

# 加拿大一枝黄花形态解剖学研究

王玉良<sup>1</sup>, 高瑞如<sup>2</sup>, 徐洲锋<sup>1</sup>, 王桂芹<sup>1</sup>

(1. 安徽科技学院 生命科学学院, 安徽 凤阳 233100; 2. 山西师范大学 生命科学学院, 山西 临汾 041004)

**摘要:** 利用光镜和电镜对金棒草的形态结构进行了研究。研究表明:金棒草叶具有厚的角质层和长的表皮毛,可以防止昆虫取食,叶片内有发达的维管束和束鞘延伸,增加了产物的输导能力;茎具有行使输导和支持能力强的结构特征:次生结构发达,具分隔纤维和附物纹孔,单穿孔占 94.9%,平穿孔板占 50.9%,互列式纹孔导管占 53.8%;主根地下逸生结构发达;成熟花粉粒外有胼胝质包被,有利于花粉传播,花粉粒属于较为进化的类型。

**关键词:** 加拿大一枝黄花; 形态; 解剖结构; 特征

**中图分类号:** Q944.53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2011)03-0323-05

## Morphoanatomical study of *Solidago canadensis*

WANG Yu-Liang<sup>1</sup>, GAO Rui-Ru<sup>2</sup>, XU Zhou-Feng<sup>1</sup>, WANG Gui-Qin<sup>1</sup>

(1. College of Life Science, Anhui Science and Technology University, Fengyang 233100, China;

2. College of Life Science, Shanxi Normal University, Linfen 041004, China)

**Abstract:** Morphological and anatomical characteristics of Canada goldenrod (*Solidago canadensis*) was studied by light microscope(LM)and scanning electron microscope(SEM). The result showed that its leaves had thicked cuticle and long epidermal hairs which could prevent it from feeding by insect, and developed vascular bundles with bundle sheath extension distribute in leaves, such structure could enhance conducting capability of photosynthate. Its stem had structural characters of high ability to transport and support, the characters could be described as follows: developed secondary structure with septate fiber and vested pit, simple perforation taking up 94.9%, level perforation plate 50.9%, and alternate pitting vessel 53.8%. Abundant adventitious structure derived from axial root underground in a early phase. Mature pollen grain, enveloped by callose and small in volume, belongs to evolutionary type.

**Key words:** Canada goldenrod; morphology ; anatomical structure; characteristic

加拿大一枝黄花(*Solidago canadensis*)也称金棒草(Canada goldenrod),是菊科(Asteraceae)一枝黄花属多年生草本植物,原产北美,1935年引入我国,20世纪80年代扩散蔓延,被列为外来入侵种(李振宇等,2002),在安徽被列为恶性杂草(陈明林等,2003)。因其危害较大,有关的研究也较多,如防治(顾贤永等,2006;马丽云等,2007)、生物学特性和形态描述(沈国辉等,2004;陈韦等,2010)、生态学以及综合性研究(郭水良等,2003;郭水良,2005;董梅

等,2006)等。

植物入侵能力与其性状之间的关系是寻求入侵种普遍特征的首要方面(黄建辉等,2003)。植物体内部结构和外部特征是最为主要的性状,入侵植物对生境适应和散布力是以内部结构作为基础的,探讨入侵植物结构与生态适应性、入侵机理的关系,对入侵植物的防范和治理具有一定的意义。本文采用野外观察、光镜和电镜等手段,对金棒草形态、器官结构进行了研究,旨在为加金棒草的防治提供解剖

收稿日期: 2010-08-01 修回日期: 2010-12-25

基金项目: 国家自然科学基金(39730100);安徽省教育厅自然科学基金(KJ2008B07ZC)[Supported by National Natural Science Foundation of China (39730100); Natural Science Foundation of Anhui Provincial Education Department(KJ2008B07ZC)]

作者简介: 王玉良(1965-),男,山东高密人,硕士,副教授,主要从事植物生态学、解剖学研究,(E-mail)wyl2663922@163.com.

学、形态学方面的依据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 实验材料

金棒草采自蚌埠市郊。选取新鲜植株主根、侧根尖端、茎中上部、地下茎具节部位和包括中脉叶的适当部位,切成 0.5 cm 左右的小段。

### 1.2 实验方法

1.2.1 石蜡切片 将材料清洗抽气后立即投入 FAA 中固定 24 h,梯度乙醇脱水,二甲苯透明,常规石蜡切片,切片厚度 8~12  $\mu\text{m}$ ,番红-固绿对染,暗视野显微镜(北京泰克 XS-200)和欧林巴斯显微镜(IX51)下观察、照相。

1.2.2 离析 采用硝酸-铬酸离析法进行离解、染色(李正理,1996):取茎木质部,切为约 1 mm 粗的小棒,置于硝酸-铬酸(1:1,V/V)离析液 48 h,之后去离析液,加入蒸馏水,用棒捣至絮状,离心(2 000 r/min,15 min),重复数次,直至无黄色色泽为止。材料经梯度乙醇脱水,100%乙醇中保存备用。吸管吸取少量材料,滴在载玻片中央,盖片,显微镜下观察离析材料中管状分子类型、测量长度、直径等指标,并记数(取 20 个视野平均值)。吸管吸取少量茎木质部离析材料,滴加在双面胶上,待乙醇挥发后,喷金,厚度约 10 nm,扫描电镜(日立 S-4100)下观察、照相。

1.2.3 叶表皮制片法 采用洪亚平等(2002)的制片方法并加以改进。在永久装片上观察气孔分布模式、表皮细胞特点,均选取视野中的 20 个表皮细胞。气孔指数计算公式: $I=(S/S+P)\times 100\%$ 。式中  $I$  为气孔器指数, $S$  为单位视野气孔数, $P$  为单位视野普通表皮细胞数。

1.2.4 叶表皮扫描电镜制法 用毛笔将叶片轻轻擦拭,去除灰尘,剪成 0.5 cm $\times$ 0.5 cm 小方块,双面胶固定在样品台上,喷金后扫描电镜下观察、照相。

## 2 金棒草的结构特征

### 2.1 叶

叶表面具有显著的纹饰,上、下表皮均有表皮毛,表皮毛由 3~4 个细胞纵向连接而成,上表皮毛最长可达 328  $\mu\text{m}$ ,下表皮毛最大达 253  $\mu\text{m}$ ,表皮毛沿叶脉分布较多(图版 I:1-2)。叶片表皮有 3 种细胞:一般表皮细胞(不规则形)、叶脉外方表皮细胞

(长方形)和气孔器保卫细胞(肾形),气孔排列为不规则型(图版 I:3),气孔数量在上下表皮存在差异,上表皮气孔率为 12.3%,下表皮为 17.2%。上表皮细胞角质层厚约 3.0  $\mu\text{m}$ ,下表皮角质层厚约 2.4  $\mu\text{m}$ 。

金棒草的叶为异面叶,叶片厚约 130  $\mu\text{m}$ ,栅栏组织细胞 1 层,叶脉分枝多而粗大,具显著束鞘和束鞘延伸(图版 I:4),束鞘和束鞘延伸均为薄壁细胞。叶和叶柄中有分泌道,分泌道周围明显环绕一圈不含叶绿体的上皮细胞(裂生型分泌道)。叶片中分泌道位于叶脉上方,并有薄壁细胞(传递细胞)与上表皮相连(图版 I:4),在叶柄中位于维管束上下(各 1 个,图版 I:5)。

### 2.2 茎

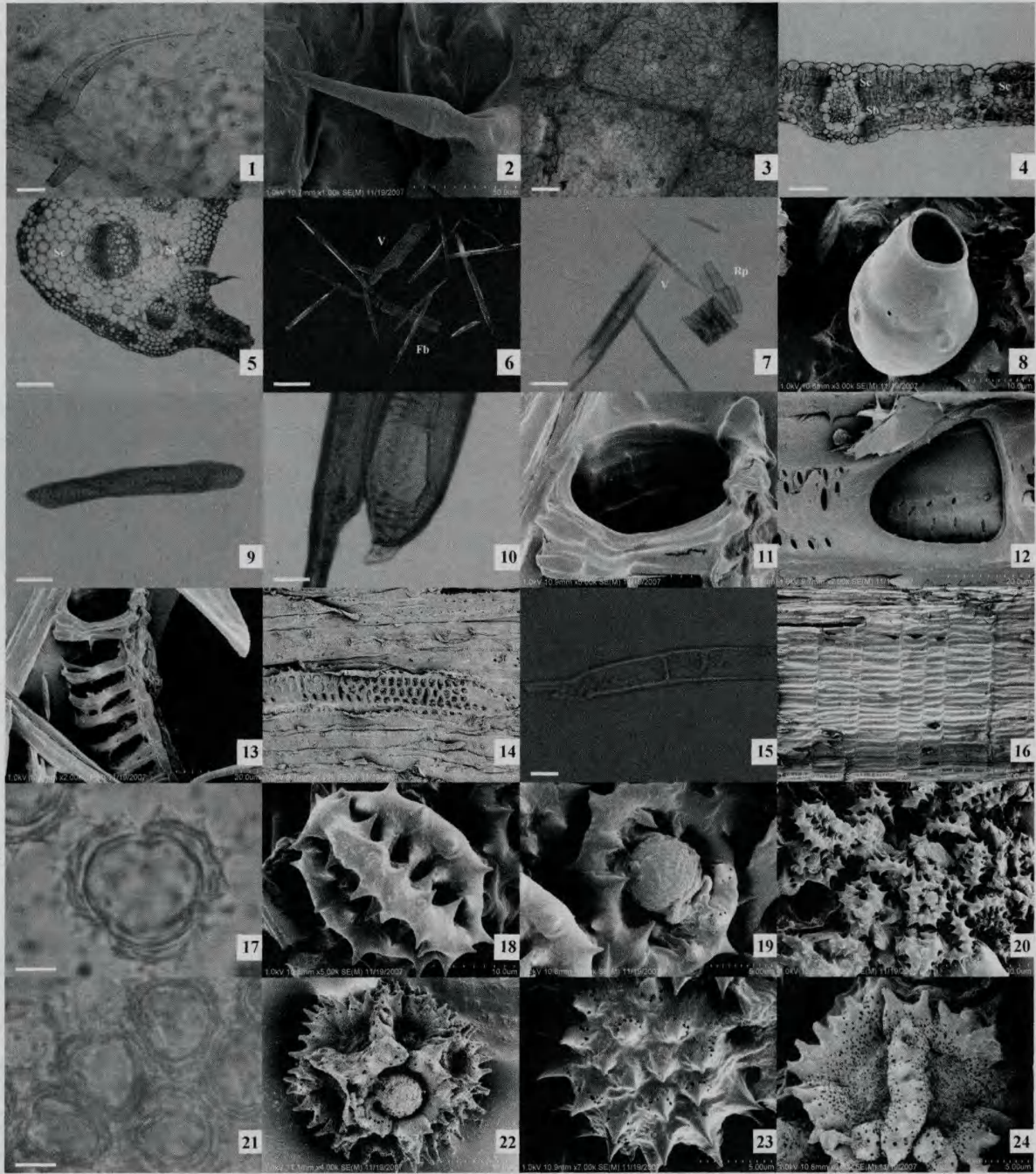
金棒草茎的次生结构中央具髓,成管状结构。茎木质部的离析材料主要包括导管纤维和薄壁细胞(包括射线薄壁细胞)(图版 I:6-8)。在 20 个视野中,共有导管 78 个,导管种类、穿孔板类型和纹孔排列呈现多样化(表 1,图版 I:9-13),部分导管具附物纹孔(图版 I:14),有少量分隔纤维出现(图版 I:15),维管形成层产生了大量叠生组织(图版 I:16)。单穿孔导管占 94.9%,互列式纹孔(图版 I:14)导管占 53.8%,导管穿孔板表现为进化特征(表 1, Bailey,1936),并出现了少量中部穿孔导管(图版 I:7,12)。

### 2.3 根

根的次生结构横切面中央,次生木质部占据很大的比例,导管直径最大可达 60  $\mu\text{m}$ 。主根生长至 10 cm 左右即停止发育,在主根周围产生少量侧根(6~12 条),也产生数量较多的根状茎,根状茎最多可达 14 条,最长达 328 cm。根状茎茎节和侧根上产生大量不定根。

### 2.4 有性繁殖器官

金棒草花序的构成方式为 10~18 朵管状花形成头状花序,3~5 朵头状花序再聚合为一蝎尾状聚伞花序,聚伞花序生于侧枝叶腋并下垂,单轴分枝的多数侧枝形成一大的圆锥花序。花粉为三沟型,沟宽约为 3.3  $\mu\text{m}$ ,深约为 3.5  $\mu\text{m}$ ,沟与赤道面平行,壁厚约为 3.5  $\mu\text{m}$ (均以 20 粒花粉平均值),花粉粒大小 17.6  $\mu\text{m}\times$ 21.4  $\mu\text{m}$ (极轴 $\times$ 赤道轴, $P\times E$ ),具有棘突 14~24 个,棘突约为 2.5  $\mu\text{m}\times$ 2.5  $\mu\text{m}$ (图版 I:17-20)。花药花粉粒外有胼胝体包被,即使成熟后,花粉粒还是存在于一个公共的胼胝体结构中(图版 I:21)。



图版 I Se:束鞘延伸; Sb:维管束鞘; Sc:分泌道; V:导管; Rp:射线薄壁组织; Fb:纤维。1. 沿叶脉分布的表皮毛(上表皮, Scale=50  $\mu\text{m}$ ); 2. 上表皮毛; 3. 表皮细胞和气孔分布(Scale=120  $\mu\text{m}$ ); 4. 叶片横切, 示束鞘、束鞘延伸和分泌道(Scale=50  $\mu\text{m}$ ); 5. 叶柄横切, 示分泌道(Scale=100  $\mu\text{m}$ ); 6, 7. 茎木质部离析物(Scale=100  $\mu\text{m}$ ); 8. 薄壁细胞; 9. 网状导管, 单穿孔板, 斜穿孔(Scale=100  $\mu\text{m}$ ); 10. 具尾尖的穿孔板(Scale=10  $\mu\text{m}$ ); 11. 单穿孔板; 12. 中部穿孔板; 13. 螺旋导管; 14. 导管的附物纹孔、互列纹孔式; 15. 分隔纤维(Scale=10  $\mu\text{m}$ ); 16. 维管形成层形成的迭生组织; 17. 金棒草花粉外形(Scale=5  $\mu\text{m}$ ); 18-20. 金棒草花粉形态; 21. 被胼胝体包围的花粉粒(Scale=10  $\mu\text{m}$ ); 22. 黄鹌菜花粉; 23. 一年蓬花粉; 24. 紫菀花粉。

Plate I Se: Vascular bundle sheath extension; Sb: Vascular bundle sheath; Sc: Secretory canal; V: Vessel; Rp: Ray parenchyma; Fb: Fiber. 1. Epidermal hairs along vein (Upper epidermis, Scale=50  $\mu\text{m}$ ); 2. Epidermal hair on upper epidermis; 3. Epidermal cell and distribution pattern of stoma (Scale=120  $\mu\text{m}$ ); 4. Transverse section of leaf, showing vascular bundle sheath extension, vascular bundle sheath and Secretory canals (Scale=50  $\mu\text{m}$ ); 5. Transverse section of petiole, showing secretory canals (Scale=100  $\mu\text{m}$ ); 6, 7. Xylem eductant of stem (Scale=100  $\mu\text{m}$ ); 8. Xylem parenchyma cell of stem; 9. Reticulate vessel with single, lean perforation plate (Scale=100  $\mu\text{m}$ ); 10. Perforation plate with mucronate (Scale=10  $\mu\text{m}$ ); 11. Single perforation plate; 12. Vessel with middle perforation; 13. Spiral vessel; 14. Vestured pits and alternate pitting of vessel; 15. Septate fiber (Scale=10  $\mu\text{m}$ ); 16. Storing tissue differentiate from vascular cambium; 17. Pollen of Canada goldenrod (Scale=5  $\mu\text{m}$ ); 18-20. Pollen of Canada goldenrod; 21. Pollen grain enveloped by callose (Scale=10  $\mu\text{m}$ ); 22. Pollen of *Y. japonica*; 23. Pollen of *E. amurus*; 24. Pollen of *A. tataricus*.

表 1 加拿大一枝黄花茎导管特征  
Table 1 Vessel characters of stem

| 序号<br>Code | 大小<br>Size( $\mu\text{m}$ ) | 穿孔板<br>Perforation | 纹孔排列<br>Pitting | 类型<br>Type | 数量<br>Quantity |
|------------|-----------------------------|--------------------|-----------------|------------|----------------|
| 1          | 580×18                      | 单、斜、平              | 对列              | 网纹         | 4              |
| 2          | 410×48                      | 单、平、平              | 对列              | 螺纹         | 5              |
| 3          | 350×40                      | 单、斜、斜、中            | 对列              | 螺纹         | 1              |
| 4          | 340×15                      | 单、斜、斜              | 互列              | 孔纹         | 3              |
| 5          | 300×14                      | 单、斜、斜              | 对列              | 网纹         | 4              |
| 6          | 230×47                      | 单、平、平              | 互列              | 孔纹         | 10             |
| 7          | 185×29                      | 单、斜、斜              | 对列              | 螺纹         | 8              |
| 8          | 185×25                      | 单、斜、斜              | 对列              | 网纹         | 5              |
| 9          | 185×23                      | 复、斜、斜              | 对列              | 网纹         | 4              |
| 10         | 110×28                      | 单、斜、斜              | 对列              | 螺—梯纹       | 5              |
| 11         | 100×28                      | 单、平、平              | 互列              | 孔纹         | 12             |
| 12         | 84×43                       | 单、平、平              | 互列              | 孔纹         | 11             |
| 13         | 58×40                       | 单、斜、斜              | 互列              | 孔纹         | 6              |

### 3 结构与功能的适应性分析

#### 3.1 叶

植物体表的表皮毛、叶片表面起伏较大的纹饰和厚的表皮角质层具有保护功能,与较低的气孔率一起构成阳生植物的典型特征,能够起到防止水分散失的作用(李正理等,1983),同时这些结构也降低了适口性,从而避免被某些动物取食。叶和叶柄中的分泌道位于维管束附近,附近有传递细胞,分泌物既可以通过维管束进行长距离运输,也可通过传递细胞进行有限的短途运输。金棒草的叶片提取物可以影响其他植物种子的萌发,其地上部分具有大量的皂苷和黄酮成分(方芳等,2004;左坚等,2006),这些成分是否就是分泌道上皮细胞的分泌物以及上皮细胞分泌物的确切功能,目前尚无报道。

植物的进化方向之一是向着更好地制造食物的方向发展(徐仁,1980)。金棒草叶片中仅有 1 层栅栏组织细胞,栅栏薄壁组织细胞发达,这种结构便于叶绿体充分接受光照,最大限度地利用光能。叶脉的束鞘能够扩大叶肉细胞和叶脉的接触面积,有利于物质交换。束鞘、束鞘延伸和其上的表皮细胞可以构成辅助输导系统(刘穆,2006),即一些物质通过束鞘延伸运输时,要比通过维管组织来得快。金棒草叶脉分布较密较粗,这可能与地下茎和地上花序养分的大量需要有关,即密而粗的叶脉分布能提高养分的运输效率和利用效率。

#### 3.2 茎

植物个体生长的目的在于完成生活史,金棒草

产生果实的数量是十分庞大的(黄洪武等,2007),这就要求加强上部的承载能力,同时,大量花和果实的产生,也增加了对茎的养料输导的依赖。茎的管状结构对于茎行使功能是一种既省才又有效的结构(刘穆,2006),次生结构的过早产生,对于茎行使支持功能、特别是开花之后多量的花序的支持是有益的,也能满足对植株上部大量叶片、特别是花序的水分和养料的运输要求。

输导组织是植物体核心,其结构和组成决定支持和运输功能的完成。较大比例纤维的出现与加强支持有直接的作用,而分隔纤维被认为是纤维中行使支持功能最为进化的结构,粗而短的导管壁上互列式排列的纹孔、附物纹孔、单穿孔板和单穿孔是输导水分和营养物质效率最高的结构(愈诚鸿,1954),中部穿孔导管说明导管之间连接的多样性。金棒草茎的结构能够满足支持和输导这两项功能。同时,这些结构的组合,为它的侵入、定居和适应不同的生态环境提供了可靠的结构基础。

#### 3.3 根

成功的入侵和定居必然会与本地物种形成资源和空间的竞争。植物之间的地下竞争远大于地上竞争,竞争能力强的植物一般具有发达的根系。与其他菊科外来杂草相比,加拿大一枝黄花地下部分的长度、表面积、体积等指标最大,在地下部分形态上具有广泛的逸生结构(黄华等,2005)。这些逸生结构包括根状茎、根状茎产生的不定根、主根和侧根产生的不定根等。加拿大一枝黄花主根的过早停止发育对于其吸收和地下竞争是有利的:一方面,主根停止发育可以促进不定根和根状茎的发育,而根状茎的横向扩展范围要比主根和侧根扩展范围大得多,也就能在更广的范围内吸收水分和养分;另一方面,由于根状茎是营养繁殖体,根状茎的扩展也就意味着克隆植物体的扩展,这对于其入侵和定居是有利的,是对体内物质资源的合理分配和利用。

#### 3.4 花粉

对同为晚秋开花的菊科杂草金棒草、黄鹌菜、一年蓬紫菀的花粉进行扫描电镜观察(图版 I:22-24),并与一枝黄花的花粉(张金谈等,1965)进行了比较(表 2)。从最长轴来看,金棒草的花粉粒无论赤道轴(E)或极轴(P)都小于其他花粉粒,最长轴也最短,其花粉粒体积最小,这种花粉粒属于小的花粉粒,是较为进化的类型(Walker,1976)。Covas 和 Schnack(1935)认为花粉粒相对体积的缩小过程是

一个进化趋势,由于较高等的植物中代谢率较高,因此在花粉内只需储藏少量的养料即足以供给花粉管生长所需能量。

表 2 12 种菊科植物花粉的比较

Table 2 Pollens contrast of 12 species in Compositae

| 种<br>Species                       | 极轴                | 赤道轴(μm)              | P/E  | 类型<br>Type |
|------------------------------------|-------------------|----------------------|------|------------|
|                                    | Polar<br>axis(μm) | Equato-<br>rial axis |      |            |
| 紫菀 <i>Aster tataricus</i>          | 26.1              | 28.7                 | 0.91 | 近球型        |
| 一年蓬 <i>Erigeron annuus</i>         | 20.1              | 21.8                 | 0.92 | 近球型        |
| 一枝黄花<br><i>Solidago canadensis</i> | 17.6              | 21.4                 | 0.82 | 扁球形        |
| 黄鹌菜 <i>Youngia japonica</i>        | 20.5              | 21.7                 | 0.94 | 近球型        |

### 3.5 营养繁殖器官

金棒草有两种散布体:果实和根状茎。两种繁殖方式对入侵起到了不同的作用:有性繁殖负责其长距离扩散和种群的初期建群,无性繁殖则更多地负责局域种群的生存壮大(董梅等,2006)。地下茎节间长度平均约为 1 cm,每个节都有一个定芽,每一根状茎顶端具有顶芽。一般情况下,节部的定芽为潜伏芽,顶芽在活动季节始终处于生长状态,因此每株加拿大一枝黄花的地下部分具有上百个芽,理论上每个包括节的部分都是一个潜在的无性繁殖体(散布体)。有资料统计其无性系分株密度可达数百株/m<sup>2</sup>(Bradbury,1981;铃木准一郎,2003),地下茎节上的不定根可以行使吸收功能。正常情况下,顶芽第二年萌发,形成独立的地上部分,以此种方式进行扩展,一株加拿大一枝黄花一般 2~3 年就可以形成单一植物物种形成的小群落。如遇到机械损伤或除草等活动,根状茎被切断,则可使休眠的侧芽提前进入活动状态,并形成地上部分,扩散繁殖、成片生长。

## 4 结束语

入侵植物具有对异质性环境的快速适应能力和快速进化的特点(Blossey & Notzold,1995)。异质性生活环境会对入侵植物的生理和形态结构产生影响,入侵植物也会对影响发生反应,包括生理上的变化和结构上的改变,而形态是由生理机能决定的,生理的变化随后会引起形态结构的变化(徐仁,1980)。金棒草的结构可以在不同的环境因子影响下发生一定程度的改变,如不同水因子下气孔率的高低、不同光因子下角质层的厚薄等。这在其它入侵植物中已经得到了证明(姜远来等,2005)。叶片在防护、同化

和输导方面具有一些典型特征,茎具有完成支持、输导和资源分配的高效结构,地下部分适宜营养繁殖体的产生,花、花序和小孢子有程度较高的进化特征,这是其入侵和扩布的结构基础。

### 参考文献:

- 李正理,张新英. 1983. 植物解剖学[M]. 北京:高等教育出版社:106
- 李正理. 1996. 植物组织制片学[M]. 北京:北京大学出版社:45-59
- 李振宇,解焱. 2002. 中国外来入侵种[M]. 北京:中国林业出版社:170
- 刘穆. 2006. 种子植物形态解剖学导论[M]. 第 3 版. 北京:科学出版社:179-246
- 铃木准一郎. 2003. 克隆植物无性系分株间相互作用及储藏物质对种群结构的影响[M]//李承森. 植物研究进展(五). 北京:高等教育出版社:223-233
- 徐仁. 1980. 生物史(2)——植物的发展[M]. 北京:科学出版社:90-220
- Bailey IW. 1936. The problem of differentiating and classifying tracheids, fiber-tracheids, and libriform wood fibers[J]. *Trop Woods*, 45:18-23
- Blossey B, Notzold R. 1995. Evolution of increased competitive ability in invasive non indigenous plants: a hypothesis[J]. *J Ecol*, 83:887-889
- Bradbury IK. 1981. Dynamics, structures and performance of shoot population of the rhizomatous herb *Solidago canadensis* in the abandoned pasture[J]. *Oecologia*, 48:271-276
- Chen W(陈韦), Shang HW(商晗武), Gao YS(高永生), et al. 2010. The flower and pollen morphology of *Solidago*(一枝黄花属植物的花及花粉形态)[J]. *Guihaia*(广西植物), 30(1):57-61
- Chen ML(陈明林), Zhang XP(张小平), Su DS(苏登山). 2003. A preliminary study on the invasive weeds in Anhui(安徽省外来杂草的初步研究)[J]. *J Biol*(生物学杂志), 6:24-27
- Dong M(董梅), Lu JZ(陆建忠), Zhang WJ(张文驹), et al. 2006. Canada goldenrod(*Solidago canadensis*): An invasive alien weed rapidly spreading in China(加拿大一枝黄花——一种正在迅速扩张的外来入侵植物)[J]. *Acta Phytotax Sin*(植物分类学报), 44(1):72-85
- Fang F(方芳), Guo SL(郭水良), Huang LB(黄林兵). 2004. Allelopathic effects of the invasive plant *Solidago canadensis*(入侵杂草加拿大一枝黄花的化感作用)[J]. *Ecol Sci*(生态科学), 23(4):331-343
- Guo SL(郭水良). 2005. *Solidago canadensis* niche and influences of its invasion on plant communities(加拿大一枝黄花的生态位及其入侵对植物群落的影响)[J]. *J Biomat*(生物数学学报), 20(1):91-96
- Guo S(郭水良), Fang F(方芳), Qiang S(强胜). 2003. Influences of temperature on physiological indices of seven exotic weeds and their adaptive significance(不同温度对七种外来杂草生理指标的影响及其适应意义)[J]. *Guihaia*(广西植物), 23(1):73-76
- Gu XY(顾贤永), Huang FG(黄付根), Ge YL(葛玉林), et al. 2006. Biological characteristics and prevention countermeasure of (下转第 337 页 Continue on page 337)

- 冈栎叶片形态特征及对环境的适应[J]. *Guihaia* (广西植物), **24**(4): 317-322
- Diao NH(刁乃宏). 2006. Remarkable benefit of planting *Amorpha fruticosa* to prevent soil erosion(种植紫穗槐防止水土流失效益显著)[J]. *Heilongjiang Sci Tech Water Conservancy* (黑龙江水利科技), **34**(5): 120
- Fei SL(费松林), Fang JY(方精云), Fan YJ(樊拥军). 2003. Anatomical characteristics of leaves and woods of *Fagus lucida* and their relationship to ecological factors in Mountain Fanjingshan, Guizhou, China(贵州梵净山亮叶水青冈叶片和木材的解剖学特征及其与生态因子的关系)[J]. *J Integr Plant Biol* (植物学报), **41**(9): 1 002-1 009
- Hsiao TC. 1973. Physiological effects of plant in response to water stress[J]. *Ann Rev Plant Physiol*, **24**: 519-570
- He JS(贺金生), Chen WL(陈伟烈), Wang XL(王勋陵). 1994. Morphological and anatomical features of *Quercus Section Suber* and its adaptation to the ecological environment(高山栎叶的形态结构及其与生态环境的关系)[J]. *Acta Phytocol Sin* (植物生态学报), **18**(3): 219-227
- Li FL(李芳兰), Bao WK(包维楷), Liu JH(刘俊华). 2006. Eco-anatomical characteristics of *Sophora davidii* leaves along an elevation gradient in upper Minjiang River(岷江上游干旱河谷海拔梯度上白刺花叶片生态解剖特征研究)[J]. *Chin J Appl Ecol* (植物学报), **17**(1): 5-10
- Li Y(黎裕). 1993. The identification methods and indexes on drought-resistant crop [J]. *Agric Res Arid Areas* (干旱地区农业研究), **11**(1): 91-99
- Wang YG(王玉国), Li GZ(李光照), Zhang WJ(张文驹), et al. 2007. Leaf epidermal features of *Rhododendron* (Ericaceae) from China and their systematic significance(中国杜鹃花属的叶表皮特征及其系统学意义)[J]. *Acta Phytotax Sin* (植物分类学报), **45**(1): 1-20
- Yang YH(杨有海), Xia Q(夏琼), Su ZZ(苏在朝), et al. 2004. Skeleton slope protection with planting *Amorpha fruticosa* to regulate topsoil slip diseases on loess embankment slope(骨架护坡配合种植紫穗槐整治黄土路堤边坡浅层溜坍病害)[J]. *Subgrade Engineering* (路基工程), (4): 75-76
- Zhang HX(张红霞), Liu GH(刘果厚), Cui XP(崔秀萍). 2005. Affection of aridity to anatomical structure of leaf of *Ulmus pumila* var. *sabulosa* (干旱对浑善达克沙地榆叶片解剖结构的影响)[J]. *Bull Bot Res* (植物研究), (1): 39-45
- Zhang XY(张晓艳), Wang HM(王惠敏), Hou ZD(侯宗东), et al. 2003. Stomatal densities and distributions of spring wheat leaves under different planting densities and soil moisture levels (土壤水分和种植密度对春小麦叶片气孔的影响)[J]. *Acta Phytocol Sin* (植物生态学报), **27**(1): 133-136
- Zhang WA(张文安), Xu DD(徐大地), Liu YY(刘友云). 2001. The soil and water conservation effects of *Vetiveria zizanioides*, *Vetiveria zizanioides* (Linn.) Nash and *Amorpha fruticosa* L. on yellow sloping field(黔中黄壤丘陵旱坡地香根草、紫穗槐的水土保持效应)[J]. *Guizhou Ethnic Studies* (贵州农业科学), **29**(2): 41-42

(上接第 327 页 Continue from page 327)

- Solidago canadensis* (加拿大一枝黄花生物学特性及防除对策)[J]. *Auhui Agric Sci Bull* (安徽农学通报), **12**(9): 166
- Hong YP(洪亚平), Chen ZD(陈之端). 2002. Improvement on NaOCl method used for the liable-to-roll-up leaf epidermis(易卷曲叶表皮切片技术(NaOCl法)的改进)[J]. *Chin Bull Bot* (植物学通报), **19**(6): 746-748
- Huang HW(黄洪武), Dong LY(董立尧), Li J(李俊), et al. 2007. Research progress on *Solidago canadensis* (An alien invasive weed)(外来入侵植物加拿大一枝黄花的研究进展)[J]. *Weed Sci* (杂草科学), **2**: 6-9
- Huang H(黄华), Guo SL(郭水良). 2005. Study on reproductive biology of the invasive plant *Solidago canadensis* (外来入侵植物加拿大一枝黄花繁殖生物学研究)[J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **25**(11): 2 795-2 803
- Huang JH(黄建辉), Han XG(韩兴国), Yang QE(杨亲二), et al. 2003. Fundamentals of invasive species biology and ecology (外来种入侵的生物学与生态学基础的若干问题)[J]. *Biodiv Sci* (生物多样性), **11**(3): 240-247
- Lou YL(娄远来), Shen JL(沈晋良). 2005. Anatomical study on vegetative organs and ecological adaptation of *Alternanthera philoxeroides* (水花生的根茎叶形态解剖特征及生态适应性)[J]. *Jiangsu J Agric Sci* (江苏农业学报), **21**(4): 277-282
- Ma LY(马丽云), Yang HJ(杨红江), Du XJ(杜晓君), et al. 2007. Experiments of different medicament on controlling *Solidago canadensis* (不同药剂防除加拿大一枝黄花试验总结)[J]. *Weed Sci* (杂草科学), **2**: 56-57
- Shen GH(沈国辉), Qian ZG(钱振官), Chai XL(柴晓玲), et al. 2004. Study on seed biological characteristics of *Solidago canadensis* (加拿大一枝黄花种子生物学特性研究)[J]. *Acta Agric Shanghai* (上海农业学报), **20**(4): 105-107
- Walker JW. 1976. Comparative pollen morphology of the Ranalean complex[M]//Beck CB(ed). Origin and early Evolution of Angiosperms. New York: Columbia University Press: 241-299
- Yu CH(俞诚鸿). 1954. On the evolution of secondary xylum and its significance in plant phylogeny(次生木质部的进化与植物系统发育的关系)[J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), **3**(2): 183-196
- Zhang JT(张金谈), Wang JL(王嘉林). 1965. Pollens morphology of main nectar plants in China(中国蜜源植物划分形态)[J]. *Acta Bot Sin* (植物学报), **13**(4): 339-374
- Zuo J(左坚), Liu XY(刘学医). 2006. Identification of *Solidago canadensis* (加拿大一枝黄花的生药学鉴定)[J]. *Chin Med J Res Prac* (现代中药研究与实践), **20**(3): 33-34