

粤北岩溶山区土地石漠化过程的植被特征与多样性初步研究

罗红波^{1,2}, 魏兴琥¹, 李 森¹, 王金华^{1,2}, 王明刚^{1,2}

(1. 佛山大学 资源与环境科学研究所, 广东 佛山 528000; 2. 华南师范大学 地理科学学院, 广州 510631)

摘 要: 粤北岩溶山区是广东省石漠化土地面积最大、程度最严重的区域。为了确定石漠化对植被生产力和物种多样性的影响, 选择英德市岩背镇等地为研究样地, 系统地调查了不同石漠化程度的植被特征和物种多样性变化, 结果表明: 随着石漠化程度的加深, 石灰岩植被的生境向旱生化和岩生化发展, 植物群落结构越来越趋于简单。植被盖度从轻度石漠化土地 94.65%, 降低到极重度石漠化的 12.14% 以下; 现存生物量也随着石漠化过程显著降低。同时, 石漠化造成物种的数量和分布发生变化, 物种多样性显著降低, 从轻度石漠化到极重度石漠化, 丰富度指数从 1.61 降到 0.36, 除从中度到重度石漠化阶段, 丰富度指数都呈显著性下降趋势; Shannon-Wiener 指数从轻度到中度、极重度显著下降; 而 Simpson 指数显著增加。植被退化是石漠化发展的重要原因和标志。

关键词: 粤北; 石漠化; 植被特征; 物种多样性

中图分类号: P931.5; X171.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)06-0318-04

Preliminary Study on Bio-productivity and Vegetation Features in Process of Rocky Desertification, North of Guangdong Province

LUO Hong-bo^{1,2}, WEI Xing-hu¹, LI Sen¹, WANG Jin-hua^{1,2}, WANG Ming-gang^{1,2}

(1. Institute of Resources and Environment Science, Foshan University, Foshan, Guangdong 528000, China;

2. College of Geography Science, South China Normal University, Guangzhou 510631, China)

Abstract: Yanbei Town, which located in the north of Guangdong Province, Yingde City, is the most serious and a typical area in the rocky desertification land of Guangdong. In order to determine the impacts of rocky desertification on bio-productivity and species diversity, we selected this site as the study area, the factors of bio-productivity and species diversity were investigated in different grade of rocky desertification systematically. The results show: with the development of the rocky desertification, the territory of the limestone vegetation were replaced by some species that with more drought and more rocky, the structure of vegetation community tend to more and more simple, the vegetation coverage decreased from slight degree's 94.65% to less than 12.14% in extreme degree. Standing biomass also decreased significantly in process of rocky desertification. At the same time, the species numbers and distributing were more different in the rocky desertification. In the process of rocky desertification, the Richness index values from 1.61 to 0.36, declined significantly except from medium degree to intensity degree stage. Shannon-Wiener index values also declined significantly in the process of rocky desertification, but the Simpson index increased significantly. The vegetation degradation was the important trigger and sign of development of rocky desertification.

Key words: North of Guangdong Province; rocky desertification; vegetation feature; species diversity

石漠化 (Karst Rocky Desertification) 是“在亚热带脆弱的喀斯特环境背景下, 受人类不合理社会经济活动的干扰破坏, 造成土壤严重侵蚀, 基岩大面积出露, 土地生产力严重下降, 地表现类似荒漠景观的土地退化过程^[1]”。石漠化过程中, 植被退化是最直观的因子。

对石漠化的研究表明: 在石漠化过程中, 植被种类组成从高大乔木向典型的小灌木退化, 并向旱生化演替; 植被的退化是石漠化过程中造成土地退化的主要原因^[2-9]; 森林是影响岩溶生态系统的关键因子^[10-12]; 喀斯特石漠化退化过程中植被与环境形成正反馈关系, 具有退化方向的一致性, 退化过程的非同步性和退化速度的非线性等特点^[13-17]。粤北岩溶山区是广东省石漠化土地面积最大、程度最严重的区域, 石漠化面积达到 2 343.21 km², 占该区面积的

11.40%^[18]。石漠化造成土壤侵蚀, 导致土地退化, 退化的植被很难在短期内恢复。目前对粤北石漠化过程的植被变化缺乏系统的研究, 影响了该区植被保护和恢复的技术措施制定。因此, 通过对粤北石漠化过程中植被群落的结构特征、植被盖度、生产力和物种多样性的变化研究, 不仅可以系统地了解粤北石漠化过程生态系统变化, 同时也为岩溶山区的植被恢复、生态环境保护和石漠化治理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

选择粤北岩溶山区石漠化土地分布最集中、最典型的英德市岩背镇 (112°48'E - 112°52'E, 24°16'N - 24°21'N) 作为调查区。调查区位于英德市西部, 地势北高南低, 东面林地,

西面大部分为裸露石灰岩山地。属亚热带季风气候,年均气温 17.5℃,年均降水量近 1 800 mm。在调查区内,有近 1 000 m² 的极重度石漠化土地,岩石裸露率在 95 % 以上,在其周围逐渐向外扩展,岩石裸露率逐渐降低,植被层片、盖度也逐渐增加。土壤为红色石灰土^[19]。

1.2 调查与分析

以地表岩石裸露率程度为主要依据,以极重度石漠化土地(岩石裸露率大于 90 %)为中心,由近至远选择极重度、重度(岩石裸露率为 70 % ~ 90 %)、中度(岩石裸露率为 50 % ~ 70 %)和轻度(岩石裸露率为 30 % ~ 50 %)4 个不同程度的石漠化样地,每个样地大小为 30 m × 30 m。在每个样地内随机设置 3 个 1 m × 1 m 的草本样方,有灌木处样方面积扩大到 3 m × 4 m(灌木多为藤本和小灌木)。采用常规群落调查方法,调查每一样方内的植物种数、各物种的个体数、分盖度(草本植物采用针刺法,灌木植物采用实测法)、高度。采集植物标本鉴定物种。每个样方中的草本植物留茬 1 cm 刈割,每种草本植物至少 10 株以上,灌木种每株剪取 3 ~ 5 个典型枝,至少 3 株,将各物种编号分装,在烘箱恒温(85℃)烘至恒重,称干重。

根据每个样方内每一物种的盖度、现存地上生物量、物种数和密度计算多样性指数,计算公式如下^[20-22]：

Simpson 指数 (S') :

$$S' = \frac{1}{\sum_{i=1}^s \frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}}, i = 1, 2, 3, \dots, S$$

丰富度指数 (R) :

$$R = (S - 1) / \ln N$$

Shannon-Wiener 指数 (H') :

$$H' = - \sum_{i=1}^s (P_i) \ln (P_i)$$

Pielou 均匀度指数 (J') :

$$J' = H' / \lg S$$

式中： n_i ——第 i 个种的个体数； S ——每一样方内的总种数； N ——每一样方内所有种的总个体数； P_i ——样方内各物种的个体数/总个体数 × 100 %； H' ——Shannon-Wiener 多样性指数。

采用 SPSS 10.0 用多重比较分析不同样地的多样性指数、盖度和生物量变化^[22]。

2 结果与讨论

2.1 石漠化土地的植被特征与群落的变化

在 4 个典型样地中,植被表现出很大差异。轻度石漠化样地出现的植物有 17 种,主要有芒麻(*Boehmeria nivea*)、黄荆(*Vitex negundo*)、牛筋草(*Eleusine indica*)等;中度石漠化样地植物有 15 种,以青蒿、类芦(*Neyraudia reynaudiana*)、白茅(*Imperata cylindrical*)、马唐(*Digitaria sanguinalis*)、牛筋草、吊丝竹等为主;重度石漠化样地植物有 11 种,以野古草(*Arundinella anomala* Steud.)、牛筋草、野菊(*Dendranthema indicum*)、白茅等为主。极重度石漠化样地为 4 种:苔藓、乌蕨、何首乌、黑果薄柱草(*Nertera nigricarpa*) (详见表 1)。根据物种重要值变化(表 1),轻度石漠化土地芒麻为优势种,黄荆、牛筋草为主要伴生种,群落层片有四层,平均高度为 55.67 cm。优势种芒麻是一种多年生宿根性草本植物,半灌木,植被以具旱生性、耐钙喜钙性的种

类为主,景观外貌不具“石漠”的印象,但具有生态环境脆弱的特征。中度石漠化土地以青蒿为优势种,类芦、白茅是主要伴生种,平均高度为 46.41 cm,层片结构为 3 层。青蒿为菊科一年生草本植物,高达 1.5 m。植被结构单一,以稀疏的灌草为主,种类亦没有轻度石漠化土地丰富,样地上植物种类减少了 4 种。重度石漠化土地以野古草为优势种,牛筋草是其重要伴生种。平均高度为 31.25 cm,层片结构为 2 层。野古草是适应性很强的粗大禾草,具有强壮的横走根状茎,繁殖迅速。秆直立,单生,粗壮而坚硬,高 60 ~ 100 cm;但石漠化特征明显,土壤侵蚀严重,土层厚度在 20 cm 以下,群落结构比轻度和中度石漠化都要简单,从中度石漠化的 15 种植物降低到 11 种,种类减少近 1/3。极重度石漠化土地基岩裸露率超过 90 %,以苔藓地衣等低等植物和低矮灌草丛为主,平均高度为 5.44 cm,层片结构为一层。是石漠化接近顶极(石漠)的等级,农业价值丧失,属生态系统严重脆弱型土地^[23]。

从轻度石漠化土地、中度石漠化土地、重度石漠化土地到极重度石漠化土地,植被演替趋势为芒麻、黄荆、牛筋草、青蒿、类芦、白茅、野古草、牛筋草、苔藓。群落层片从 4 层变为 1 层,高度从 55.67 cm 降低到 5.44 cm,物种从灌草混合到只有草本植物,最后变为低等植物的苔藓。

2.2 植被盖度变化

由轻度、中度、重度、极重度,植被覆盖率呈下降趋势(图 1),从轻度、中度、重度,盖度由 94.65 % 下降为 84.98 %, 79.21 %, 差异不显著;但从轻度、重度,植被盖度呈显著性下降趋势;从重度、极重度,植被盖度降至 12.14 %,显著下降 ($F = 328.93, P < 0.05$)。

在轻度石漠化样地,土壤层基本连续,土层厚度超过 35 cm,植被以草本、灌木为主,植被种类也是 4 个样地中最多的。半灌木优势种芒麻茎叶茂盛,冠幅较大,植株数量多,高度大,盖度大。3 个样方中,最高盖度达 98.3 %,最低的也达到 90.17 %。

中度和重度石漠化样地石芽分割土壤,溶蚀沟、缝、坑发育,地表破碎;土壤层不连续,呈斑状分布于石芽间,土层厚度一般小于 35 cm 和 20 cm,植被以草本植物、小灌木为主,但因为生长一些有攀援特性的藤本植物,仍有较大的植被盖度,平均盖度分别为 84.98 %, 79.21 %。中度石漠化土地样地的优势种青蒿为一年生草本植物,重度石漠化土地样地的优势种野古草是适应性很强的粗大禾草,具有强壮的横走根状茎,繁殖迅速。此外,还有少量低矮的隐囊蕨、铁包金、野苦卖、深绿卷柏、蜈蚣草等草本植物,虽然个体较小,单株植物盖度较小,但数量较多,在一定程度上缓和了盖度的降低。

极重度石漠化样地基岩裸露率 > 90 %,溶蚀沟、缝、坑发育,地表十分破碎。土壤很少,呈斑点状分布于石芽、石缝间,植被发育在局部石穴或石缝有土壤的地方,有茅草或零星小灌木,茅草在冬天多枯死。可见到的少量草本植物和小灌木类型主要为乌蕨、何首乌、黑果薄柱草,在岩石表面浅洼处有地衣和苔藓等低等植物。这些旱生的草本、藤本植物为了适应缺水少土环境,大多茎、叶萎缩,且分布十分稀疏。

2.3 现存生物量变化

与植被盖度一样,土地现存生物量在石漠化发展过程中同样呈显著下降趋势(图 2)。现存生物量干重从轻度石漠化样地的 513.57 g/m² 下降到中度石漠化样地的 406.95

g/m²、重度石漠化样地的 261.57 g/m² 和极重度石漠化样地的 57.54 g/m²,除轻度 中度下降不显著外,其它均为显著性下降($F=70.45, P<0.05$)。重度石漠化样地的生物量是极重度石漠化样地的 4.55 倍。极重度石漠化样地的现存生物量分别为重度、中度、轻度石漠化样地生物量的 22.00 %,14.14 %,11.20 %。

表 1 石漠化过程中植物种重要值的变化

科	物种名称	物种特性	轻度	中度	重度	极重度
菊科	加拿大飞蓬(<i>Conyza canadensis</i>)	TH	0.06	0	0.87	0
	野苦卖(<i>Sonchus arvensis</i>)	PH	1.39	1.40	0	0
	三叶鬼针草(<i>Bidens pilosa</i>)	AH	1.60	0	0	0
	青蒿(<i>A.rtemisia apiacea</i>)	AH	1.85	29.5	0	0
	野艾蒿(<i>A.rtemisia larandulaefolia</i>)	PH	1.99	0	0	0
	野菊(<i>Dendranthema indicum</i>)	PH	0	0.45	6.07	0
	胜红蓟(<i>A.geratum conyzoides</i>)	AH	0	4.37	0	0
海金沙科	海金沙(<i>Lygodium japonicum</i>)	PHC	1.67	0	0	0
凤尾蕨科	凤尾蕨(<i>Pteris ensiformis</i>)	PH	2.23	0	0	0
	蜈蚣草(<i>Pteris vittata</i>)	PH	0	0	3.34	0
鳞始蕨科	乌蕨(<i>Stenoloma chusanum</i>)	PGH	2.51	0	0	24.18
中国蕨科	隐囊蕨(<i>Notholaena hirsuta</i>)	H	2.40	1.10	0	0
铁线蕨科	鞭叶铁线蕨(<i>A.diantum caudatum</i>)	PH	2.58	0	0	0
禾本科	水蔗草(<i>Apluda mutica</i>)	PH	4.60	0	0	0
	吊丝竹(<i>Dendrocalamus minor</i> var.)	PH	8.85	6.73	0	0
	牛筋草(<i>Eleusine indica</i>)	AH	11.58	8.04	19.98	0
	马唐(<i>Digitaria sanguinalis</i>)	AH	0	9.27	0	0
	白茅(<i>Imperata cylindrical</i>)	PH	0	11.09	7.39	0
	类芦(<i>Neyraudia reynaudiana</i>)	H	0	12.06	0	0
	白花柳叶箬(<i>Isachne albens</i>)	PH	0	0	5.50	0
	野古草(<i>Arundinella anomala</i> Steud.)	PH	0	0	37.13	0
马鞭草科	黄荆(<i>Vitex negundo</i>)	H	12.18	0	1.95	0
莎草科	飘拂草(<i>Fimbristylis annua</i>)	AH	0	3.57	0	0
茜草科	黑果薄柱草(<i>Nerterani gricarpa</i>)	PH	0	0	6.77	0
蝶形花科	三裂叶野葛(<i>Pueraria phaseoloides</i>)	HL	6.53	0	3.98	0
金缕梅科	继木(<i>Loropetalum chinense</i>)	GL/ ST	8.14	0	0	0
荨麻科	苕麻(<i>Boehmeria nivea</i>)	HL	29.26	0	0	0
蔷薇科	铺地蜈蚣(<i>Palhinhaea cernua</i>)	F/ GCL	0	0.55	0	0
鼠李科	铁包金(<i>Berchemia lineata</i>)	S	0	0.79	0	0
卷柏科	深绿卷柏(<i>Selaginella doederleinii</i>)	DHS	0	2.89	0	0
茄科	少花龙葵(<i>Solanum americanum</i>)	AH	0	8.03	7.67	0
蓼科	何首乌(<i>Polygonum multiflorum</i>)	PWH	0	0	6.11	11.86
低等植物	苔藓	SCGP	0	0	0	57.2

注:重要值=(相对多度+相对盖度+相对生物量)/3。
H:草本;AH:一年生草本;TH:二年生草本;PH:多年生草本;PCH:多年生攀援草本;PWH:多年生缠绕草本;PGH:多年生常绿草本;HL:草质藤本;L:藤本;GL/ ST:常绿灌木或小乔木;S:灌木;DHS:矮小草本灌木;F/ GL:落叶或半常绿灌木;F/ GCL:落叶或半常绿匍匐灌木;SCGP:小型多细胞绿色植物。

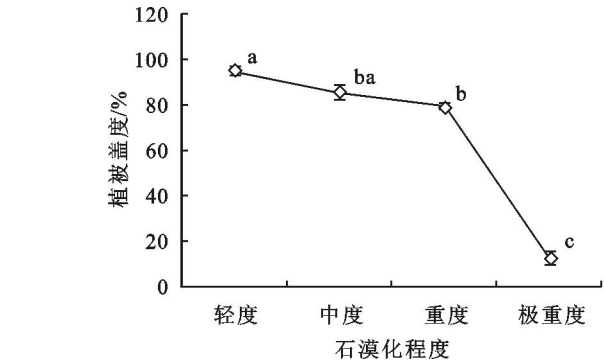


图 1 石漠化过程植被盖度变化
极重度石漠化样地的优势种是苔藓植物,生长在裸露的石壁上,植物结构简单,仅包含茎和叶两部分,无花,无种子,以孢子繁殖。故和其它样地相比,生物量极小。其伴生种也是一些较低等的蕨类、地衣等植物,而其它样地上的伴生种多

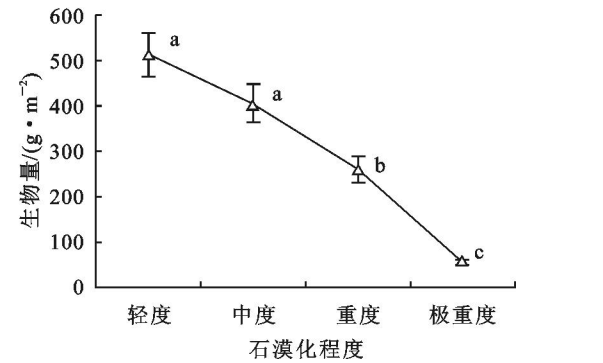


图 2 石漠化过程现存生物量变化
为白茅、继木、黄荆、类芦、牛筋草、野菊等藤、灌丛植物,这些植物生长茂盛、冠幅较大,植株数量多,高度大,其生物量远比苔藓地衣之类的植物要大。可见,随着石漠化程度的加剧和植被盖度的降低,现存生物量明显降低,即土地生产力明显降

低。反过来讲,生产力退化的过程主要发生在石漠化程度加剧、植被盖度不断降低的石漠化过程的中期和晚期阶段,即极重度 重度 中度石漠化阶段,盖度的明显降低导致生物量的明显减少。而在石漠化过程的初期阶段即轻度 中度石漠化阶段,由于植被种类的改变和盖度的降低并不是很显著,盖度只降低了 10 % 左右,由此所导致的生态系统的破坏程度相对较小,使得在此阶段中土地生产力的退化不明显。

2.4 物种多样性变化

群落的物种多样性是反映群落发育水平的重要指标之一^[24]。粤北典型区丰富度指数、Shannon-Wiener 指数和

Pielou 均匀度指数在石漠化过程中都呈下降趋势,而 Simpson 指数却呈增加趋势,在石漠化不同阶段,多样性变化程度不同(表 2)。

Shannon-Wiener 指数(H')和丰富度指数(R')在石漠化过程中都呈下降趋势,但不同阶段下降程度不同。从轻度石漠化到极重度石漠化,丰富度指数从 1.61 降到 0.36,除从中度到重度石漠化丰富度指数下降不显著外,其余都有显著性差异($F=63.02, P<0.05$);与丰富度指数(R')相似,Shannon-Wiener 指数除从中度到重度下降不显著外,从轻度到中度、极重度都呈显著下降趋势($F=94.19, P<0.05$)。

表 2 石漠化过程物种多样性指数变化

石漠化阶段	Shannon-Wiener 指数(H')	丰富度指数 R'	Simpson 指数	Pielou 均匀度指数
轻度石漠化	1.98 ±0.08a	1.61 ±0.12a	0.16 ±0.18a	2.04 ±0.10a
中度石漠化	1.53 ±0.23b	1.03 ±0.26b	0.27 ±0.08a	1.86 ±0.13a
重度石漠化	1.34 ±0.07b	0.88 ±0.09b	0.35 ±0.04ba	1.79 ±0.06a
极重度石漠化	0.51 ±0.27c	0.36 ±0.23c	0.60 ±0.28b	1.68 ±0.89a

注:列内不同字母间表示显著性差异($P<0.05$)。

Simpson 指数是对多样性反面集中性的度量^[20]。从表 2 可以看出:在粤北 4 个石漠化发展过程的典型样地,从轻度到中度、重度、极重度石漠化,Simpson 指数从轻度石漠化的 0.16 递增至极重度石漠化的 0.60($F=13.58, P<0.05$),呈显著增加趋势。Simpson 指数值愈大,表明物种的多样性愈低。因此,在石漠化发展过程中,物种的多样性越来越少,至极重度石漠化就发展到最低状态。极重度石漠化土地地表十分破碎,植被和土被覆盖率 $<10\%$,土壤很少甚至没有,呈斑状分布于石芽、石缝间,厚度 $<3\text{ cm}$,这种缺水少土的环境决定了该样地的 Simpson 指数在 4 个样地中最大。而轻度石漠化土地上样方内有 17 种植物(表 1),植被和土被覆盖率达 $50\%\sim70\%$,土壤层基本连续,土层厚度 $<40\text{ cm}$,为草本、灌木为主的石灰岩植被生长提供了条件。

Pielou 均匀度指数随石漠化程度加重而降低,但无显著性变化($F=0.98, P<0.05$),表明在这一过程中原本多样化的物种逐渐被适应力更强的少数几个物种替代,并最终随着土壤的流失,岩石裸露,只有少数低等植物生存。

3 结 论

3.1 石漠化过程的植被变化

随着石漠化程度的加深,石灰岩植被的生境越来越向旱生和岩生方向转化,生长在其上的植物群落不断演替,从轻度石漠化土地上生长的苎麻、黄荆-牛筋草群落过渡到中度石漠化土地上的青蒿、类芦-白茅群落,重度石漠化土地上适应能力很强的野古草、牛筋草群落,最终在极重度石漠化土地上形成以苔藓地衣等低等植物为主的群落。

随着石漠化程度的加深,植被盖度显著降低。

现存生物量干重除轻度 中度下降不显著外,其它均为显著性下降。

3.2 石漠化过程的物种多样性变化

随着石漠化程度的加深,Simpson 指数显著增加;从轻度到极重度石漠化,丰富度指数和 Shannon-Wiener 指数总体上呈显著下降趋势,而 Pielou 均匀度指数的变化不显著。

总体来说,伴随着石漠化过程的发展,植被群落多样性

降低,群落结构渐趋简单。虽然植被退化过程并不等于石漠化过程,但植被退化是南方岩溶山区石漠化形成的重要原因,保护现有的植被和促进已退化植被的恢复是石漠化防治的根本。

参考文献:

[1] 王世杰.喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J].中国岩溶,2002,21(2):101-105.

[2] 王德炉,朱守谦,黄宝龙.喀斯特石漠化的形成过程及阶段划分[J].南京林业大学学报:自然科学版,2005,29(3):103-106.

[3] 王德炉,朱守谦,黄宝龙.贵州喀斯特区石漠化过程中植被特征的变化[J].南京林业大学学报:自然科学版,2003,27(3):26-30.

[4] 王德炉.喀斯特石漠化形成过程及防治[D].南京:南京林业大学,2003.

[5] 王世杰,李阳兵,李瑞玲.喀斯特石漠化的形成背景、演化与治理[J].第四纪研究,2003,23(6):657-666.

[6] 蓝安军,熊康宁,安裕伦.喀斯特石漠化的驱动因子分析[J].水土保持通报,2001,21(6):19-23.

[7] 张殿发,王世杰,周德全,等.贵州省喀斯特地区土地石漠化的内动力作用机制[J].水土保持通报,2001,21(4):1-5.

[8] 宋先花,蔡运龙.西南喀斯特石漠化地区生态建设产业化初探[J].水土保持研究,2003,10(3):87-89.

[9] 冉红美,唐治诚.中国山区生态环境现阶段面临的问题及对策[J].水土保持研究,2004,11(2):180-182.

[10] 孙艳丽,况明生,张远喆,等.中国南方岩溶地区脆弱的生态环境及石漠化过程[J].贵州师范大学学报:自然科学版,2003,21(2):80-83.

[11] 喻理飞,朱守谦,叶镜中,等.人为干扰与喀斯特森林群落退化及评价研究[J].应用生态学报,2002,13(5):529-532.

$$\begin{cases} \hat{x}(n+l) = f\{\hat{x}(n+l-1), \hat{x}(n+l-2), \dots, x(n+l-m)\} & l < m \\ \hat{x}(n+l) = f\{\hat{x}(n+l-1), \hat{x}(n+l-2), \dots, x(n+l-m)\} & l = m \end{cases}$$

(16)

3 仿真结果

根据我国粮食产量的历史数据^[11],如表 1 所示,建立 LS-SVM 模型,经过计算嵌入维数为 3 时最为合理。分别对 2003 - 2005 年的粮食产量进行预测。应用 MATLAB 7.0 编辑程序,并对数据进行计算分析。

表 1 我国粮食产量历年统计表 万 t

年份	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
产量	37911	39151	40298	39408	40755	44024	43529	44266	45649
年份	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
产量	44510	46662	50454	49417	51230	50839	46218	45264	45706

仿真结果如表 2 所示

表 2 模型预测值与实际值对比 万 t

年份	原始数据	预测数据	相对误差/ %
2003	43070	43791	1.67
2004	46947	45779	- 2.49
2005	48401	48787	0.80

由表 2 可以看出,模型完全满足预测精度要求。通过以上的实际分析,LS-SVM 模型可以作为我国粮食产量的预测模型。

4 结 论

由于农业生产系统的非线性和不确定性特征,很难在粮食产量与影响因素之间建立确定的数学模型,但是粮食产量的时间数据序列是各种影响因素的综合结果,其中隐含了系统发展的重要信息,因此可以从时间序列特征角度研究其系统的变化规律并对其状态未来特征进行预测。本文应用统计学习理论原理,建立了基于 LS-SVM 的粮食产量预测模型,仿真结果表明,该模型比较全面地反映了系统的变化特征,并对系统的未来状态特征具有较高的预测精度,可以作为我国粮食产量预测的有效工具。

参考文献:

[1] 吴今培,孙德山.现代数根分析[M].北京:机械工业

出版社,2006.

[2] Vapnic V.统计学习理论的本质[M].北京:清华大学出版社,2000.

[3] 张学工.关于统计学习理论与支持向量机[J].自动化学报,2000,26(1):32 - 42.

[4] 李栋,王洪礼,杜忠晓,等.城市生活用水量的支持向量机回归预测[J].天津大学学报:社会科学版,2006,8(1):64 - 67.

[5] 卢虎,李彦,宵颖.支持向量机理论及其应用[J].空军工程大学学报:自然科学版,2003,4(4):89 - 91.

[6] 罗雪晖,李霞,张基宏.支持向量机及其应用研究[J].深圳大学学报,2003,20(3):40 - 44.

[7] 杨一文,杨朝军.基于支持向量机的时间序列预测模型[J].系统工程理论方法应用,2005,14(2):176 - 181.

[8] 李智才,马文瑞,李素敏,等.支持向量机在短期气候预测中的应用[J].气象,2006,32(5):57 - 61.

[9] 支持向量机的学习方法的选择与应用[J].武汉科技大学学报:自然科学版,2006,29(1):76 - 78.

[10] 中华人民共和国统计年鉴[Z].2005.

(上接第 321 页)

[12] 朱守谦,魏鲁明,张丛贵,等.茂兰喀斯特森林树种生长特点初步研究[C]//朱守谦.喀斯特森林生态研究().贵阳:贵州科技出版社,1997.

[13] 周政贤,毛志忠,喻理飞,等.贵州石漠化退化土地及植被恢复模式[J].贵州科学,2002,20(1):1 - 6.

[14] 任海.喀斯特山地生态系统石漠化过程及其恢复研究综述[J].热带地理,2005,25(3):195 - 200.

[15] 李阳兵,谢德体,魏朝富.岩溶生态系统土壤及表生植被某些特性变异与石漠化的相关性[J].土壤学报,2004,41(2):196 - 202.

[16] 吴秀芹,蔡运龙,蒙吉军.喀斯特山区土壤侵蚀与土地利用关系研究:以贵州省关岭县石板桥流域为例[J].水土保持研究,2005,12(4):46 - 48.

[17] 姜光辉,郭芳,袁道先.岩溶石漠化地区土地资源及其开发潜力:以云南木美地下河为例[J].水土保持研究,2005,12(5):214 - 217.

[18] 曾士荣.粤北岩溶石山地区石漠化现状及其对水环境的影响[J].水文地质工程地质,2006(3):101 - 105.

[19] 广东省植物研究所编著.广东植被[M].北京:科学出版社,1976.

[20] 宋永昌.植被生态学[M].上海:华东师范大学出版社,2001:47 - 51.

[21] 马克平,黄建辉,于胜利,等.北京东灵山地区植物群落多样性的研究——丰富度、均匀度和生物多样性指数[J].生态学报,1995,15(2):268 - 277.

[22] 魏兴琥,杨萍,李森,等.西藏沙漠化典型分布区沙漠化过程中的生物生产力和物种多样性变化[J].中国沙漠,2005,25(5):663 - 667.

[23] 梅再美,王代懿,熊康宁,等.不同强度等级石漠化土地植被恢复技术初步研究:以贵州花江试验示范区查尔岩试验小区为例[J].中国岩溶,2004,23(3):253 - 258.

[24] Toshiya Ohkuro,et al. Vegetation distribution in Naiman, Inner Mongolia, China [C]// Shizuo Shindo and Akihiko Kondoh. The CERes International Symposium on the Role of Remote Sensing for the Environmental Issues in Arid and Semi-Arid Regions. Chiba University,1997:107 - 110.