbate content of *B. rapa*

项目 Item	处理 Treatment	处理时间 Treatment time (d)			
		15	30	45	60
总量 Vc Total Vc content (mg/100 g)	CK	29.73±0.514 a	34.90±0.465 a	35.77±0.408 c	29.22±0.702 b
	Z-25%	31.11±0.412 a	36.64±0.801 a	37.62±0.350 a	32.85±0.310 a
	Z-50%	27.51±0.428 b	35.57±0.790 a	36.53±0.271 b	30.90±0.511 ab
	Z-75%	22.40±0.392 c	27.87±0.454 b	28.23±0.601 d	24.53±0.781 c
	Z-100%	15.90±0.335 d	20.49±0.468 c	20.67±0.278 e	19.51±0.858 d
还原型 Vc 含量 AsA content (mg/100 g)	CK	14.16±0.025 a	15.72±0.042 b	14.84±0.674 ab	13.05±0.348 ab
	Z-25%	14.69±0.341 a	16.65±0.252 a	15.72±0.251 a	13.90±0.313 a
	Z-50%	12.55±0.115 b	15.24±0.677 bc	14.17±0.790 ab	12.42±0.418 b
	Z-75%	8.01±0.310 c	14.41±0.550 c	13.12±0.495 b	12.00±0.474 b
	Z-100%	5.50±0.606 d	10.67±0.563 d	9.18±0.234 c	8.53±0.823 c
氧化型 Vc 含量 DHA content (mg/100 g)	CK	15.57±0.570 a	19.18±0.505 a	20.75±0.178 a	16.18±0.763 b
	Z-25%	16.42±0.638 a	19.99±0.777 a	21.90±0.589 a	18.95±0.624 a
	Z-50%	14.96±0.517 a	20.56±0.409 a	22.36±0.770 a	18.48±0.864 a
	Z-75%	14.38±0.221 a	13.47±0.418 b	15.11±0.762 b	12.53±0.886 c
	Z-100%	10.40±0.737 b	9.82±0.912 c	11.49±0.510 c	10.98±0.434 c

### 2.3 沼液对青菜幼苗叶片抗坏血酸循环中酶活性的影响

Z-25%处理下,APX 酶活性随着处理时间增加呈先增加后降低的趋势(图 1),处理 15 d 时,青菜体内 APX 酶活性比对照高 11.9%,显著大于对照,30,45 和 60 d 时,APX 酶活性分别比对照高 64.9%,44.5%和 44.4%;在 Z-50%处理下,处理 15 d 时,APX 酶活性比对照小 20.4%,显著小于对照,处理 30 和 45 d 时,APX 酶活性分别比对照高 8.9%和 1.8%,60 d 时,比对照小 4.5%,但 30,45 和 60 d 时的 APX 酶活性与对照差异均不显著;在 Z-75%处理下,除了处理 30 d 时,APX 酶活性比对照高 2.6%,15,45 和 60 d 时,青菜体内 APX 酶活性分别比对照减少了 23.0%,19.5%和 18.6%,差异显著;在 Z-100%处理下,青菜体内 APX 酶活性随着处理时间的增加,与对照相比均显著降低。

AAO 酶活性的变化趋势与 APX 酶活性的变化趋势不同(图 1)。在 Z-25%处理下,处理 15,30,45 和 60 d 时,体内 AAO 酶活性分别比对照高 4.8%,5.9%,3.7%和 7.2%,差异均不显著;在 Z-50%处理下,随着处理时间的增加,AAO 酶活性比对照的降低幅度增加,处理 15,30,45 和 60 d 时体内 AAO 酶活性分别比对照低 10.3%,22.0%,22.1%和 24.7%,差异显著;Z-75%和 Z-100%处理下,青菜体内 AAO 酶活性的变化趋势与 Z-50%处理相似。

在 Z-25% 处理下,处理 15 d 时,DHAR 酶活性比对照高 0.7%,差异不显著,随着处理时间的增加,DHAR 酶活性显著增加,分别比对照高 14.8%,18.5%和 33.7%;在 Z-50% 处理下,处理 15 d 时 DHAR 酶活性比对照小 24.7%,显著小于对照,处理 30,45 和 60 d 时的 DHAR 酶活性分别比对照小 9.7%,3.7%和 2.2%,但差异不显著;在 Z-75% 处理下,随着处理时间的增加,DHAR 酶活性显著降低,但降低幅度减少,处理 15,30,45 和 60 d 时,体内 DHAR 酶活性分别比对照降低了 57.0%,41.8%,34.1%和 26.7%;Z-100% 处理下青菜体内 DHAR 酶活性的变化趋势与 Z-75% 处理下相似(图 1)。

在 Z-25% 处理下,处理 15 d 时,MDHAR 酶活性比对照小 7.2%,但差异不显著,处理 30 和 45 d 时,MDHAR 酶活性分别比对照高 6.2%和 9.1%,差异不显著,60 d 时的 MDHAR 酶活性显著大于对照;在 Z-50% 处理下,随着处理时间的增加,MDHAR 酶活性显著降低,15,30,45 和 60 d 时的 MDHAR 酶活性分别比对照小 23.6%,30.3%,23.9%和 27.5%;Z-75% 和 Z-100% 处理下,青菜体内 MDHAR 酶活性的变化趋势与 Z-50% 处理相似(图 1)。

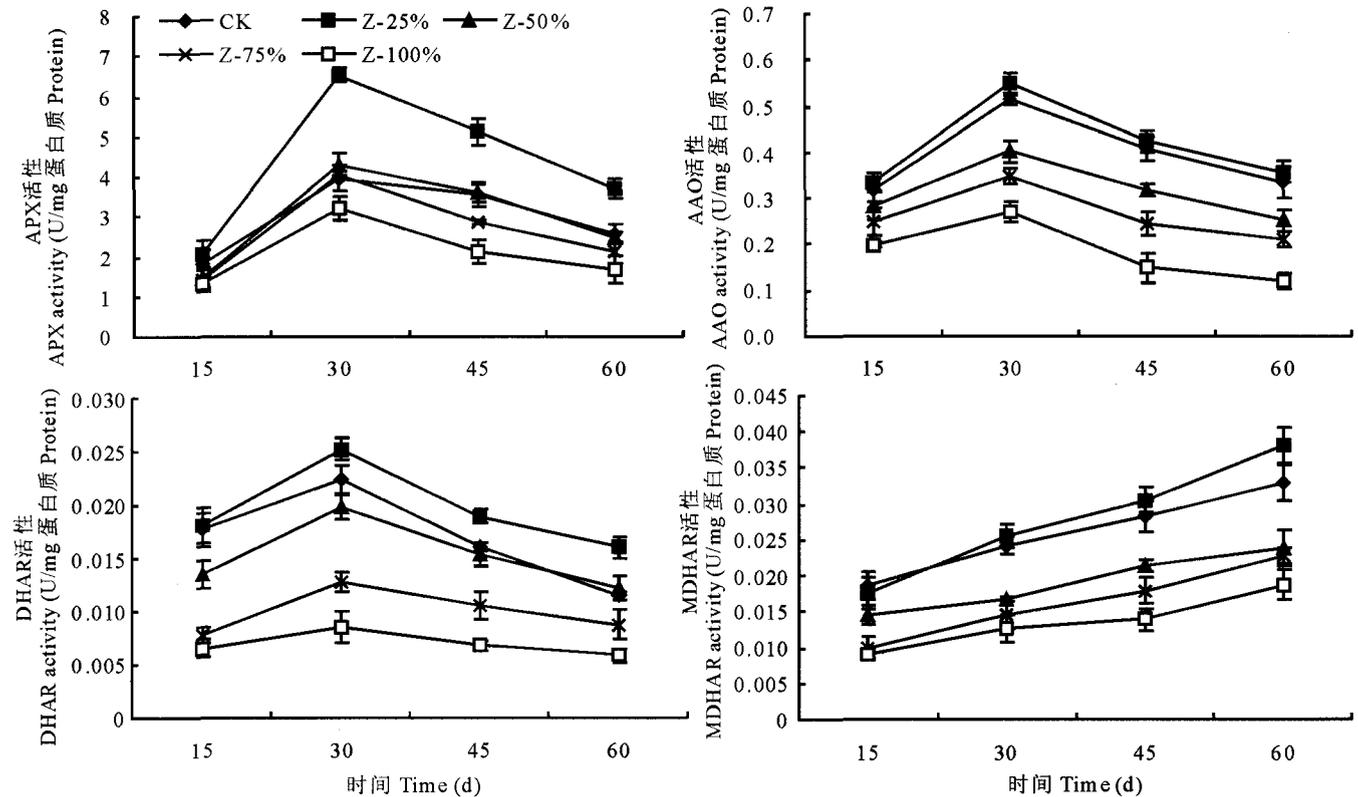


图 1 不同比例沼液处理对青菜体内 APX、AAO、DHAR 和 MDHAR 的影响

Fig. 1 Effects of different biogas slurry ratio on the activities of APX, AAO, DHAR and MDHAR in *B. rapa*

#### 2.4 沼液对青菜幼苗叶片谷胱甘肽循环的影响

在 Z-25% 处理下,GSSG 含量随着处理时间增加而增加(图 2),处理 15,30,45 和 60 d 时,GSSG 含量分别比对照增加 13.5%,13.6%,12.2%和 10.6%,且差异显著;在 Z-50% 处理下,处理 15,30 和 45 d 时,GSSG 含量分别比对照小 6.0%,7.7%和 7.4%,差异不显著,处理 60 d 时,GSSG 含量与对照相比显著降低;在 Z-75% 处理下,处理 15 d 时,GSSG 含量比对照小 8.2%,差异不显著,处理 30,45 和 60 d 时,GSSG 含量分别比对照减少 11.9%,13.9%和 14.0%,差异显著;在 Z-100% 处理下,处理 15,30,45 和 60 d 时,GSSG 含量分别比对照小 15.6%,20.0%,22.1%和 21.6%,且差异显著。

在 Z-25% 处理下,处理 15,30,45 和 60 d 时,GSH 含量分别比对照高 5.8%,2.0%,2.1%和 2.1%,但差异不显著;在 Z-50% 处理下,处理 15,30,45 和 60 d 时,GSH 含量分别比对照小 13.0%,17.5%,17.1%和 17.6%,

差异显著;Z-75%和Z-100%处理下,青菜体内GSH含量的变化趋势与Z-50%处理相似,随着处理时间的增加GSG含量显著降低(图2)。

GR酶活性的变化与GSSG含量和GSH含量变化趋势不同。在Z-25%处理下,处理15和30d时,GR酶活性分别比对照高5.4%和4.9%,与对照差异不显著,45d时,GR酶活性比对照高26.3%,显著大于对照,60d时的GR酶活性与对照相同(图2);在Z-50%处理下,15,30和45d时,GR酶活性分别比对照小12.4%,10.3%和16.7%,差异不显著,60d时的GR酶活性虽然有所降低,但与对照差异不显著;在Z-75%处理下,15,30,45和60d时,GR酶活性分别比对照小32.6%,32.0%,8.5%和16.1%,差异显著;Z-100%处理下GR酶活性的变化趋势与Z-75%处理相似。

### 3 讨论

作物的正常生长需要外部提供营养,本试验结果表明,使用不同比例沼液代替化肥对青菜的株高及生物量产生不同的影响,其中以25%沼液替代化肥的处理效果最好,在不同的采样时期,其株高和生物量均显著大于对照,当沼液使用比例大于50%时,株高和生物量均随着沼液使用比例的增加而降低,与对照差异显著。沼液能促进青菜产量提高,是因为沼液中含有丰富的营养物质和生物活性物质<sup>[12]</sup>,这些活性物质易于被作物吸收,向作物提供营养。同时这些物质还可以促进植物根系发育,增加植株对营养的吸收,促进植株的生长,同时增加植物的抗病能力,提高产量<sup>[13,14]</sup>,根系活力泛指根系整个代谢的强弱,包括吸收、合成、呼吸作用和氧化力等,能客观地反映根系生命活动,根系活力的大小与整个植株生命活动的强度紧密相关<sup>[15]</sup>。而高量沼液处理使得其生长和产量降低。这些与前人研究结果相同<sup>[16-18]</sup>。

在正常情况下,植物体内清除活性氧的酶类活性较强,可及时清除植物受环境胁迫时产生的过量活性氧,从而使活性氧的产生和清除保持一种动态平衡<sup>[4,19]</sup>。AsA、DHA、APX、AAO、DHAR、MDHAR和GSSG、GSH、GR组成了AsA-GSH循环,其中APX、MDHAR、DHAR和GR是AsA-GSH循环活性氧清除系统的重要酶组成,AsA和GSH等是重要的非酶抗氧化物质。在AsA-GSH循环中,GSH,AsA和MDHAR、DHAR,APX,AAO和GR等组成植物叶绿体AsA-GSH循环中的抗氧化防御系统,在清除活性氧方面起重要作用<sup>[10,20]</sup>。其中,APX和AAO是植物的2种抗坏血酸氧化酶,MDHAR和DHAR在抗坏血酸-谷胱甘肽循环中AsA的再生起到了很重要的作用,是植物的2种抗坏血酸还原酶<sup>[21]</sup>。试验结果表明,用25%沼液替代化肥处理下的45和60d,总量Vc与对照相比显著增加,AsA虽然有所增加(除了30d时),但与对照差异不显著,DHA含量均显著大于对照,当沼液使用比例大于50%时,总量Vc、AsA和DHA与对照相比均显著降低;在AsA循环中的APX、AAO和DHAR活性变化趋势相似,均随着处理时间增加呈先增加后降低的趋势,其中以25%沼液替

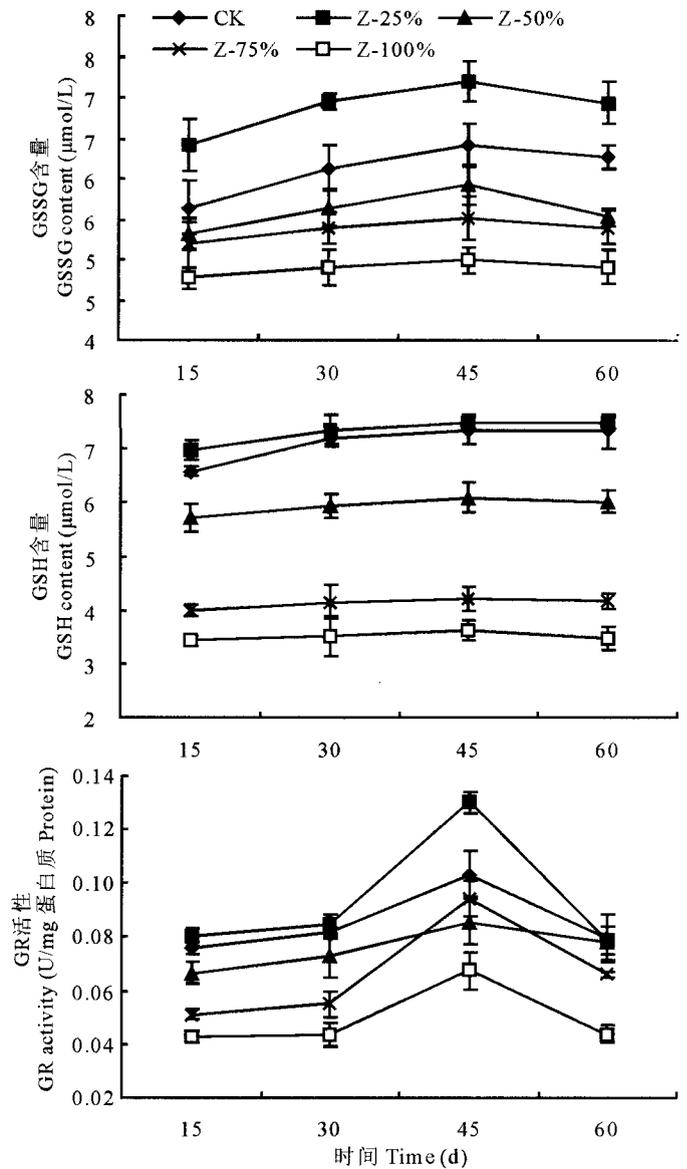


图2 不同比例沼液处理对青菜体内GSSG和GSH含量及GR活性的影响

Fig. 2 Effects of different biogas slurry ratio on GSSG content, GSH content and GR of *B. rapa*

代化肥处理下 30 d 酶活性最高,而 MDHAR 活性则随着处理时间的增加而增加,以 25% 沼液替代化肥的处理效果最好;在 GSH 循环中的 GSSG 和 GSH 含量随着处理时间的增加而增加,以 25% 沼液替代化肥的处理效果最好,与对照差异显著,而 GR 活性随着处理时间增加呈先增加后降低的趋势,其中以 25% 沼液替代化肥处理下 45 d 酶活性最高。本试验结果发现,在 25% 沼液处理下,可有效增加 AsA-GSH 循环中相关酶活性和相关物质含量,从而促进了 AsA-GSH 循环,间接地增加了青菜体内 Vc 含量,改善了青菜的品质,这与 Jin 等<sup>[22]</sup>的研究结果一致。

通过本试验结果,同时结合前期研究<sup>[3]</sup>,发现适宜浓度的水葫芦沼液浸种不仅可以促进种子发芽,提高发芽指数、活力指数、生物量以及叶绿素含量,而且适宜比例的水葫芦沼液处理,还可以促进植株的生长,增加了体内 AsA-GSH 代谢循环,提高了青菜的抗氧化防御能力。

### 参考文献:

- [1] Gunnarsson C C, Petersen C M. Water hyacinths as a resource in agriculture and energy production: A literature review[J]. Waste Management, 2007, 27(1): 117-129.
- [2] 张翔,余建峰,刘金盾,等.不同接种物对牛粪高温厌氧发酵的影响[J].广西师范大学学报(自然科学版),2007,25(1): 78-81.
- [3] 薛延丰,石志琦,严少华,等.利用生理生化参数评价水葫芦沼液浸种可行性初步研究[J].草业学报,2010,19(5): 51-56.
- [4] 薛延丰,李慧明,易能,等.微囊藻毒素(MC-RR)对白三叶种子萌发及幼苗生理生化特性影响[J].草业学报,2009,18(6): 180-185.
- [5] 陈柔屹,冯云超,唐祈林,等.种植密度对玉草 1 号产量与品质的影响[J].草业科学,2009,26(6): 96-100.
- [6] Zhang J, Kirkham M B. Antioxidant responses to drought in sunflower and sorghum seedling[J]. New Phytologist, 1996, 132: 361-373.
- [7] Turcsányi E, Lyons T, Plochl M, et al. Does ascorbate in the mesophyll cell walls form the first line defence against ozone? Testing the concept using broad bean (*Vicia faba* L.)[J]. Journal of Experimental Botany, 2000, 51: 901-910.
- [8] 樊怀福,李娟,郭世荣,等.外源 NO 对 NaCl 胁迫下黄瓜幼苗生长和根系谷胱甘肽抗氧化酶系统的影响[J].西北植物学报,2007,27(8): 1611-1618.
- [9] 郭丽红,陈善娜,龚明.钙对玉米幼苗谷胱甘肽还原酶活性的影响[J].植物生理学通讯,2002,38(2): 115-117.
- [10] 吴锦程,梁杰,陈建琴,等.GSH 对低温胁迫下枇杷幼果叶绿体 AsA-GSH 循环代谢的影响[J].林业科学,2009,45(11): 15-19.
- [11] 吴锦程,陈建琴,梁杰,等.外源一氧化氮对低温胁迫下枇杷叶片 AsA-GSH 循环的影响[J].应用生态学报,2009,20(6): 1395-1400.
- [12] 王金花.沼气发酵生态系统与残留物综合利用技术研究[D].北京:中国农业大学水利与土木工程学院,2005.
- [13] 王远远,沈飞,刘荣厚,等.沼肥对小白菜产量及品质的影响[J].可再生能源,2007,25(5): 40-44.
- [14] 薛延丰,李慧明,石志琦.蓝藻发酵沼液对青菜生物学特性和品质影响初探[J].江西农业学报,2009,21(10): 59-62.
- [15] 魏道智,宁书菊,林文雄.小麦根系活力变化与叶片衰老的研究[J].应用生态学报,2004,15(9): 1565-1569.
- [16] 杨闯,徐文修,李钦钦,等.沼液浸种对陆地棉生长及产量的影响[J].新疆农业科学,2009,46(1): 138-141.
- [17] 冉启英.沼液浸种、施肥在生姜生产上的对比试验[J].现代农业科技,2008,19: 28-29.
- [18] 张学军,刘琼,刘勇.沼液浸种和追施对辣椒产量影响[J].耕作与栽培,2008,3: 44-45.
- [19] Xue Y F, Liu Z P. Antioxidative enzymes and physiological characteristics in two Jerusalem artichoke cultivars under salt stress[J]. Russian Journal of Plant Physiology, 2008, 55(6): 776-781.
- [20] 刘建新,王鑫,李博萍.外源一氧化氮供体 SNP 对 NaCl 胁迫下黑麦草幼苗叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响[J].草业学报,2010,19(2): 82-88.
- [21] Chen G, Nian F Z. Effect of B, Mo on fatty acid component of *Brassica napus*[J]. Chinese Journal of Oil Crop Science, 2004, 26: 69-71.
- [22] Jin Y H, Tao D L, Hao Z Q, et al. Environmental stresses and redox status of ascorbate[J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(7): 795-801.

**Dynamic changes in the growth and the AsA—GSH circulation metabolism of  
Chinese cabbage treated with a biogas slurry of water hyacinth**

XUE Yan-feng<sup>1,2,3</sup>, FENG Hui-fang<sup>1,4</sup>, SHI Zhi-qi<sup>1,2,3</sup>, YAN Shao-hua<sup>5</sup>, ZHENG Jian-chu<sup>5</sup>

(1. Institute of Food Quality and Safety, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210094, China;  
2. Key Lab of Food Quality and Safety of Jiangsu Province-State Key Laboratory Breeding Base, Nanjing  
210094, China; 3. Key Lab of Agro-Food Safety and Quality, Ministry of Agriculture, Nanjing  
210094, China; 4. College of Life Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097,  
China; 5. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jiangsu Academy  
of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** Dynamic changes in the growth and the AsA—GSH circulation metabolism of Chinese cabbage treated with different contents of biogas slurry of water hyacinth were studied in a complete growth cycle. Different responses were found in shoot height and fresh weight when the Chinese cabbages were treated with different contents of biogas slurry. The most obvious effect was observed with 25% biogas slurry. The shoot height and fresh weight significantly increased compared with those of the controls during different sampling periods. However, when the contents of biogas slurry were more than 50%, the shoot height and fresh weight were increasingly reduced with increases of biogas slurry contents. The contents of total Vc, reduced ascorbate (AsA) and dehydroascorbate (DHA) changed differently. With the 25% biogas slurry treatment, total Vc content significantly increased after 45 and 60 d treatment and AsA content also increased even though there was no significant difference compared with that in the controls. DHA content increased considerably during the different sampling periods. When the contents of biogas slurry were more 50%, the contents of total Vc, AsA and DHA were considerably reduced with increases of biogas slurry contents. In the AsA cycle, the activities of ascorbic acid peroxidase (APX), ascorbate oxidase (AAO) and dehydroascorbate reductase (DHAR) showed the same change trend, initially increasing and then decreasing with an increase of treatment duration, i. e. the activities showed the maximum values after 30 d under 25% biogas slurry, whereas the activity of monodehydroascorbate reductase (MDHAR) increased with increased treatment duration. At the same time, the contents of oxidized glutathione (GSSG) and reduced glutathione (GSH) increased significantly with an increase of treatment duration in the GSH cycle. There were significant differences compared with those in the control. The activity of glutathione reductase (GR) increased initially and then decreased with an increase of treatment duration. The activity showed a maximum value after 45 d treatment with the 25% biogas slurry. It is suggested that the optimum biogas slurry content promotes growth, enhances AsA—GSH circulation metabolism, and maintains higher antioxidative stress capacity in Chinese cabbage.

**Key words:** water hyacinth(*Eichhornia crassipes*); biogas slurry(*Brassica rapa*); Chinese cabbage; ascorbic acid; glutathione