

入侵植物加拿大一枝黄花对环境的生理适应性研究

郭水良^{1,2} 方芳¹

(1 浙江师范大学生命与环境科学学院 金华 321004)

(2 南京农业大学杂草研究室 南京 210095)

摘要 外来杂草已对我国的作物、果园、草坪、自然环境和生物多样性产生了严重危害。因此,对新传入的外来杂草开展生理生态学研究,对于预测它们在我国分布的潜在范围和生境特点有实践意义,了解新外来杂草对逆境条件的生理适应方面的知识,对它们的综合管理也是有益的。加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)原产于北美,20世纪70年代作为花卉植物引入我国,现在是我国东南地区的一种常见外来杂草。本项工作测定了不同酸碱度、不同NaCl含量、不同质地的土壤、不同温度处理对加拿大一枝黄花植物体内游离脯氨酸、丙二醛、可溶性糖含量、过氧化物酶活性和过氧化物酶同工酶谱等生理指标的影响。结果表明:1)加拿大一枝黄花适生于偏酸、低NaCl浓度的土壤中;2)砂壤土、壤土比粘土更适于加拿大一枝黄花的生长;3)38℃的高温比5℃的低温对加拿大一枝黄花具有更大的损伤作用;4)加拿大一枝黄花地下根具有很强的无性繁殖能力。

关键词 加拿大一枝黄花 生理指标 适应性

PHYSIOLOGICAL ADAPTATION OF THE INVASIVE PLANT *SOLIDAGO CANADENSIS* TO ENVIRONMENTS

GUO Shui-Liang^{1,2} and FANG Fang¹

(1 College of Life and Environment Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

(2 Weed Research Laboratory, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract Exotic weeds have caused serious harm to crop production, orchards, lawns, natural environments and biodiversity in China. Studies on the physiological and ecological characteristics of newly introduced exotic weeds are of practical significance in the predication of their potential distribution areas and their habitats. Knowledge of the physiological response of exotic weeds in stressful environments is also useful in their integrative management. *Solidago canadensis*, a perennial plant originating from North America, was introduced into China as a horticultural plant in the 1970s. In east China, *Solidago canadensis* is mainly distributed in the areas along the Shanghai-Nanjing and Shanghai-Hangzhou railways. *Solidago canadensis* has caused damage to crops in dry fields, impeded the recovery of vegetation in abandoned fields, and was also recorded as one of the most common weeds in suburbs of Shanghai. Therefore, *Solidago canadensis* has become an invasive weed. In order to understand the adaptive characteristics of *Solidago canadensis* to invasive environments and predict its potential distributive regions, physiological traits, including the contents of free proline, MDA and soluble sugar, POD activity and POD isozymogram, under different stresses were determined. POD isozymes were examined by polyacrylamide gel electrophoresis, and their isozymograms were analyzed by using "Image Master to Lallab" software. The results show: 1) MDA content of *Solidago canadensis* treated with 0.00, 0.02 and 0.05 mol·L⁻¹ NaCl solutions are 5.76, 7.29 and 8.06 μmol·g⁻¹ FW respectively, increasing with the elevation of the concentration of NaCl in soil; 2) MDA content of the individuals planted in loamy soils, sandy soils and clay soils is 2.46, 3.25 and 3.96 μmol·g⁻¹ FW respectively, and their POD activity is 4.12, 3.40 and 3.04 △OD min⁻¹·g⁻¹ FW respectively, that is to say, the individuals planted in loamy, sandy soils have lower concentrations of MDA and higher activity of POD than those in clay soil; 3) For the individuals planted under 5℃, 25℃ and 38℃, their soluble sugar content is 1.24%, 1.09% and 0.61% respectively, their free proline content is 53.80, 15.00 and 116.12 μg·g⁻¹ FW, respectively, their POD activity is 2.80, 2.70 and 2.18 △OD min⁻¹·g⁻¹ FW respectively, and their MDA content is 7.35, 5.29 and 7.86 μmol·g⁻¹ FW respectively. Individuals grown 38℃ had higher concentrations of MDA, free proline and solu-

ble sugar, and lower POD activity; 4) Compared with plants grown at 25 °C, the POD isozymogram of *Solidago canadensis* grown at 38 °C is obviously different, while the isozymogram from plants grown at 5 °C is similar, indicating that low temperature has little effect on *Solidago canadensis*. Based on the results above, the following conclusions could be drawn: 1) The well-aerated, slight acid soils with low NaCl concentration are suitable for the growth of *Solidago canadensis*; 2) higher temperatures are more harmful to *Solidago canadensis* than low temperatures. It is possible for *Solidago canadensis* to spread in subtropical and temperate areas in China. Additionally, *Solidago canadensis* can easily build its clones through its root system.

Key words *Solidago canadensis*, Physiological traits, Adaptation

外来植物引入或入侵,已对我国农林渔牧业产生了惊人的直接经济损失,它们引起的生态系统平衡改变、生物多样性丧失而造成的间接损失更是无法估计。外来植物入侵已成为生物多样性保育和生态系统恢复研究的热点问题(彭少麟等,1999)。对外来种的入侵理论,即入侵生态学的研究也正在兴起(陆庆光,1999)。因此,开展我国境内危害严重的外来入侵植物的生态学研究,具有重要的理论和实践意义。

加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)原产于北美,最初作为庭园花卉引种栽培于我国上海、南京一带(江苏省植物研究所,1982;郑朝宗,1993)。初步调查表明,加拿大一枝黄花已经广泛地逸生于沪宁线、沪杭线、浙赣铁路沿线地区及浙江宁波、台州等地区,多见于路边、田埂、住宅四周和疏林果园等生境,是上海地区最常见的一种环境杂草(上海科学院,1999)。该入侵种已对部分疏林果园和旱田作物产生严重影响,影响着撂荒地植被的自然恢复过程。加拿大一枝黄花植株粗壮,高达2.50 m以上,在秋季常形成单优势种群落,表现出极强的竞争优势,并呈现进一步扩散态势,是一种典型的外来入侵种。

众多的研究表明,环境胁迫会造成植物的膜脂过氧化,影响到其膜保护系统中相关酶的活性(陈拓等,2001;黄海鸥等,1999;宗会等,2001)。丙二醛作为植物在环境胁迫下膜脂过氧化的一种指标,被用于了解植物在不良环境下受损的程度(陈拓等,2001)。在逆境条件下,植物体内自由基产生增加,其结果一方面诱导过氧化物酶活性的升高,但同时,这些自由基又可直接攻击生物大分子,使过氧化物酶活性丧失,因此表现在环境越恶劣,酶活性越低(杨淑慎等,2001)。逆境条件下植物体积积累脯氨酸具有一定的普遍性,作为一种植物渗透调节剂、膜和酶的保护物质以及自由基清除剂,脯氨酸对逆境植物起着保护作用。因此,脯氨酸积累量的多少可以表征植物体受环境胁迫的程度。基于以上观点,测定

外来入侵植物加拿大一枝黄花在不同胁迫条件下丙二醛、脯氨酸含量、过氧化物酶的活性和同工酶谱变化,将能够了解该外来杂草对环境适应的特点,为预测其潜在的分布范围,和对该种的综合治理提供理论指导。

外来引入植物杂草化的风险评价已受到人们的高度重视,通过对已经杂草化了的外来植物生理、生态适应特点研究,将为其它外来引入植物杂草化风险评价体系的建立积累基础资料。

1 研究方法

将野外自然状态下生长的加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)移栽至浙江师范大学校内生物系试验园内,以便在实验前取材。试验园地光照、土壤等环境条件比较一致。

1.1 土壤质地、pH值和NaCl浓度对加拿大一枝黄花生理指标影响

2001年5月上旬,取营养生长期的加拿大一枝黄花植株,种植于培养钵中,每个培养钵中置有400 g砂壤土,其物理结构见表1。然后进行如下处理:

A、分别浇200 ml NaCl浓度分别为0、0.02、0.05 mol·L⁻¹ 3种完全培养液,以后每隔5 d浇同样配比的营养液25 ml,分别于15 d后取样测定,以了解加拿大一枝黄花对土壤盐分浓度的适应特点。

B、分别浇200 ml pH值分别为4、7、10的3种完全培养液,以后每隔5 d浇同样pH值的营养液25 ml,分别于15 d后取样测定,以了解加拿大一枝黄花对土壤酸碱度的适应特点。

将砂壤土、粘土和砂土晒干,各取400 g干土分别置于培养钵中,每个培养钵加200 ml水使其稍湿,取有活力的加拿大一枝黄花根,称重、测量长度后分别埋植于盛有砂壤土、壤土和粘土的培养钵中,以后每隔5 d浇25 ml水,保持湿润状态,20 d后分别取样测定。3种土壤的团粒结构见表1。

表 1 3 种土壤的物理结构
Table 1 Physical characteristics of the three types of soil

团粒直径(mm) Granule diameter	石砾含量 Gravel granule(%)				土粒含量 Soil granul(%)						物理性砂粒 Physical sandy granule	物理性粘粒 Physical clay granule
	> 10	3 ~ 10	1 ~ 3	1 ~ 0.5	0.5 ~ 0.25	0.25 ~ 0.05	0.05 ~ 0.01	0.01 ~ 0.005	0.005 ~ 0.001	< 0.001		
砂壤土 Sandy soil	0.22	1.02	0.58	20.3	13.94	35.58	16.09	4.02	2.01	8.05	85.92	14.08
壤土 Loamy soil	0.18	0.96	1.14	3.10	6.23	25.89	25.30	12.15	17.21	10.12	60.52	39.48
粘土 Peat soil	—	—	1.66	3.88	3.86	3.52	22.81	15.12	20.73	30.84	33.67	66.33

1.2 温度处理对加拿大一枝黄花生理指标的影响

取自然条件下生长良好的植株移栽到营养盆中 ,成活后备用。把盆栽的植株分别放入 5 ℃和 38 ℃的光照培养箱中培养 ,60 h 后取样叶进行生理测定 ,以未经过处理的植株作为对照(对照的平均温度约为 25 ℃) ,每个处理重复 3 次。过氧化物酶活性、可溶性糖含量、脯氨酸含量、丙二醛含量按中国科学院上海植物生理研究所(1999)的方法测定。

1.3 3 种温度处理对加拿大一枝黄花过氧化物同工酶谱影响

对加拿大一枝黄花的温度处理同前 ,取不同温度处理后的加拿大一枝黄花相同部位的幼叶进行电泳。每株取每叶片 3 g ,洗净 ,剪碎 ,加入少许石英砂 ,加提取缓冲液(0.1 mol·L⁻¹磷酸缓冲液 ,pH 值为 7.0 ,附加有 0.001 mol·L⁻¹ EDTA 和 1% PVP-40(w/v) 2.0 ml ,在冰浴下碾磨成糊状 ,1 层纱布过滤 ,滤液以 12 000 r·min⁻¹离心约 20 min ,去上清液 ,按 1:1 的比例用 40% 的蔗糖固定 ,加 1 滴溴酚蓝染色 ,储于冰箱中备用。

采用聚丙烯酰胺垂直板凝胶分离同工酶 ,分离胶浓度为 7.5%(pH 值为 8.9) ,浓缩胶浓度为 2.5%(pH 值为 6.7) ,胶板有 12 槽 ,每两槽加 1 样品 ,加样量为 70 μl ,50 μl ,用电极缓冲液(6.0 g Tris ,28.8 g 甘氨酸 ,定容至 1 000 ml ,使用时稀释 10 倍)电泳 ,起始电压为 120 V ,待指示剂溴酚蓝跑过浓缩胶时 ,再将电压调至 200 V ,电泳约 3.5 h ,等到溴酚蓝移至胶底 0.2 cm 时停止电泳(何忠效等 ,1999)。

利用联苯胺法染色 ,显色完毕后 ,用蒸馏水洗净残存的染液 ,利用凝胶图像分析系统拍照 ,应用该机所配备的酶带分析软件(Image Master to Lallab)自动作出 3 种温度处理后加拿大一枝黄花过氧化物同工酶的波峰图。

2 结果与分析

2.1 不同 pH 值处理对加拿大一枝黄花叶片生理指标的影响

不同 pH 值处理后加拿大一枝黄花叶片的生理指标变化见表 2。由表 2 可见 ,经 pH = 10 处理后的加拿大一枝黄花 ,其叶内脯氨酸和丙二醛含量最高 ,而 pH = 7 和 pH = 4 处理的则依次降低。这说明碱性土壤环境不利于加拿大一枝黄花生长 ,经 pH = 4 处理后的加拿大一枝黄花鲜叶内的过氧化物酶活性最高 ,而 pH = 7 和 pH = 10 的依次降低 ,其原因可能是随着土壤 pH 值增高 ,植物体受害加重 ,其体内的自由基产生增多 ,对过氧化物酶等的生物大分子攻击逐渐增强 ,从而使过氧化物酶的活性下降 ,同样也说明了加拿大一枝黄花适宜于 pH = 4 ~ 7 的中性及偏酸性条件下生长。在形态上 ,加拿大一枝黄花在 pH = 10 的浓度处理 5 d 后 ,地上部分茎弯曲 ,叶下垂变黄 ,第十五天时 ,整个植株接近萎蔫 ,而 pH = 4 和 pH = 7 处理后 ,植株生长基本正常 ,只是 pH = 4 处理的植株下部叶有些枯黄。以上说明 ,加拿大一枝黄花适宜生长在中性或偏酸性的土壤环境中。

表 2 不同 pH 值处理下的加拿大一枝黄花 3 种生理指标
Table 2 Three physiological traits of *Solidago canadensis* treated with different pH solutions

生理指标 Physiological traits	pH			差异显著性 Significance
	4	7	10	
脯氨酸 Proline(μg·g ⁻¹ FW)	129.5(2.02)	131.3(1.35)	138.2(5.20)	$F = 5.93$ $p < 0.05$
丙二醛 MDA(μmol·g ⁻¹ FW)	5.17(0.20)	5.30(0.24)	6.48(0.84)	$F = 5.68$ $p < 0.05$
过氧化物酶 POD(△OD·min ⁻¹ ·g ⁻¹ FW)	2.88(0.45)	2.40(0.55)	1.68(0.36)	$F = 5.17$ $p < 0.05$

括号内数据为标准差 The data in the brackets are standard deviation △OD :单位时间吸光度的变化值 Light absorbency change at unit time(图 3、图 4 和图 5 同此 Fig. 3 , Fig. 4 and Fig. 5 are those same as)

2.2 不同 NaCl 浓度处理对加拿大一枝黄花叶片生理指标影响

不同 NaCl 浓度处理后加拿大一枝黄花叶片内丙二醛含量和过氧化物酶活性见表 3。由表 3 可见,随着土壤中 NaCl 浓度的增加,加拿大一枝黄花叶片内丙二醛含量增加,过氧化物酶活性下降。在形态上,是在 0、0.02 mol·L⁻¹ NaCl 浓度处理后加拿大一枝黄花的形态反映良好,而 0.05 mol·L⁻¹ NaCl 溶液处理后,加拿大一枝黄花植株茎弯曲,下部黄叶增加。说明加拿大一枝黄花对土壤中 NaCl 敏感,不适于生长在含盐量高的土壤环境中。

2.3 土壤物理结构对加拿大一枝黄花根的生理指标影响

不同土壤条件下的加拿大一枝黄花丙二醛含量和过氧化物酶活性见表 4。由表 4 可见,壤土培养的加拿大一枝黄花,其根内丙二醛含量最低,过氧化物酶活性最高,而粘土中的丙二醛含量最高,过氧化物酶活性最低,说明加拿大一枝黄花适生于砂壤土、壤土环境,而不适生长于粘土、通气性差的环境。在形态上,种植于砂壤土和壤土中的根均长出新芽,根长度增长 11.0%~12.50%,鲜重增加 25%~35%,而在粘土中种植的根,部分死亡腐烂,不过存活者也能够长出少量新芽体。这一工作说明加拿大一枝黄

花可以通过根的无性繁殖来扩展种群,形成无性系植丛。

2.4 不同温度处理对加拿大一枝黄花叶片生理指标的影响

种植于不同温度条件下的加拿大一枝黄花,其叶片的可溶性糖、脯氨酸、丙二醛含量以及过氧化物酶活性测定结果见表 5。表 5 说明,加拿大一枝黄花在 38℃ 高温下受损程度最高,表现在体内脯氨酸含量、丙二醛含量最高,过氧化物酶活性最低。由于高温条件下过强的呼吸消耗,使其叶片内的可溶性糖含量下降。这说明加拿大一枝黄花适于偏低温的环境中。

2.5 不同温度处理对加拿大一枝黄花叶片 POD 同工酶谱的影响

从图 1 和表 6 可知,38℃ 处理后,加拿大一枝黄花 POD 同工酶酶带与正常温度下的相比,缺少了 R_f 0.094、R_f 0.276、R_f 0.431、R_f 0.467 四条带,增加了 R_f 0.369、R_f 0.394 两条带,且峰值明显增大,说明 38℃ 高温对加拿大一枝黄花影响很大,而 5℃ 处理后的加拿大一枝黄花与正常相比,只增加了 R_f 0.415 一条带,且峰值无明显变化,整个 POD 同工酶谱图也比较相似,这说明 5℃ 低温对加拿大一枝黄花影响相对较小。由于加拿大一枝黄花原产地在北半

表 3 不同 NaCl 处理下加拿大一枝黄花丙二醛(MDA)含量和过氧化物酶(POD)活性
Table 3 Contents of MAD and activity of POD of *Solidago canadensis* treated with NaCl solution of different concentrations

生理指标 Physiological traits	NaCl 处理 Treatments with NaCl (mol·L ⁻¹)			差异显著性 Significance
	0.00	0.02	0.05	
丙二醛 MDA (μmol·g ⁻¹ FW)	5.7(0.66)	7.29 (0.65)	8.0(0.29)	<i>F</i> = 13.15 <i>p</i> < 0.01
过氧化物酶 POD (△OD·min ⁻¹ ·g ⁻¹ FW)	3.9(0.57)	3.6(0.47)	2.2(0.58)	<i>F</i> = 7.57 <i>p</i> < 0.05

表 4 不同土壤条件下的加拿大一枝黄花丙二醛(MDA)含量和过氧化物酶(POD)活性
Table 4 Contents of MAD and activity of POD of *Solidago canadensis* planted in loamy , clay and sandy soils

生理指标 Physiological traits	土壤类型 Soil types			差异显著性 Significance
	壤土 Loamy soil	粘土 Clay soil	沙土 Sandy soil	
丙二醛 MDA (μmol·g ⁻¹ FW)	2.4(0.49)	3.96 (0.30)	3.2(0.39)	<i>F</i> = 10.56 <i>p</i> < 0.01
过氧化物酶 POD (△OD·min ⁻¹ ·g ⁻¹ FW)	4.1(0.43)	3.0(0.38)	3.4(0.14)	<i>F</i> = 7.91 <i>p</i> < 0.05

表 5 加拿大一枝黄花在不同温度下的 4 种生理指标
Table 5 Four physiological traits in *Solidago canadensis* treated under 5℃ , 25℃ and 38℃

温度 (℃) Temperature	可溶性糖(%) Soluble sugar	脯氨酸 Proline (μg·g ⁻¹ FW)	过氧化物酶 POD (△OD·min ⁻¹ ·g ⁻¹ FW)	丙二醛 MDA (μmol·g ⁻¹ FW)
5℃	1.2(0.12)	53.80 (13.70)	2.80 (0.13)	7.35 (0.64)
25℃	1.0(0.10)	15.00 (6.30)	2.70 (0.13)	5.29 (1.07)
38℃	0.6(0.18)	116.12 (19.50)	2.18 (0.23)	7.86 (0.54)
差异显著性 Significance	<i>F</i> = 17.87 <i>p</i> < 0.01	<i>F</i> = 38.57 <i>p</i> < 0.01	<i>F</i> = 11.52 <i>p</i> < 0.01	<i>F</i> = 9.04 <i>p</i> < 0.05

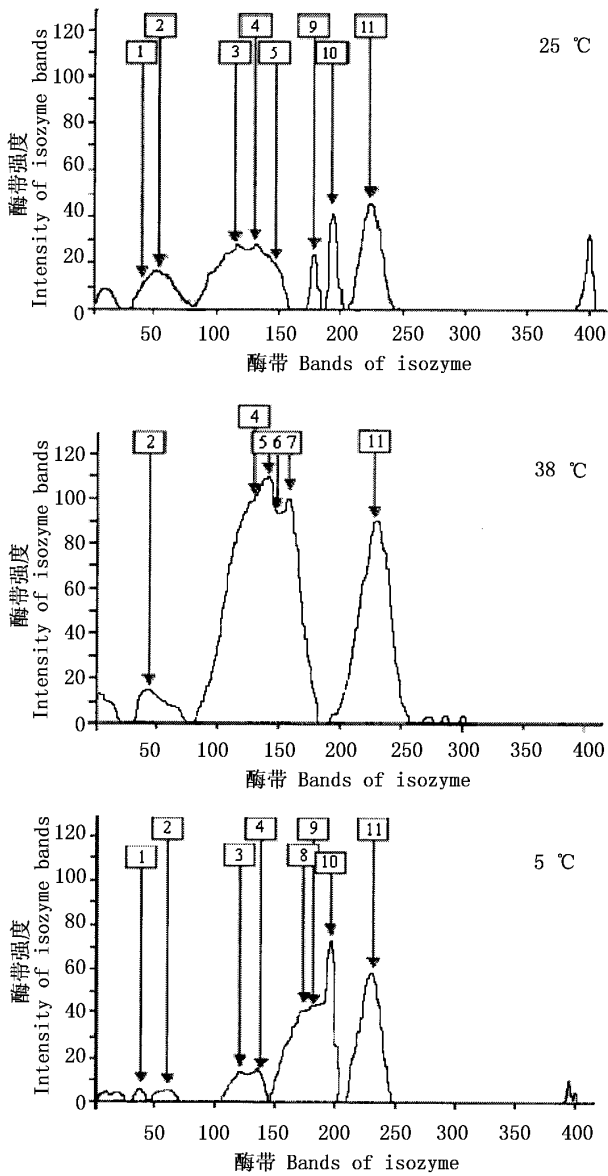


图1 25 °C、38 °C和5 °C处理后加拿大一枝黄花 POD同工酶谱
Fig.1 POD isozymogram of *Solidago canadensis* treated under 25 °C 38 °C and 5 °C
1 ~ 11 酶带的编号 No. of isozyme bands 同工酶的迁移率见表6 Their R_f values were listed in Table 6

球,其原产地的生长温度通常偏低,因此其对5 °C低温处理反应较小,表现出对低温有较强的适应能力。

3 讨论

野外调查表明,加拿大一枝黄花多分布在人为干扰严重的环境中。在上海、杭州地区,该种外来杂草多习见于开发区的撂荒地和铁路沿线地区。在早春,加拿大一枝黄花与一年蓬(*Erigeron annuus*)、毛茛(*Ranunculus japonicus*)、山莴苣(*Lactuca indica*)、波斯婆婆纳(*Veronica persica*)、雀麦(*Bromus japonicus*)、马兰(*Kalimeris indica*)等植物伴生。加拿大一枝黄

花无性繁殖能力极强,能够在定居点形成纯的种群,它们与上述植物在生态上的联系也仅表现在早春比较短的时间内。随着年生长时间的推移,加拿大一枝黄花种群迅速扩展,结果使这些早春植物很快退出竞争,而秋旱植物又由于加拿大一枝黄花生长形成的郁闭环境而难以进入,使秋夏期间形成比较纯的加拿大一枝黄花种群。

表6 不同温度处理后加拿大一枝黄花的 POD 同工酶迁移率
Table 6 POD isozyme R_f values of *Solidago canadensis* treated under 38 °C, 25 °C and 5 °C

酶带 Isozymic bands	同工酶迁移率 Isozyme R_f values		
	38 °C	25 °C	5 °C
Lane 1		0.094	0.092
Lane 2	0.107	0.131	0.143
Lane 3		0.276	0.290
Lane 4	0.322	0.317	0.333
Lane 5	0.349	0.354	
Lane 6	0.369		
Lane 7	0.394		
Lane 8			0.418
Lane 9		0.431	0.437
Lane 10		0.467	0.471
Lane 11	0.574	0.540	0.556

R_f : 迁移率 Migration rate of isozyme band

加拿大一枝黄花在 pH = 10 处理后脯氨酸和丙二醛含量最高,而过氧化物酶活性最低,在 pH = 4 处理后的这些指标均相反,形态观测也表明,加拿大一枝黄花在 pH = 10 处理后的生长状况最差,而 pH = 7 和 pH = 4 的均较好。随着土壤中 NaCl 浓度的增加,加拿大一枝黄花在形态和生理指标上均表现出受损现象。综上可知,加拿大一枝黄花适合于 pH = 4 ~ 7 的中性及偏酸性的土壤环境中生长,而且表现出对土壤中的 NaCl 比较敏感、不耐盐碱的特点;种植于粘土中的加拿大一枝黄花,其体内丙二醛含量最高,过氧化物酶活性最低,而在壤土和砂壤土中的情况相反,这可能与土壤的通气性和水分含量有关,暗示加拿大一枝黄花适生于通气性相对较好、土壤比较干燥的环境中。不同温度处理下过氧化物酶活性的测定和过氧化物同工酶谱分析均表明,38 °C 的高温比 5 °C 的低温对加拿大一枝黄花有更大的伤害作用,这与该外来杂草原产于北美温带地区、适于低温的生长环境有关。因此,在我国境内,加拿大一枝黄花将更有可能在亚热带、温带地区扩散。

参 考 文 献

Chen, T. (陈拓), L. Z. An (安黎哲), H. Y. Feng (冯虎元), J. H. Yang (杨景宏) & X. L. Wang (王勋陵). 2001. The effect of UV-B radiation on membrane lipid peroxidation and

- mechanisms in broad bean leaves. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **21**:579 ~ 583. (in Chinese with English abstract)
- He, Z. X. (何忠效) & S. Z. Zhang (张树政). 1999. Electrophoresis. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- Huang, H. O. (黄海鸥) & R. L. Zhou (周瑞莲). 1999. Physiological changes and high-temperature resistance of *Artemisia halodendron* and *A. frigida*. *Journal of Desert Research* (中国沙漠), **19**: 55 ~ 58. (in Chinese with English abstract)
- Institute of Plant Physiology of Shanghai, the Chinese Academy of Sciences (中国科学院上海植物生理研究所). 1999. Guide to modern plant physiological experiments. Beijing: Science Press. 74 ~ 78; 300 ~ 306. (in Chinese)
- Jiangsu Institute of Botany (江苏植物研究所). 1982. *Flora of Jiangsu* (2). Nanjing: Jiangsu Science and Technology Publishing House. 829 ~ 830. (in Chinese)
- Lu, Q. G. (陆庆光). 1999. Harm of biological invasion. *World Agriculture* (世界农业), **4**:38 ~ 39. (in Chinese)
- Peng, S. L. (彭少麟) & Y. C. Xiang (向言词). 1999. The invasion of exotic plants and effects of ecosystems. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), **19**: 560 ~ 569. (in Chinese with English abstract)
- Science & Technology Academy of Shanghai (上海科学院). 1999. *The plants of Shanghai* (Vol. 1). Shanghai: Shanghai Science & Technological Literature Publishing House. 606 ~ 607. (in Chinese)
- Yang, S. S. (杨淑缜) & J. F. Gao (高俊凤). 2001. Influence of active oxygen and free radicals on plant senescence. *Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica* (西北植物学报), **21**: 215 ~ 220. (in Chinese with English abstract)
- Zheng, C. Z. (郑朝宗). 1993. *Flora of Zhejiang* (Vol. 6). Hangzhou: Zhejiang Science and Technology Press. 225 ~ 226. (in Chinese)
- Zhong, H. (宗会), E. E. Liu (刘娥娥), Z. F. Guo (郭振飞) & M. Q. Li (李明启). 2001. Effects of LaCl_3 and CPZ on proline accumulation of rice seedling under drought and salt stresses. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), **27**: 173 ~ 177. (in Chinese with English abstract)

责任编辑: 曹坤芳 责任编辑: 张丽赫