

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.02.003

付为国, 田远飞, 汤涓涓 等. 芦苇浸提液对藨草种子萌发及幼苗生长生理特性的影响[J]. 广西植物 2013, 33(2): 154 – 158

Fu WG, Tian YF, Tang JJ *et al.* Allelopathic effects of *Phragmites communis* aqueous extract on seed germination and seedling growth of *Phalaris arundinacea* [J]. *Guihaia* 2013, 33(2): 154 – 158

## 芦苇浸提液对藨草种子萌发及幼苗 生长生理特性的影响

付为国, 田远飞, 汤涓涓, 尹淇淋

(江苏大学 现代农业装备与技术教育部重点实验室/江苏省农业装备与  
智能化高技术重点实验室, 江苏 镇江 212013)

**摘要:** 通过研究不同浓度芦苇浸提液(对照: 0; 处理 1: 150 g/L; 处理 2: 300 g/L) 对藨草萌发及幼苗生长影响, 揭示了芦苇对藨草化感效应。结果表明: 随着芦苇浸提液浓度升高, 藨草发芽率、发芽指数、株高、根长以及叶绿素含量显著或极显著下降, 各指标相应化感效应指数则显著或极显著上升; 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD) 和过氧化氢酶(CAT) 活性和丙二醛(MDA) 含量则随芦苇浸提液浓度升高呈不同的升降趋势。所有这些结果显示, 随着浸提液浓度升高, 芦苇对藨草的化感胁迫效应越来越明显。

**关键词:** 化感; 藨草; 芦苇; 种子萌发; 抗氧化酶

中图分类号: Q948.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2013)02-0154-05

## \* Allelopathic effects of *Phragmites communis* aqueous extract on seed germination and seedling growth of *Phalaris arundinacea*

FU Wei-Guo, TIAN Yuan-Fei, TANG Juan-Juan, YIN Qi-Lin

(Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology (Jiangsu University/Ministry of Education/High-tech  
Key Laboratory of Agricultural Equipment & Intelligentization of Jiangsu Province, Zhenjiang 212013, China)

**Abstract:** Allelopathic effects of *Phragmites communis* on *Phalaris arundinacea* was explored by studying the effects of aqueous extract of *Phragmites communis* with different concentrations (CK: 0; Treat 1: 150 g/L; Treat 2: 300 g/L) on seed germination and seedling growth of *Phalaris arundinacea*. The results showed that with the increase in the concentration of aqueous extract from *Phragmites communis*, seed germination rate, seed germination index, seedling height, seedling taproot length, and chlorophyll content in leaf showed significant or extremely significant reduction, while allelopathic effect indices based on the above indicators showed significant or extremely significant ascension. Activity of antioxidant enzymes of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), and catalase (CAT) and content of malondialdehyde (MDA) showed varying degrees of upward or downward trend with the increase in the concentration of aqueous extract. All these results indicated that allelopathic stress effect of *Phragmites communis* on *Phalaris arundinacea* was becoming more and more obvious with the increase in the concentration of extracts of *Phragmites communis*.

**Key words:** allelopathy; *Phragmites communis*; *Phalaris arundinacea*; seed germination; antioxidant enzyme

\* 收稿日期: 2012-10-24 修回日期: 2012-12-19

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BADB2B0403); 江苏省建设科技类示范工程项目(200906140002)

作者简介: 付为国(1968-) 男, 安徽六安人, 博士, 副研究员, 硕士生导师, 主要从事湿地生态系统植物群落研究 (Email) fuweiguo@ujs.edu.cn。

藨草(*Phalaris arundinacea*)和芦苇(*Phragmites communis*)同为竞争能力较强的多年生根茎禾草。在北美等地区,二者均被视为入侵植物(Fu et al., 2011);而在欧洲,二者常被作为人工湿地去污植物,进行污水处理(Vymazal & Kropfelova 2005);国内关于芦苇的研究较多,而对藨草研究相对较少,但近年关于藨草生长特性、竞争特性、去污能力和饲用价值的研究已相继被报道(张永亮等 2008; 付为国等 2006)。鉴于藨草为冷季型物种,冬季可越冬生长,利用其与芦苇为优势种,构建人工湿地植物群落,可实现人工湿地去污效率和景观效果的季节互补,应用前景广泛。然而,芦苇和藨草都具有较强的竞争力,二者混生时,芦苇多处于竞争优势,但偶有相反(Vymazal & Kropfelova 2005)。因此,关于藨草和芦苇竞争特性的研究对于维持人工湿地藨草和芦苇群落稳定意义重大。

化感作用是植物实现竞争优势的重要手段之一(潘玉梅等 2008; 贾海江等 2009)。芦苇即是一种强化感植物,甚至对一枝黄花(*Solidago canadensis*)、互花米草(*Spartina alterniflora*)以及多种藻类均具有抑制作用(Men et al., 2007; Rudrappa et al., 2007; Hong et al. 2008; Bains et al. 2009)。那么,芦苇是否对藨草具有化感抑制作用目前未见报道。本研究将通过芦苇浸提液对藨草萌发和幼苗生长影响的研究,揭示芦苇对藨草化感抑制效应,从而为芦苇和藨草竞争机理的探索以及人工湿地藨草芦苇群落稳定的维护提供理论指导和技术依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供体植物芦苇和受体植物藨草均取自镇江滨江湿地(119°28′ E 32°15′ N),藨草和芦苇构成该湿地植物群落的优势种群。

### 1.2 试验方法

1.2.1 芦苇浸提液的制备 4月中旬,于滨江湿地选取长势健壮一致、高度约1.5 m的新生芦苇,挖取整株后洗净、自然晾干、剪碎、称取鲜重450 g和225 g各1份,研磨,分别加蒸馏水1.5 L浸泡48 h,期间多次搅拌,过滤得到质量浓度分别为300 g/L和150 g/L的芦苇浸提液,放入冰箱4℃保存以备试验之用。

1.2.2 藨草种子萌发试验 浸提液制备后,在直径

为150 mm培养皿沙床内排放藨草种子50粒,加入体积相同、浸提液浓度梯度为0(加蒸馏水,CK)、150(处理1)和300 g/L(处理2)的3个处理,每个处理重复3次。然后将培养皿放入光照培养箱中,根据沙床墒情,等体积补充少量浸提液(对照加蒸馏水)确保沙床湿润。萌发后,连续14 d记录每天发芽数,结束后取均值计算不同处理藨草的发芽率(*GR*)和萌发指数(*GI*)。其中, $GR(\%) = (21 \text{ d内发芽的种子数} / \text{总供试种子数}) \times 100\%$  …… (1)

$$GI = \sum(Gt/Dt) \dots\dots\dots (2)$$

式中 *Gt* 代表第 *t* 天的发芽数, *Dt* 代表相应的发芽天数。

1.2.3 藨草幼苗生长指标及抗氧化酶活性测定 发芽试验结束后1周,从各处理中选取具有代表性的60株藨草幼苗,测量其株高、根长、叶绿素含量及多种抗氧化酶活性。采用丙酮法测定叶绿素含量;氮蓝四唑光还原法测定超氧化物歧化酶(SOD)活性;愈创木酚法测定过氧化物酶(POD)活性;高锰酸钾滴定法测定过氧化氢酶(CAT)活性;硫代巴比妥酸比色法测定丙二醛(MDA)含量(李合生 2000)。

1.2.4 受体植物化感效应指数 化感效应指数(*RI*)参照Williamson公式求得(Williamson & Richardson, 1988)。

$$RI = \begin{cases} 1 - C/T & (T \geq C) \\ T/C - 1 & (T < C) \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

式中 *C* 为各指标的对照值, *T* 为各指标的处理值。当 *RI* > 0 时,浸提液对受体植物该指标具有促进效应;当 *RI* < 0 时,浸提液对该指标具有抑制效应。*RI* 绝对值越大,表明化感作用强度越大。

### 1.3 数据处理

采用SPSS13.0统计分析软件,分别进行不同处理间藨草萌发和幼苗生长特性差异的显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度芦苇浸提液对藨草发芽影响

发芽试验显示(表1),浇灌蒸馏水的对照处理中藨草发芽率为78.67%,表明藨草发芽率相对较低,与其他学者研究结论相符(张永亮等 2008),说明藨草本身发芽率相对较低。处理1和处理2中,藨草发芽率分别仅为对照CK的84.3%和56.3%,与CK差异分别达显著和极显著,处理1与处理2间差异达极显著水平;基于发芽率指标的化感效应

指数计算显示,处理 1 和处理 2 的化感效应指数分别为-0.16、-0.44, t 检验显示二者与对照分别达显著和极显著差异。

处理 1 和处理 2 发芽指数仅为对照的 76.46% 和 29.3%, 与 CK 差异均达到极显著水平,且处理 1 与处理 2 间差异也极显著;基于发芽指数指标的处理 1 和处理 2 化感效应指数分别为-0.23 和-0.71, t

检验显示二者与对照 CK 均达到极显著差异水平。因此,无论是发芽率,还是发芽指数均显示随着芦苇浸提液浓度升高,藜草所受到的化感抑制效应增强。在抑制程度上,浸提液对发芽指数抑制效果更为明显。换言之,芦苇浸提液在降低藜草发芽率的同时,更显著地降低了发芽的整齐度,使藜草幼苗个体差异变大,群体发芽势减弱。

表 1 不同浓度的芦苇浸提液对藜草发芽的影响

Table 1 Effects of *P. communis* aqueous extract on seed germination of *P. arundinacea*

不同处理 Different treatments	发芽率 Germination rate		发芽指数 Germination index	
	实测值 (%)	化感效应指数值	实测值 (%)	化感效应指数值
对照 CK (0 g/L)	78.67 ± 5.46 Aa		3.51 ± 0.25 Aa	
处理 1 Treat 1 (150 g/L)	66.33 ± 6.62 Ab	-0.16*	2.68 ± 0.22 Bb	-0.23**
处理 2 Treat 2 (300 g/L)	44.33 ± 4.84 Bc	-0.44**	1.03 ± 0.150 Cc	-0.71**

注:各列数据后不同小写和大写字母表示在 0.05 和 0.01 水平差异显著,\* 和 \*\* 分别表示经 t 检验不同处理与对照间分别在 5% 和 1% 水平上差异显著。下同。

Note: Values followed by the different small and capital letters within a column are significantly different at 0.05 and 0.01 level respectively; \* and \*\* express the mean difference between different treatment and contrast was significant at 0.05 level and 0.01 level respectively. The same below.

表 2 不同浓度的芦苇浸提液对藜草幼苗生长特性的化感效应

Table 2 Allelopathic effects of *P. communis* aqueous extract on seedling growth of *P. arundinacea*

不同处理 Different treatments	株高 Seedling height		根长 Taproot length		叶绿素含量 Chlorophyll content	
	实测值 (cm)	化感效应指数值	实测值 (cm)	化感效应指数值	实测值 (cm)	化感效应指数值
对照 CK (0 g/L)	11.5 ± 0.6 Aa		8.4 ± 0.5 Aa		3.24 ± 0.21 Aa	
处理 1 Treat 1 (150 g/L)	10.2 ± 0.7 Aa	-0.11	7.5 ± 0.4 Aa	-0.11	2.96 ± 0.22 Ab	-0.09*
处理 2 Treat 2 (300 g/L)	6.4 ± 0.9 Bb	-0.44**	4.3 ± 0.5 Bb	-0.49**	1.88 ± 0.24 Bc	-0.42**

## 2.2 不同浓度芦苇浸提液对藜草幼苗生长影响

幼苗株高、根长及叶绿素含量是反映植株生长状况的重要指标,差异性比较是评价幼苗是否受到抑制的常用途径。不同处理藜草幼苗株高、根长和叶绿素含量测量结果显示(表 2),随着芦苇浸提液浓度上升,藜草株高和根长度均呈不同程度的下降趋势,其中处理 1 与对照 CK 差异不显著,而处理 2 与二者均极显著差异;化感效应指数显示,处理 1 与对照 CK 差异不显著,处理 2 与对照 CK 差异极显著。随着芦苇浸提液浓度升高,藜草叶绿素含量显著降低(表 2)。对照 CK 与处理 1 和处理 2 间差异分别达到显著和极显著水平,而处理 1 和处理 2 间差异亦达到极显著水平。化感效应指数显示,处理 1 和处理 2 与对照 CK 差异达显著和极显著。

以上结果表明,浸提液浓度为 150 g/L 的处理 1 对藜草幼苗高度和根长虽有抑制效应,但效应有限;而浸提液浓度为 300 g/L 的处理 2 对藜草幼苗高度和根长的抑制效应则极为明显。相对于株高和根长两指标,叶绿素含量指标对芦苇浸提液浓度剂量

效应较为敏感,当浓度为 150 g/L 时,藜草幼苗叶绿素的含量即显著降低。

抗氧化酶保护系统是植物在长期进化过程中形成的一套内源性保护系统,是植物对逆境胁迫的一种生理适应(龚宁等,2006)。它主要通过超氧化歧化酶(SOD)、过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)将胁迫产生的大量有害活性氧自由基清除,否则会导致膜脂过氧化,形成大量丙二醛(MDA)积累,对植物造成伤害(龚宁等,2006)。因此,SOD、CAT、POD 活性及 MDA 含量指标,常被用来表征植物是否遭受逆境伤害以及伤害时伤害程度的大小(陈志刚等,2012)。

## 2.3 不同浓度芦苇浸提液对藜草幼苗抗氧化保护系统的影响

不同处理后的藜草幼苗抗氧化酶活性及丙二醛含量的测定结果(表 3)显示,随着浸提液浓度升高,幼苗体内 SOD、POD、CAT 等酶的活性呈现先升后降的变化趋势,而体内 MDA 含量则持续升高。其中,处理 1 中 SOD、CAT 和 POD 等酶的活性较对照 CK

均极显著增强,而 MDA 含量略有上升,且差异不显著。这表明在处理 1 中,藨草体内抗氧化酶保护系统作出强烈的反应,抗氧化酶活性极显著增强,体内因胁迫产生的自由基大部分被清除,有效地减缓了膜脂过氧化物的发生,幼苗所受胁迫程度较轻;而浸提

液浓度上升到 300 g/L 的处理 2 中,SOD、CAT 和 POD 较处理 1 均极显著下降,而 MDA 含量则极显著上升。这表明此时抗氧化酶活性均大幅减弱,清除自由基能力降低,MDA 含量因此大幅上升,幼苗已处于极度胁迫伤害之中。

表 3 同浓度的芦苇浸提液对藨草幼苗抗氧化保护系统的影响

Table 3 Effects of *P. communis* aqueous extract on anti-oxidant protection system of *P. arundinacea* seedling

不同处理 Different treatments	超氧化物歧化酶 SOD ( $U \cdot g^{-1}$ )	过氧化物酶 POD ( $U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ )	过氧化氢酶 CAT ( $U \cdot g^{-1} \cdot min^{-1}$ )	丙二醛 MDA ( $nmol \cdot g^{-1}$ )
对照 CK (0 g/L)	121.2 ± 6.4 Aa	344.55 ± 16.4 Aa	22.5 ± 1.2 Aa	11.2 ± 0.8 Aa
处理 1 Treat 1 (150 g/L)	224.8 ± 14.7 Bc	589.5 ± 22.3 Bb	56.7 ± 4.3 Bc	14.8 ± 1.2 Aa
处理 2 Treat 2 (300 g/L)	146.1 ± 8.1 Ab	398.8 ± 17.7 Aa	30.4 ± 2.2 Ab	28.8 ± 2.5 Bb

### 3 结论和讨论

藨草和芦苇均极具竞争力,常常混生于某些河漫滩、湖边及低洼沼泽地(张永亮等 2008),近年来常被作为优势植物构建人工湿地去污植物群落。为探明两物种间的竞争关系,本研究通过不同浓度芦苇浸提液对藨草种子萌发和幼苗生长影响研究,从化感的角度研究了芦苇与藨草的竞争关系。

随着芦苇浸提液浓度的升高,其对藨草萌发抑制效应更加明显。方式上,不仅表现在降低藨草的发芽率,而且更为明显地表现在降低发芽整齐度和发芽指数,从而降低幼苗整体活力。随着芦苇浸提液浓度的升高,其对藨草幼苗高度、根长以及叶片叶绿素含量均具有一定的抑制作用。浓度为 150 g/L 的浸提液对藨草幼苗高度和根长的抑制效应相对较低,但对叶绿素合成的抑制较为明显,且达显著水平。浓度为 300 g/L 的浸提液对藨草各项指标均具有极显著的化感抑制效应。

抗氧化酶活性及丙二醛含量的高低是反映植物是否遭受生理胁迫及胁迫程度的重要指标。研究结果显示,当芦苇浸提液浓度为 150 g/L 时,藨草体内 SOD、CAT、POD 等抗氧化酶活性显著增加,而 MDA 含量只是稍有上升,显示该浓度下藨草承受胁迫程度较轻。而当浓度上升到 300 g/L 时,藨草体内 SOD、CAT、POD 等抗氧化酶活性虽强于对照处理,但较处理 1 已极显著下降,而 MDA 含量则较对照和处理 1 极显著上升,说明此时藨草抗氧化酶保护系统保护功能遭到较大程度的削弱,体内细胞膜透性破坏严重,藨草正承受极为严重化感胁迫。

芦苇和藨草混生于同一片人工湿地时,芦苇常

处于竞争优势,然而也偶有相反(Vymazal & Kropfelova 2005),至于产生这一矛盾现象的原因尚未见报道。化感是植物竞争的重要手段之一,而环境因子又可影响乃至决定物种间的化感效应(Zhu *et al.* 2011)。湿地中最为显著的环境因子是水文条件变化及土壤水分差异,必将使得植物分泌出的化感物质呈现出浓度的差异,进而显示出化感剂量的差异,这一差异势必会表现在湿地中芦苇和藨草的竞争结果中。因此不同浓度芦苇浸提液对藨草化感效应的影响研究,在一定程度上解释了芦苇和藨草竞争的矛盾性结果。

#### 参考文献:

- 李合生. 2000. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社
- Bains G, Kumar AS, Rudrappa T *et al.* 2009. Native plant and microbial contributions to a negative plant-plant interaction [J]. *Plant Physiol* **151**(4): 2 145 - 2 151
- Chen ZG(陈志刚), Zhang HR(张红蕊), Zhou XH(周晓红) *et al.* 2012. Study on characteristics of antioxidant enzymes activities and MDA contents in *Lolium multiflorum* roots induced by Aluminum stress(铝胁迫对黑麦草根抗氧化酶活性和丙二醛含量的诱导特征研究) [J]. *Chin J Soil Sci*(土壤通报) **43**(2): 391 - 395
- Fu WG, Li PP, Wu YY. 2011. Mechanism of the plant community succession process in the Zhenjiang waterfront wetland [J]. *Plant Ecol* **212**: 1 339 - 1 347
- Fu WG(付为国), Li PP(李萍萍), Bian XM(卞新民) *et al.* 2006. Competitive characteristics of dominant species in plant community succession process in inner-river flood plain grassland in Zhenjiang (镇江内江河漫滩草地植物群落演替进程中优势种间的竞争特性) [J]. *Chin J Grassl*(中国草地学报) **28**(6): 24 - 28
- Gong N(龚宁), Chen QF(陈庆富), Li CM(李昌梅) *et al.* 2006. Study on antioxidant enzyme activities of buckwheat(几种荞麦的抗氧化酶活性研究) [J]. *Guihaia*(广西植物) **26**(1): 88 - 91
- Hong Y, Hua HY, Xie X *et al.* 2008. Responses of enzymatic antioxidants and non-enzymatic antioxidants in the cyanobacterium

- Microcystis aeruginosa* to the allelochemical ethyl 2-methyl acetoacetate (EMA) isolated from reed (*Phragmites communis*) [J]. *J Plant Physiol* **165**: 1 264 – 1 273
- Jia HJ( 贾海江) ,Li XK( 李先琨) ,Tang SC( 唐赛春) ,et al. 2009. Allelopathic effects of *Eupatorium adenophorum* on seed germination of three woody plants in karst region( 紫茎泽兰对三种岩溶地区木本植物种子萌发的化感作用) [J]. *Guihaia*( 广西植物) **29**( 5) : 631 – 634
- Liu MJ( 刘梦佼) ,Hong L( 洪岚) ,Shen H( 沈浩) ,et al. 2012. Responses of *Mikania micrantha* to parasitization of *Cuscuta campestris* in total soluble protein content and activities of antioxidant enzymes( 薇甘菊可溶性蛋白和抗氧化酶活性对田野菟丝子不同寄生密度的响应) [J]. *Guihaia*( 广西植物) **31**( 4) : 520 – 525
- Men YJ ,Hu HY ,Li FM. 2007. Effects of the novel allelochemical ethyl 2-methylacetoacetate from the reed (*Phragmites australis* Trin) on the growth of several common species of green algae [J]. *J Appl Physiol* **19**: 521 – 527
- Pan YM( 潘玉梅) ,Tang SC( 唐赛春) ,Pu GZ( 蒲高忠) ,et al. 2008. Allelopathic effects of *Parthenium hysterophorum* aqueous extract on germination of *Bidens pilosa* and *Delavaya toxocarpa* ( 外来入侵植物银胶菊水提取物对三叶鬼针草和茶条木种子萌发的化感作用) [J]. *Guihaia*( 广西植物) **28**( 4) : 534 – 538
- Rudrappa T ,Bonsall J ,Gallagher JL ,et al. 2007. Root-secreted allelochemical in the noxious weed *Phragmites Australis* deploys a reactive oxygen species response and microtubule assembly disruption to execute rhizotoxicity [J]. *J Chem Ecol* **33**: 1 898 – 1 918
- Vymazal J ,Kropfelova L. 2005. Growth of *Phragmites australis* and *Phalaris arundinacea* in constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic [J]. *Ecol Eng* **25**: 606 – 621
- Williamson GB ,Richardson D. 1988. Bioassays for allelopathy: measuring treatment responses with independent controls [J]. *J Chem Ecol* **14**: 181 – 187
- Zhang YL( 张永亮) ,Luo XM( 骆秀梅) . 2008. Research progress of reed Canarygrass( 藯草的研究进展) [J]. *Acta Agr Sin*( 草地学报) **16**( 6) : 659 – 665
- Zhu XZ ,Jintun Zhang JT ,Ma KP. 2011. Soil biota reduce allelopathic effects of the invasive *Eupatorium adenophorum* [J]. *PLoS One* **6**( 9) : 1 – 6

( 上接第 153 页 Continue from page 153 )

- Reilly K ,Gómez-Vásquez R ,Buschmann H ,et al. 2004. Oxidative stress responses during cassava post-harvest physiological deterioration [J]. *Plant Mol Biol* **56**: 625 – 641
- Sarria R ,Torres E ,Angel F ,et al. 2000. Transgenic plants of cassava (*Manihot esculenta*) with resistance to Basta obtained by *Agrobacterium*-mediated transformation [J]. *Plant Cell Rep* **19**: 339 – 344
- Selmar D. 1993. Transport of cyanogenic glucosides: linustatin uptake by *Hevea* cotyledons [J]. *Planta* **191**: 191 – 199
- Shi JL ,Cao YP ,Fan XR ,et al. 2012. A rice microsomal delta-12 fatty acid desaturase can enhance resistance to cold stress in yeast and *Oryza sativa* [J]. *Mol Breed* **29**: 743 – 757
- Siritunga D ,Arias-Garcon D ,White W ,et al. 2004. Over-expression of hydroxynitrile lyase in transgenic cassava roots accelerates cyanogenesis and food detoxification [J]. *Plant Biotechnol J* **2**: 37 – 43
- Siritunga D ,Sayre RT. 2003. Generation of cyanogen-free transgenic cassava [J]. *Planta* **217**: 367 – 373
- Smith-White BJ ,Preiss J. 1992. Comparison of protein of ADP-glucose pyrophosphorylase from diverse sources [J]. *J Mol Evol* **34**: 449 – 464
- Stark DM ,Timmerman KP ,Barry GF ,et al. 1992. Regulation of the amount of starch in plant tissues by ADP-glucose pyrophosphorylase [J]. *Science* **258**: 287 – 292
- Tang YM( 唐益苗) ,Zhao CP( 赵昌平) ,Gao SQ( 高世庆) ,et al. 2009. Advances in genes related to plant drought tolerance( 植物抗旱相关基因研究进展) [J]. *J Trit Crops*( 麦类作物学报) , **29**( 1) : 166 – 173
- Taylor N ,Chavarriaga P ,Raemakers K ,et al. 2004. Development and application of transgenic technologies in cassava [J]. *Plant Mol Biol* **56**: 671 – 688
- Wang S( 王遂) ,Liu MR( 刘梦然) ,Huang HJ( 黄海娇) ,et al. 2011. Selection of cold resistant strains from *TaLEA* gene transferred *Populus simonii* × *P. nigra*( 转 *TaLEA* 基因小黑杨抗寒株系的筛选) [J]. *J Northeast For Univ*( 东北林业大学学报) **3**( 9) : 5 – 7
- Wang YJ( 王亚静) ,Bi YY( 毕于运) ,Tang HJ( 唐华俊) . 2009. The research development and trend of energy crops of China( 中国能源作物研究进展及发展趋势) [J]. *Chin Sci & Technol Forum*( 中国科技论坛) ( 3) : 124 – 129
- Yeoh HH ,Chew MY. 1976. Protein content and amino acid composition of cassava leaf [J]. *Phytochemistry* **15**: 1 597 – 1 599
- Zhang P ,Jaynes JM ,Potrykus I ,et al. 2003. Transfer and expression of an artificial storage protein( *aspl1*) gene in cassava( *Manihot esculenta* Crantz) [J]. *Transgen Res* **12**: 243 – 250