

贵州省茅台镇砂页岩结皮层藓类植物的生态功能*

潘 莎¹ 王智慧¹ 张朝晖^{1,2**} 郭坤亮³

(¹贵州师范大学生命科学学院, 贵阳 550001; ²贵州省山地环境信息系统与生态环境保护重点实验室, 贵阳 550001; ³中国贵州茅台酒厂(集团)公司, 贵州仁怀 564501)

摘 要 对贵州省茅台镇砂页岩结皮层藓类植物物种进行了调查,并测定了其优势植物的生物量、成土量和饱和吸水量,以了解藓类植物在水土流失防治中的作用。调查发现:藓类植物 5 科 6 属 6 种。优势结皮藓类植物华中毛灰藓、厚壁紫萼藓、小叶藓、真藓的生物量、成土量和饱和吸水量分别为 $0.5 \sim 104 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $1.6 \sim 481 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 和 $2.8 \sim 1987 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, 其中,华中毛灰藓的生物量、成土量和饱和吸水量均远远高于其他结皮藓类,在砂页岩水土流失区域生物土壤结皮层中起着关键性的作用,对治理砂页岩水土流失具有重要的意义。

关键词 砂页岩; 生物结皮; 藓类植物; 水土流失治理

中图分类号 Q948 **文献标识码** A **文章编号** 1000-4890(2011)9-1930-05

Ecological functions of sandy shale moss crust in Maotai Town of Guizhou Province, Southwest China. PAN Sha¹, WANG Zhi-hui¹, ZHANG Zhao-hui^{1,2**}, GUO Kun-liang³ (¹School of Life Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; ²Key Laboratory for Information System of Mountainous Area and Protection of Ecological Environment of Guizhou Province, Guiyang 550001, China; ³The Kweichow Moutai Distillery, Renhuai 564501, Guizhou, China). *Chinese Journal of Ecology*, 2011, **30**(9): 1930–1934.

Abstract: An investigation was conducted on the moss species in the biotic crust of sandy shale in Maotai Town of Guizhou Province, and the biomass, pedogenesis amount, and saturated water absorption amount of dominant moss species were measured, aimed to understand the role of moss crust in soil and water loss control. Six moss species were recorded, belonging to 6 genera of 5 families, among which, *Homomallium plagiangium*, *Grimmia sessitana*, *Epipterygium tozeri*, and *Bryum argenteum* were the dominant species. The biomass, pedogenesis amount, and saturated water absorption amount of the four dominant moss species ranged in $0.5\text{--}104 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, $1.6\text{--}481 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, $2.8\text{--}1987 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$, respectively, and were far higher for *H. plagiangium*, suggesting its key role in the formation of soil biotic crust on the sandy shale, and its significance in the water and soil loss control in study area.

Key words: sandy shale; biotic crust; moss; soil and water loss control.

贵州省茅台镇是“国酒茅台”的产地,茅台酒除了其特殊的酿造工艺技术外,环境资源优势是茅台酒不可取代的核心竞争力,其异地酿造的失败,充分印证了茅台的生态环境决定着茅台酒的优良品质(张文平,2006)。然而,茅台镇由于市镇建设的无序发展,人口的不断增加等带来资源过度消耗、环境恶化、生态失衡等一系列问题,直接影响着茅台酒的发展(范光先和吕云怀,2004)。因此,对茅台镇生

态环境的保护受到高度关注。

茅台地质结构主要是侏罗白垩系紫色砂页岩和砾岩,砂页岩岩性较松软,胶结物以碳酸钙为主,吸热强,岩面和风化壳表面夏季最高温度可达 $60 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$,在晚上放热快,温度只有 $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,一胀一缩,易破裂。当雨水含有 CO_2 时,雨水将碳酸钙溶解,紫色砂页岩便形成碎屑。成土后,属非石质中壤土,粉沙含量占 $2/3$ 以上,砂粒较少,粘粒只有 $2\% \sim 3\%$,故极为松散,易为暴雨径流冲刷带走(张龙,2002),加上人为因素影响等,导致茅台镇水土流失严重,当地生态环境正面临着巨大的威胁。

* 贵州茅台科技联合基金项目[黔科合茅科联字(2009)7008]和贵州师范大学博士科研启动基金资助。

** 通讯作者 E-mail: academicleife@126.com

收稿日期: 2011-02-15 接受日期: 2011-05-28

砂页岩区是世界公认的三大难利用地之一,其土层薄、抗蚀能力差是制约造林的主要因素,20 世纪 60 年代以来,在砂页岩水土流失区几番造林,成效均不显著,成活率及保存率不到 10% (任兵芳,2004)。由此可见,采用种植林木的方式来治理砂页岩水土流失存在很大困难。因此,必须先借助一些耐旱性、石生性的先锋植物来为其他的物种创造生存的条件。

生物结皮广泛分布在中国的西部和北部地区(刘丽燕等,2005),是由各种苔藓、地衣、藻类、真菌及细菌等共同组成的一种复合生物土壤层(West,1990;Belnap *et al.*,1994)。近年来,很多学者就生物结皮在集水造林、荒漠化固沙、喀斯特石漠化治理以及退化生态系统恢复中的作用做了大量的研究(李新荣等,2000;吴玉环等,2002;Veste,2005;Yang *et al.*,2005;李冰和张朝晖,2009;张显强等,2010),但有关生物结皮在砂页岩水土流失治理中的作用鲜有报道。

苔藓植物由于其适应能力广泛、具有强大的吸水 and 保水功能、能分泌酸性物质使岩石土壤化等,使其成为演替过程中的先锋植物,它在土壤结皮的形成、生物防沙、固沙、保持水土、涵养水源及生态小环境的改善中都发挥着不可替代的作用(Pócs,1982;Walton,1993;Eldridge & Tozer,1996),且藓类植物对结皮层的稳定和维持起着关键性作用,藓类植物的定居决定着生物土壤结皮层的发展方向。藓类结皮层一旦形成,苔藓植物结皮比藻结皮具有更强的抗风蚀、水蚀及抗干扰能力,同时更有利于维管植物的定居和生长。野外调查发现,在贵州省茅台镇砂页岩水土流失区域,生物结皮主要是以苔藓植物中的藓类植物为主,因此,选取砂页岩水土流失区域的藓类结皮层作为研究对象,对结皮层的藓类植物物种组成、优势种的生物量、吸水量和成土量等进行测定,以期为砂页岩水土流失的治理开辟一条新的途径,并积累基础数据和资料。

表 1 砂页岩结皮藓类植物的物种组成
Table 1 Species composition of moss crust in sandshale

科	属	种	种的出现频度(%)
灰藓科 Hypnaceae	毛灰藓属 <i>Homomallium</i>	华中毛灰藓 <i>H. plagiangium</i>	92
丛藓科 Pottiaceae	毛口藓属 <i>Trichostomum</i>	毛口藓 <i>T. brachydontium</i>	2
紫萼藓科 Grimmiaceae	紫萼藓属 <i>Grimmia</i>	厚壁紫萼藓 <i>G. sessitana</i>	23
真藓科 Bryaceae	小叶藓属 <i>Epipterygium</i>	小叶藓 <i>E. tozeri</i>	22
	真藓属 <i>Bryum</i>	真藓 <i>B. argenteum</i>	18
缩叶藓科 Ptychomitriaceae	缩叶藓属 <i>Ptychomitrium</i>	中华缩叶藓 <i>P. sinense</i>	2

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于贵州省仁怀市茅台镇,地理坐标为 27°50'N,106°20'E,地处赤水河岸的山上,冬暖夏热,年平均温度 17.4℃;炎热季节长,为半年以上;无霜期长,平均为 326 d;年降雨量 800~1000 mm。研究区极度干燥,植被稀少,大部分区域都是裸露的砂页岩,水土流失非常严重,裸露砂页岩表面的覆盖物主要是藓类植物结皮,藓类植物在砂页岩表面呈斑块状分布,生活型为交织型和矮丛集型。

1.2 样品采集

于 2010 年 1 月对研究区实地考察,随机选取 4 个 5 m×5 m 的样地并在 10 cm×10 cm 的小样方内采集裸露砂页岩表面的藓类植物结皮和结皮层下所有的泥土,共采集样品 60 份,分别装入 19 cm×13 cm 封闭式聚丙烯塑料袋,野外记录藓类植物结皮的生境,每个小样方用网格法测定其盖度,然后带回实验室备用。

1.3 样品鉴定和分析

1.3.1 苔藓植物的鉴定 借助中国和国际苔藓植物志及相关分类工具书,利用光学显微镜,实体解剖镜分析并鉴定苔藓植物标本。

1.3.2 优势种生物量、饱和吸水量等的分析 根据鉴定结果,选取优势种(华中毛灰藓、厚壁紫萼藓、小叶藓、真藓)进行生物量、饱和吸水量等的测定,由于选取的优势种在所采集的 60 份样品中都出现了 3 次以上(表 1),因此实验时每个种 3 次重复。采集的 60 份样品中得到 11 份不同种类组成的藓类样品,因所采到的结皮层有的是纯群落,有的是混生群落,对于混生群落的物种对其进行分离。

具体的测试方法是:混生群落的物种进行物种分离,去除结皮层中杂物,称量结皮层总重,并测量结皮层厚度,将苔藓植物与基质分开、洗净,将洗净的苔藓植物放于 60℃烘箱烘干 48h 后使用电子

天平称量其干重,然后将称量完干重的苔藓植物浸泡在清水里充分吸水后放置于细网上至不滴水时使用同一天平称量其饱和吸水重。

1.4 数据处理

藓类植物生物量、饱和吸水量等的计算参照徐杰等(2003)的计算公式:

藓类生物量($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)= 藓类干重($\text{g} \cdot \text{dm}^{-2}$) \times 藓类盖度(%) $\times 100$

藓类成土率=[结皮层总重($\text{g} \cdot \text{dm}^{-2}$)-藓类干重($\text{g} \cdot \text{dm}^{-2}$)]/藓类干重($\text{g} \cdot \text{dm}^{-2}$) $\times 100\%$

藓类成土量=藓类生物量($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) \times 藓类成土率(%)

饱和吸水率(%)=[藓类饱和吸水重($\text{g} \cdot \text{dm}^{-2}$)-藓类干重($\text{g} \cdot \text{dm}^{-2}$)]/藓类干重($\text{g} \cdot \text{dm}^{-2}$) $\times 100\%$

饱和吸水量($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)= 藓类生物量($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$) \times 饱和吸水率(%)

用软件 SPSS 10.0 进行 Pearson 相关分析和作图。

2 结果与分析

2.1 砂页岩生物结皮层藓类植物物种组成

由表 1 可见,研究区域有苔藓植物 5 科 6 属 6 种,全部为藓类植物,未发现苔类和角苔的存在。该研究区域砂页岩结皮藓类组成极为单调,其主要原因可能是该区域是集干旱、贫瘠和人类强烈活动影

响于一体的一类特殊生境,只有那些在繁殖、形态和生理上适应极端环境的苔藓植物才能有这样恶劣的环境得以生存、繁衍、发展。

对 60 份藓类植物结皮层的物种出现频度统计发现,华中毛灰藓的出现频度为 92%,厚壁紫萼藓的出现频度为 23%,小叶藓的出现频度为 22%,真藓的出现频度为 18%,毛口藓和中华缩叶藓的出现频度均仅为 2%。因此,华中毛灰藓、厚壁紫萼藓、小叶藓、真藓比较适合在砂页岩水土流失区域生长,可作为治理砂页岩水土流失的主要藓类植物。

2.2 生物结皮层藓类植物生物量、成土量和吸水量

由表 2 可知,华中毛灰藓、厚壁紫萼藓、小叶藓和真藓藓类结皮的生物量分别为 104.0、1.1、0.8 和 0.5 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$,成土量分别为 481.0、3.1、1.6 和 1.6 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$,饱和吸水量分别为 1987、5.7、16.8 和 2.8 $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$,其饱和吸水率分别为 1910%、542%、2000% 和 575%。

苔藓植物在砂页岩上生物量的多少是物种在该生态系统中发挥作用的关键,在所测藓类结皮中,华中毛灰藓的生物量最大,成为砂页岩上最主要的生产者,对于生物结皮的稳定,抵御风蚀、水蚀起着关键性作用,具有治理砂页岩水土流失的巨大潜能。其他藓类的生物量虽然较低,但它们对于维持该地区生物结皮的稳定发育,构筑结皮的多样性结构,增加物种组成,改善局部微环境,促进生物结皮的稳定发育起着重要作用。由表 3 可见,结皮层藓类植物

表 2 苔藓植物结皮生物量、成土量和吸水量
Table 2 Biomass, pedogenesis amount and water absorption amount in moss crust

结皮名称	结皮层总重 (g)	结皮层厚度 (mm)	干重 (g)	饱和吸水重 (g)	生物量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	成土率 (%)	成土量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)	饱和吸水率 (%)	饱和吸水量 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)
华中毛灰藓	5.85 \pm 0.52	6.0 \pm 0.6	1.04 \pm 0.08	20.9 \pm 1.9	104.0 \pm 7.9	462.5 \pm 12.6	481.0 \pm 44.5	1910 \pm 65	1987.0 \pm 186.1
厚壁紫萼藓	0.27 \pm 0.03	5.0 \pm 0.6	0.07 \pm 0.01	0.5 \pm 0.0	1.1 \pm 0.2	285.7 \pm 46.1	3.0 \pm 0.5	542 \pm 42	5.7 \pm 0.6
小叶藓	0.20 \pm 0.03	3.0 \pm 0.6	0.07 \pm 0.02	1.5 \pm 0.4	0.8 \pm 0.4	185.7 \pm 31.5	1.6 \pm 0.4	2000 \pm 100	16.8 \pm 7.0
真藓	0.17 \pm 0.04	3.0 \pm 0.2	0.04 \pm 0.01	0.3 \pm 0.1	0.5 \pm 0.1	325.0 \pm 34.7	1.6 \pm 0.5	575 \pm 57	2.8 \pm 0.9

n=3。

表 3 藓类植物结皮层各指标的相关性分析
Table 3 Correlation analysis of moss crust indexes

	结皮层总重	结皮层厚度	干重	饱和吸水重	生物量	成土率	成土量	饱和吸水率	饱和吸水量
结皮层总重	1	0.787	1.000**	0.998**	1.000**	0.859	1.000**	0.537	1.000**
结皮层厚度		1	0.787	0.764	0.780	0.747	0.780	0.146	0.777
干重			1	0.999**	1.000**	0.848	1.000**	0.551	1.000**
饱和吸水重				1	0.999**	0.832	0.999**	0.582	0.999**
生物量					1	0.858	1.000**	0.540	1.000**
成土率						1	0.860	0.052	0.856
成土量							1	0.539	1.000**
饱和吸水率								1	0.545
饱和吸水量									1

* * P<0.01;n=3。

的成土量与结皮层总重、干重、饱和吸水重、生物量等呈明显的正相关关系,即随着结皮层总重、生物量等的增加,成土量都明显增加。引起生物量变化的因子主要有气候、光照、水分等,如果在用藓类植物进行人工砂页岩水土流失治理时,兼顾这些因子,可达到更好的效果。

3 讨论

3.1 结皮藓类植物的生物量

苔藓植物不仅生产量大而且分解缓慢,因此积累了较大的生物量,是重要的初级生产者之一,特别是一些极端的环境中,苔藓植物作为优势种群是最大的生产者(Leith, 1975; Davis, 1981)。贵州省茅台镇砂页岩地区水土流失严重,荒漠程度逐年加剧,大量的基岩暴露出来,藓类植物在砂页岩表面形成了斑块群落,组成良好的土壤结皮。藓类植物体内含有类似木质素的酚类化合物较多,具有耐腐蚀和抗捕食的作用,一旦形成地被层,不易被微生物分解或食草动物取食而使藓类生物量逐年增加。这样随着时间的推移,下部藓类植物死亡,大量的残体堆积,为其他物种的登陆创造了条件,也达到了治理水土流失、恢复植被的目的。

3.2 结皮藓类植物的成土作用

土壤很大部分是由岩石在经过一系列的作用后演变而来的,生物在岩石转变成土壤的过程中起着重要的作用。苔藓植物作为原生演替的先锋性物种,在岩层分化、成土过程中具有极其重要的作用。朱显谟(1995)在研究原始土壤的成土过程时得出,原始成土过程的第三个时期就是苔藓植物的着生和发展相伴随的。苔藓殖居后,进一步提高了岩石的持水量,随着苔藓的发育,苔藓假根常粘结大量的细粒土。这样,一方面扩大了有机物和细土的来源,另一方面又加强了岩石拦截细土和含蓄水分的能力,不但聚积了细土和增厚了土层,同时又促进了内部岩体的风化作用,进一步促使了土壤的形成。

3.3 结皮层藓类植物的保水作用

苔藓植物常呈大片垫丛状群落,枝叶交错形成大量毛细空隙,同时可以通过细胞壁直接从植物体外部吸收水分,具有吸水快、蓄水量大的特点(Richardson & David, 1981; 吴玉环等, 2003),且大片生长的苔藓群落能缓冲生境的剧烈变化,减少土壤侵蚀,且对生态系统热量的循环有重要作用。这对于在砂页岩水土流失极其干燥的环境中生长的植物来说是

非常重要的,正因为藓类植物具备了这样的特性,使得其在一次降水充分吸水后,能在长时间不降水且没有地下水来源的地方生存。此外,如果很长时间不降水,藓类植物会失水,其细胞的渗透压极度降低而进入休眠状态,此时藓类植物可吸收空气中的水分维持生命而长年不死,遇到降雨,它将很快复苏生长(徐杰等, 2003)。藓类植物这些独特的特性,使其在砂页岩水土流失区能很好地生存,并为其他物种的登陆创造条件,这对砂页岩水土流失治理具有十分重要的意义。

在贵州省茅台镇砂页岩水土流失区域,华中毛灰藓的生物量、成土量和饱和吸水量均远远高于其他结皮藓类,在生物土壤结皮层中起着关键性的作用,对砂页岩水土流失区域生境有极强的适应性,是治理砂页岩水土流失较为理想的物种。

华中毛灰藓的生活型为交织型,在岩石原始成土过程的第三个时期,即伴随着苔藓植物的着生和发展,最早着生岩面的藓类是匍匐型的,它们借助其匍匐枝沿着壳衣体呈放射状向外伸展,最后呈地毯状将整个岩面掩盖起来(朱显谟, 1995),并能分泌一些酸性物质,逐步溶解岩面,通过吸收降水带来的营养物质,将营养物质容留在系统内,苔藓植物的这些特征对于在土壤不发达的原生生境中起着重要的作用(Greenfield, 1992)。随着时间的推移,苔藓结皮层不断增厚,为其他物种的登陆创造条件,使水土流失区域的植被恢复,达到治理水土流失的目的。

厚壁紫萼藓、小叶藓、真藓虽然生物量、成土量和饱和吸水量较低,但它们对于维持该地区生物结皮的稳定发育,构筑结皮的多样性结构,增加物种组成,改善局部微环境等起着重要作用。厚壁紫萼藓、小叶藓、真藓的生活型均为丛集型,在岩石原始成土过程的第三个时期,植枝直立的藓类常作点状长入带有细土的岩面低凹、隙缝等处,然后作环状或月牙状向外伸展,最后也可呈地毯状将整个岩面掩盖起来(朱显谟, 1995),同时腐蚀岩表,聚集沙尘形成自身独特的小生境,为其他物种的登陆创造条件。

4 结论

在贵州省茅台镇砂页岩水土流失区域有苔藓植物5科6属6种,全部为藓类植物,未发现苔类和角苔的存在。

华中毛灰藓的生物量、成土量和饱和吸水量均远远高于其他结皮藓类,在生物土壤结皮层中起着

关键性的作用。

厚壁紫萼藓、小叶藓、真藓虽然生物量、成土量和饱和吸水量较低,但它们对于维持该地区生物结皮的稳定发育、构筑结皮的多样性结构、增加物种组成、改善局部微环境等起着重要作用。

致谢 野外标本采集和室内标本鉴定,得到谢斐、吴启美、王登富、刘雪兰的大力帮助,在此表示感谢。

参考文献

- 范光先,吕云怀. 2004. 保护国酒传统知识产权,建立茅台酒工业生态功能保护区. 酿酒科技, (3): 114-116.
- 李冰,张朝晖. 2009. 喀斯特石漠结皮层藓类物种多样性及在石漠化治理中的作用研究. 中国岩溶, 28(1): 55-60.
- 李新荣,张景光,王新平,等. 2000. 干旱沙漠区土壤微生物结皮及其对固沙植被影响的研究. 植物学报, 42(9): 965-970.
- 刘丽燕,吾尔妮莎·沙衣丁,阿不都拉·阿巴斯. 2005. 荒漠化地区生物结皮的研究进展. 菌物研究, 3(4): 26-29.
- 任兵芳. 2004. 紫色砂页岩区水土流失治理措施探讨. 人民长江, 35(12): 3-4.
- 吴玉环,程国栋,高谦. 2003. 苔藓植物的生态功能及在植被恢复与重建中的作用. 中国沙漠, 23(3): 215-220.
- 吴玉环,高谦,程国栋. 2002. 生物土壤结皮的生态功能. 生态学杂志, 21(4): 41-45.
- 徐杰,白学良,杨持,等. 2003. 固定沙丘结皮层藓类植物多样性及固沙作用研究. 植物生态学报, 27(4): 545-551.
- 张龙. 2002. 华南地区几种常见岩性的水土流失成因与治理措施研究. 水土保持学报, 16(6): 66-68.
- 张文平. 2006. 国酒茅台的可持续发展与环境保护. 酿酒科技, 142(4): 109-110.
- 张显强,张来,何跃军,等. 2010. 喀斯特石漠结皮细尖鳞叶藓的吸水机制及耐旱适应性. 生态学报, 30(12): 3108-3116.

- 朱显谟. 1995. 论原始土壤的成土过程. 水土保持研究, 2(4): 83-89.
- Belnap J, Harper KT, Warren SD. 1994. Surface disturbance of cryptobiotic soil crusts: Nitrogenase activity, chlorophyll content, and chlorophyll degradation. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 8: 1-8.
- Davis RC. 1981. Structure and function of two Antarctic terrestrial moss communities. *Ecological Monographs*, 51: 125-143.
- Eldridge DJ, Tozer ME. 1996. Distribution and floristics of bryophytes in soil crusts in semi-arid and arid eastern Australia. *Australian Journal of Botany*, 44: 223-247.
- Greenfield LG. 1992. Retention of precipitation nitrogen by Antarctic mosses, lichens and fellfield soils. *Antarctic Science*, 4: 205-206.
- Leith H. 1975. Primary production of the major vegetation units of the world// Leith H, Whittaker RH, eds. *Primary Productivity of the Biosphere*. Berlin: Springer: 203-215.
- Pócs T. 1982. Tropical forest bryophytes// Smith AJE, ed. *Bryophyte Ecology*. London: Chapman & Hall: 59-104.
- Richardson DHS, David HS. 1981. *The Biology of Mosses*. Oxford: Blackwell
- Veste M. 2005. Importance of biological soil crusts for rehabilitation of degraded arid and semi-arid ecosystems. *Science of Soil and Water Conservation*, 3: 42-47.
- Walton DWH. 1993. The effects of Cryptogams on mineral substrates// Miles J, ed. *Primary Succession on Land*. London: Blackwell: 33-53.
- West NE. 1990. Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semiarid regions. *Advances in Ecological Research*, 20: 179-223.
- Yang XH, Wang KQ, Wang BR, et al. 2005. Afforestation using micro-catchment water harvesting system with microphytic crust treatment on semi-arid Loess Plateau: A preliminary result. *Journal of Forestry Research*, 16: 9-14.

作者简介 潘莎,女,1986年生,硕士研究生。主要研究方向为植物生态学。E-mail: pansha2004@163.com
责任编辑 魏中青