

文章编号: 1000-8551(2005)04-286-05

植物对¹³⁷Cs 污染土壤的修复

杨俊诚^{1,2} 朱永懿² 陈景坚² 张建峰^{1,2} 梅 勇¹ 姜慧敏¹

(1. 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;

2. 农业部农业核技术与航天育种重点开放实验室, 北京 100094)

摘 要: 选用了南瓜、油菜、虎尾草、红梗叶甜菜、东升叶甜菜和红甜菜等几种植物, 通过盆栽模拟, 研究不同活度¹³⁷Cs 污染的广东大亚湾水稻土、浙江秦山水稻土和北京褐土的生物修复作用。结果表明, 供试植物在 3 种土壤上均对¹³⁷Cs 有较强的吸收能力, 并随¹³⁷Cs 施入量的增加而增加, 两者呈显著正相关 $r^2 = 0.9989$ 。在污染水平相同的情况下, 试验发现, 虎尾草、油菜和南瓜所吸收¹³⁷Cs 的比活度随土壤的 pH 值降低而增加。6 种植物的生物修复能力差异较大, 综合评价结果为, 对¹³⁷Cs 污染土壤修复能力的顺序是: 虎尾草 > 油菜 > 红梗叶甜菜 > 南瓜 > 红甜菜 > 东升叶甜菜。

关键词: ¹³⁷Cs 污染土壤; 生物修复; 综合评价

PLANT REMEDIATION OF SOIL CONTAMINATED WITH ¹³⁷Cs

YANG Jun-cheng^{1,2} ZHU Yong-yi² CHEN Jing-jie²
ZHANG Jian-feng^{1,2} MEI Yong¹ JIANG Hui-min¹

(1. Institute of Agricultural Resource and Regional Planning, CAAS, Beijing, 100081;

2. Key Laboratory of Nuclear Agriculture Techniques and Space Mutation Breeding, Ministry of Agriculture, Beijing, 100094)

Abstract: A pot experiment was conducted to evaluate the bio-remediation of soils contaminated with ¹³⁷Cs. The selected plants are *Cucurbita moschata* Duchesne, *Brassica chinensis* L., *Chloris virgata*, *Beta oulgaris* L. Hongye, *Beta oulgaris* L. Dongshengye and *Beta oulgaris* L. The soils samples were taken from the paddy field, 2 km from the Dayawan nuclear power plant and Qinshan nuclear power plant, respectively, and cinnamon soil from the cultivated land in Beijing. The results show that all the employed species of plant have a higher accumulation to ¹³⁷Cs with the increased grade of the radioactivity of ¹³⁷Cs. A good correlation exist with the coefficient (r^2) of 0.9989. When the contaminated radioactivity of ¹³⁷Cs is in the same level the uptake of *Cucurbita moschata* Duchesne, *Brassica chinensis* L. and *Chloris virgata* increased with the decrease of pH value ranged 5.22~7.69. The ability of bioremediation in the orders were *Chloris virgata*, *Brassica chinensis* L., *Beta oulgaris* L. Hongye, *Cucurbita moschata* Duchesne, *Beta oulgaris* L. and *Beta oulgaris* L. Dongshengye, according to the comprehensive evaluation of transfer factor, specific activity of plant in dry weight of biomass and total absorption of ¹³⁷Cs by the individual plant in the same area.

Key words: soils contaminated with ¹³⁷Cs; bio-remediation; comprehensive evaluation

核试验或核事故释放的裂变产物¹³⁷Cs 作为环境最主要的潜在核污染物受到广泛关注^[1~4], 在代价利益优化分析的前提下, ¹³⁷Cs 污染土壤的生物修复技术成为近年的研究热点^[5~9]。已有研究表明大多

收稿日期: 2004-09-23

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(2004CB418501)、中英国际合作项目和国家重点科技项目专题(99-099-01-10)

作者简介: 杨俊诚(1955-), 男, 陕西人, 研究员, 主要从事环境污染与修复及放射生态学研究。Email: yangjch@263.net

数植物对¹³⁷Cs 的吸收很低,所以筛选种植对¹³⁷Cs 有较高浓集能力的植物^[9],使之将土壤中的¹³⁷Cs 进行有效地去除,是对受¹³⁷Cs 污染土壤进行生物修复和治理的有效方法之一^[10,12]。由于铯与钾在化学性质上的相似性,富钾植物常被认为对铯有较好的吸收能力^[12~15]。本试验选用了南瓜、油菜、虎尾草、红梗叶甜菜、东升叶甜菜和红甜菜等几种植物,通过盆栽模拟,研究了不同活度¹³⁷Cs 污染的广东大亚湾水稻土、浙江秦山水稻土和北京褐土的生物修复,以期通过对吸收能力、转移系数和生物产量及在相同面积上总去除量等综合评价,筛选出优势植物,为¹³⁷Cs 污染土壤生物修复提供科学依据和技术储备。

1 材料和方法

1.1 材料

供试植物:南瓜(葫芦科)、油菜(十字花科)、虎尾草(禾本科)、红梗叶甜菜(藜科)、东升叶甜菜(藜科)和红甜菜(藜科)共 6 种植物。供试核素为¹³⁷CsCl 溶液。

供试土壤分别为采自广东大亚湾稻田土、浙江秦山稻田土和北京褐土,土壤的农业化学性状如表 1 所示。

表 1 采样土壤的农化性状

Table 1 Agrochemical characteristics of the soils samples

土壤 soil	pH	有机质 organic matter(%)	速效钾 available K(mg/100g)	速效磷 available P(mg/kg)
北京褐土 cinnamon soil, Beijing	7.69	1.41	21.57	11.3
广东大亚湾稻田土 paddy soil, Dayawan, Guangdong	6.73	1.62	10.70	28.7
浙江秦山稻田土 paddy soil, Qinshan, Zhejiang	5.22	2.12	48.05	23.6

1.2 方法

塑料盆装 2kg 土,按每公斤土 0.1g 硫酸铵和 0.05g 磷酸二氢钾施入底肥。3 种土壤、6 种植物、两次重复。出苗后不同植物的留苗的数量为:南瓜 1 株/盆,油菜 3 株/盆,虎尾草 20 株/盆,两种甜菜 4 株/盆。30d 后随浇水将¹³⁷CsCl 溶液浇于土表,施用量设 3kBq/kg、30kBq/kg、300kBq/kg 3 个比活度的土壤污染处理。植物吸收¹³⁷CsCl 12d 后取样,剪取植株地上部分,洗涤后烘干,剪碎、制样,样品用 GC3018 高纯锗多道能谱分析仪在能量为 662keV 特征峰处进行测量分析,控制测量误差 < 5 %。采用中国计量科学院校对的标准物质,以同等重量及测量条件下进行自吸收和探测效率校正。

以各种植物体中¹³⁷Cs 的比活度、相同面积上植物吸收¹³⁷Cs 总活度、转移系数分别排序的序号加和值为综合评价指标。

转移系数的计算公式: $T_f = \text{植物体中}^{137}\text{Cs 的比活度 (Bq/kg 干重)} / \text{土壤中}^{137}\text{Cs 的比活度 (Bq/kg 干重)}$ 。

2 结果与讨论

2.1 不同植物对¹³⁷Cs 的吸收

北京褐土、浙江秦山水稻土和深圳大亚湾水稻土上种植的 6 种植物均对¹³⁷Cs 有较强的吸收作用(表 2),其对¹³⁷Cs 的吸收均随¹³⁷Cs 施入量的增加而增加,两者呈显著正相关 $r^2 = 0.9989$ 。所以,植物对¹³⁷Cs 吸收和积累与土壤中¹³⁷Cs 污染水平有关。共原因是由于随着污染水平增加,有效态的外源¹³⁷Cs 增加。

在污染水平相同的情况下,种植在不同土壤上的同一种植物,对¹³⁷Cs 的吸收是不同的。例如 300kBq/kg 的处理组中,不同土壤上的虎尾草吸收¹³⁷Cs 的量差别很大,总的趋势是种植在浙江秦山稻田土上的植物吸收¹³⁷Cs 最多,广东大亚湾稻田土其次,种植在北京褐土上的植物吸收最少。试验还发现,虎尾草、油菜和南瓜吸收¹³⁷Cs 随土壤的 pH 值降低而吸收量增加,表明酸性土壤条件有利于这 3 种植物对¹³⁷Cs 的吸收^[12]。

从表 2 可以看出,在本试验种植的 6 种植物中,虎尾草对¹³⁷Cs 的吸收能力最强,按单位干物重活度计算,当¹³⁷CsCl 施用量为 300kBq/kg 时,北京褐土虎尾草吸收的¹³⁷Cs 为 4.24~350.0 Bq/g,浙江秦山稻田土~1411.90、和广东大亚湾稻田土上分别为 5.10~530.19 Bq/g。油菜对¹³⁷Cs 的吸收能力仅次于虎尾草。由结果可知,6 种植物对¹³⁷Cs 的吸收的顺序是:虎尾草>油菜>红梗叶甜菜>南瓜>红甜菜>东升叶甜菜。

2.2 相同面积上植物对¹³⁷Cs 的吸收能力

评价植物对¹³⁷Cs 的吸收能力,除了看植物单位干物重对¹³⁷Cs 的吸收量以外,还要看植物在相同面积上吸收¹³⁷Cs 的总量。后者是判断植物对污染土壤中¹³⁷Cs 的生物净化能力的非常重要的指标。本试验中在相同面积上植物对¹³⁷Cs 的吸收能力见表 3,可以看出,油菜的吸收能力最强,虎尾草次之。试验的 6 种植物对¹³⁷Cs 的吸收能力依次为:油菜>虎尾草>红梗叶甜菜>南瓜>东升叶甜菜>红甜菜。

2.3 ¹³⁷Cs 土壤/植物的转移系数

转移系数是评价植物对某种核素吸收能力的重要指标之一,一般认为转移系数>1,则表明该植物对此核素具有富集能力。从表 4 可以看出虎尾草的转移系数均大于 1,种植在不同土壤和不同污染水平下的虎尾草转移系数变动在 1.17~4.71 之间,油菜的转移系数小于虎尾草,变动在 0.82~2.19,其余依次为红梗叶甜菜、南瓜、红甜菜、东升叶甜菜。

从表 4 中还可以看出,种植在不同土壤上同一种植物,¹³⁷Cs 从土壤-植物的转移系数是有差别的。以虎尾草为例,在北京褐土上的转移系数为 1.17~2.75,浙江土为 1.50~4.71,深圳土为 1.70~2.95,由此看出¹³⁷Cs 在浙江秦山稻田土上种植的虎尾草的转移系数最高,其余 5 种植物上的表现趋势基本一致,这表明¹³⁷Cs 从浙江秦山稻田土上向植物转移比北京褐土和广东大亚湾稻田土容易,也就是说在污染水平相同的情况下,¹³⁷Cs 从浙江秦山稻田土转移到植物的量比其它两种土壤高。

表 2 6 种植物在不同土壤条件下对¹³⁷Cs 的吸收

Table 2 Absorption of ¹³⁷ Cs by plants under different conditions of soils (X ±sd, Bq/g)							
土壤 soils	施入量 ¹³⁷ Cs applied amount (kBq/kg)	南瓜 <i>Cucurbita moschata</i> <i>Duchesne</i>	虎尾草 <i>Chloris</i> <i>virgata</i>	油菜 <i>Brassica</i> <i>chinensis</i> L.	东升叶甜菜 <i>Beta oulgaris</i> L. Dongshengye	红甜菜 <i>Beta oulgaris</i> L.	红梗叶甜菜 <i>Beta oulgaris</i> L. Hongye
北京褐土	3	1.24 ±0.05	4.24 ±0.23	3.24 ±0.24	2.89 ±0.08	3.02 ±0.39	3.77 ±0.22
Cinnamon soil , Beijing	30	11.66 ±0.69	82.53 ±0.06	35.93 ±0.71	9.03 ±0.18	24.42 ±0.42	21.32 ±0.19
	300	22.82 ±0.59	349.95 ±0.43	247.25 ±0.08	121.09 ±0.69	47.57 ±0.15	308.55 ±0.16
大亚湾稻田土	3	2.31 ±0.81	5.10 ±0.38	6.49 ±0.23	1.55 ±0.17	1.48 ±0.41	3.56 ±0.20
Paddy soil , Dayawan ,	30	32.82 ±0.17	88.56 ±0.01	43.17 ±0.51	15.15 ±0.12	13.82 ±0.31	33.15 ±0.21
	300	351.72 ±0.18	530.19 ±0.07	422.25 ±0.10	242.19 ±0.42	198.37 ±0.23	864.24 ±0.10
秦山稻田土	3	3.22 ±0.16	4.49 ±0.08	3.94 ±0.01	2.76 ±0.45	2.88 ±0.03	1.99 ±0.20
Paddy soil , Qinshan	30	30.78 ±0.51	85.09 ±2.39	86.27 ±0.26	40.97 ±0.67	48.58 ±0.50	72.30 ±0.21
	300	550.42 ±0.03	1411.90 ±0.17	657.07 ±0.14	132.50 ±0.10	135.18 ±0.46	774.34 ±0.41

表 3 每盆植物对¹³⁷Cs 的吸收总量

Table 3 Gross ¹³⁷ Cs absorption by plants of each pot (Bq/pot)							
土壤 soils	施入量 ¹³⁷ Cs applied amount (kBq/kg)	南瓜 <i>Cucurbita moschata</i> <i>Duchesne</i>	虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	油菜 <i>Brassica chinensis</i> L.	东升叶甜菜 <i>Beta oulgaris</i> L. Dongshengye	红甜菜 <i>Beta oulgaris</i> L.	红梗叶甜菜 <i>Beta oulgaris</i> L. Hongye
北京褐土	3	4.52	5.08	8.52	2.40	3.76	7.13
Cinnamon soil , Beijing	30	9.84	7.26	12.54	3.25	5.05	4.13
	300	6.25	7.87	17.99	1.07	1.46	3.04
大亚湾稻田土	3	41.97	83.44	111.33	8.59	27.82	36.40
Paddy soil , Dayawan ,	30	89.01	164.81	219.09	23.99	84.92	144.53
	300	69.24	117.48	128.66	10.44	19.81	38.93
秦山稻田土	3	94.25	379.17	719.75	92.57	44.48	400.80
Paddy soil , Qinshan	30	1448.15	3459.17	1989.60	135.54	159.37	1185.52
	300	961.96	700.39	1442.18	224.99	160.88	878.50

表 4 6 种植物的¹³⁷Cs 土壤/植物的转移系数

Table 4 Transfer factor of ¹³⁷ Cs of different plants in soil-plant system							
土壤 soils	施入量 ¹³⁷ Cs applied amount (kBq/kg)	南瓜 <i>Cucurbita moschata Duchesne</i>	虎尾草 <i>Chloris virgata</i>	油菜 <i>Brassica chinensis</i> L.	东升叶甜菜 <i>Beta oulgaris</i> L. Dongshengye	红甜菜 <i>Beta oulgaris</i> L.	红梗叶甜菜 <i>Beta oulgaris</i> L. Hongye
北京褐土	3	0.41 ±5.1E-2	1.41 ±2.3E-2	1.08 ±2.0E-2	0.96 ±8.1E-2	1.01 ±3.9E-2	1.26 ±2.2E-2
Cinnamon soil ,	30	0.39 ±5.8E-2	2.75 ±5.7E-2	1.20 ±7.0E-2	0.30 ±1.8E-2	0.81 ±2.4E-2	0.71 ±1.9E-2
Beijing	300	0.08 ±1.1E-2	1.17 ±4.3E-2	0.82 ±8.0E-2	0.40 ±6.8E-2	0.16 ±1.4E-2	1.03 ±1.6E-2
大亚湾稻田土	3	1.07 ±0.16	1.50 ±8.1E-2	1.31 ±0.8E-2	0.92 ±4.5E-2	0.96 ±3.1E-2	0.66 ±2.0E-2
Paddy soil ,	30	1.03 ±0.15	2.84 ±2.4E-2	2.88 ±2.6E-2	1.37 ±6.7E-2	1.62 ±5.0E-2	2.41 ±2.1E-2
Dayawan ,	300	1.83 ±8.1E-2	4.71 ±1.7E-2	2.19 ±1.3E-2	0.44 ±9.5E-2	0.45 ±4.6E-2	2.58 ±4.1E-2
秦山稻田土	3	0.77 ±0.15	1.70 ±3.7E-2	2.16 ±2.3E-2	0.52 ±1.7E-2	0.49 ±4.1E-2	1.19 ±2.1E-2
Paddy soil ,	30	1.09 ±0.16	2.95 ±0.78E-2	1.44 ±5.1E-2	0.51 ±1.2E-2	0.46 ±3.1E-2	1.10 ±2.0E-2
Qinshan	300	1.17 ±0.18	1.77 ±7.5E-2	1.41 ±1.0E-2	0.81 ±4.2E-2	0.66 ±2.3E-2	2.88 ±1.0E-2

2.4 植物吸收¹³⁷Cs 的能力的综合评估

针对不同污染活度和土壤理化特性,筛选生物修复的优势植物最终应建立在综合评价的基础上。如已有的研究表明,锦葵科植物的转移系数最高,可以达到 5 以上;十字花科油菜的转移系数在 2 以上。但是由于草本植物比木本植物生长快,产量高,一年可以收获几次,用于吸收土壤中的¹³⁷Cs 效果更好。图 1 是对 6 种植物吸收¹³⁷Cs 的能力,包括¹³⁷Cs 在各种植物中的比活度、相同面积上植物吸收¹³⁷Cs 总活度、转移系数等在内的综合评估结果表明,综合对植物吸收¹³⁷Cs 的几个因素进行评价,不难看出,虽然虎尾草的生物产量较油菜小但是由于它的¹³⁷Cs 的比活度最高,转移系数最大,所以综合评估结果认为虎尾草对¹³⁷Cs 的生物修复作用最好。其次是十字花科的油菜,其¹³⁷Cs 比活度和转移系数都排第 2 位,但是它的生物产量比虎尾草高,所以在相同面积上吸收量排第 1 位,总评排在第 2 位。藜科的甜菜的 3 个品种中,以红梗叶甜菜表现最好,在试验所用的 6 种植物中排在第 3 位。

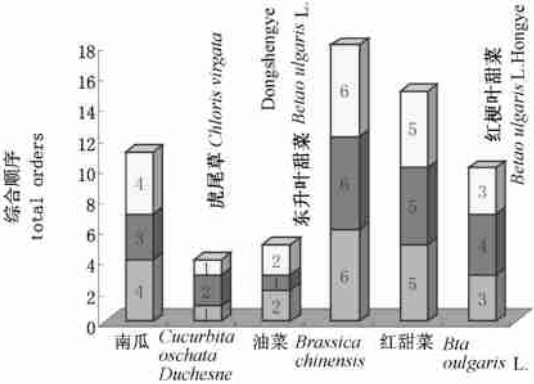


图 1 植物吸收¹³⁷Cs 能力的综合评价

Fig. 1 Comprehensive evaluation of ¹³⁷Cs absorption ability of differnt plants

为转移系数排序； 为相同面积上植物吸收¹³⁷Cs 的总活度的排序； 为植物¹³⁷Cs 的比活度排序；柱中数字分别代表各指标排序的序号
represents the order of transfer factor , the order of total activity in plant and the order of specific activity of plant ; the figure in the column represents the evaluation order of each factor

3 结论

- 3.1 试验所用的 6 种植物在自然界广泛存在,且吸收钾能力高,在 3 种供试土壤上对¹³⁷Cs 均有较高的吸收能力,植物体中吸收¹³⁷Cs 的比活度随污染活度的增加而增加,两者呈显著正相关 $r^2 = 0.9989$ 。
- 3.2 相同污染活度条件下,在土壤 pH 值为 7.69~5.22 的范围,虎尾草、油菜和南瓜吸收¹³⁷Cs 的比活度随土壤的 pH 值降低而吸收量增加,表明在酸性土壤条件下有利于这 3 种植物对¹³⁷Cs 的吸收。
- 3.3 试验对¹³⁷Cs 在各种植物中的比活度、相同面积上植物吸收¹³⁷Cs 总活度、转移系数进行综合评价,认为虎尾草对¹³⁷Cs 污染土壤的生物修复作用最好,其次是十字花科的油菜和藜科红梗叶甜菜。

参考文献:

[1] 唐世荣,郑洁敏,等. 六种水培的苋科植物对¹³⁷Cs 的吸收和积累. 核农学报,2004,18(6):274~279

- [2] 朱永懿,杨俊诚,陈景坚,刘学莲. 施肥和翻耕措施对减少水稻吸收¹³⁷Cs的效应. 核农学报, 1998, 12(3): 165 ~ 170
- [3] 朱永懿,杨俊诚,陈景坚,刘学莲. 使用钾盐对降低¹³⁷Cs从土壤-农作物转移率的效应. 核农学报, 1999, 13(4): 242 ~ 247
- [4] 杨俊诚,朱永懿,陈景坚,潘家荣,余柳青. ¹³⁷Cs不同污染水平对大亚湾、秦山、北京土壤-植物系统的转移. 核农学报, 2002, 16(2): 93 ~ 97
- [5] Brooks R R. Plants that Hyperaccumulate Heavy Metals. CAB International, Wallingford, 1998, 380
- [6] Entry J A, Vance N C, et al. Phytoremediation of soil contaminated with low concentration of radionuclides. Water, Air and Soil Pollution, 1996, 88: 167 ~ 176
- [7] Lasat M M, Fuhrmann M, et al. Phytoremediation of a radiocaesium contaminated soil: evaluation of caesium-137 bioaccumulation in shoots of three plant species. Environ Qual, 1998, 27: 165 ~ 169
- [8] Lasat M M, Norvell W A, et al. Potential for phytoextraction of ¹³⁷Cs from a contaminated soil. Plant soil, 1997, 195: 99 ~ 106
- [9] Nisbet A F, Woodman R F M. Soil to plant transfer factors for radiocaesium and strontium in agricultural systems. Health Physics, 2000, 78(3): 279 ~ 288
- [10] Dushenkov S, Mikheev A, et al. Phytoremediation of radiocaesium contaminated soil in the vicinity of Chernobyl, Ukraine. Environmental Sci Technology, 1999, 33: 469 ~ 475
- [11] Weaver C M, Harris N D and Fox L R. Accumulation of strontium and cesium as a function of age of plant. J Environ Qual, 1981, 10: 95 ~ 98
- [12] Zhu Y G, Shaw G, Nisbet A F and Wilkins B T. Effect of potassium on the uptake of radiocaesium by spring wheat (*Triticum aestivum* cv. Tonic). Plant and Soil. 2000, 220: 27 ~ 34
- [13] Shaw G, Bell J N B. Competitive effects of potassium and ammonium on caesium uptake kinetics in wheat. Journal of Environmental radioactivity, 1991, 13: 283 ~ 296
- [14] Zhu Y G, Shaw G, et al. Effects of External Potassium Supply on Compartmentation and Flux Characteristics of Radiocaesium in Intact Spring Wheat Roots. Analysis of Botany, 2000, 85: 293 ~ 298
- [15] Zhu Y G and Smolders E. Plant uptake of radiocaesium: a review of mechanisms, regulation and application. Journal of Experimental Botany, 2000, 51(351): 1635 ~ 1645
- [16] Hird A B, RIMMER D L & LIVENS F R. Factors affecting the sorption and fixation of caesium in acid organic soil. European Journal of Soil Science, 1996, 47: 97 ~ 104

韩国食品英国被召回 快餐面条被指存在辐射成分

英国食品标准局(The Food Standards Agency FSA)日前发布警报说,韩国产的NongShim牌快餐面条由于未申报存在辐射成分已被召回。

经销这种产品的G. Costa & Company Ltd已经召回了各种Nong Shim牌快餐面条,因为这些面条未申报存在辐射成分。G. Costa & Company Ltd是直接从原产地韩国汉城的Nong Shim有限公司进口这种产品的。

由于这种产品没有标示其经过辐射,因而不符合1996年的《英国食品标签规则》。同时由于这些辐射不是在经过批准的食品辐射车间进行的,因而不符合1990年的《英国食品(辐射控制)规则》。

FSA的警报说,尽管目前还没有直接起因于这些辐射产品的食品安全案例,但食品辐射是法规严格限制的,只有得到许可和经批准的辐射设施才能为特定的目的处理特定的食品。同时英国法规也要求所有经过辐射的食品必须恰当地标出“经辐射”或“经电离辐射处理”的字样,以便使消费者能够作出他们是否购买该产品的决策。

在发出上述食品警报之后,英国食品标准局还进一步确定下列公司进口过Nong Shim牌产品:萨里的新马尔顿韩国食品公司;诺丁汉的J. K食品公司;萨顿的Rose Kibong有限公司;萨里的绿色农场;米德尔塞克斯郡的SW贸易公司;萨里的新马尔顿超市有限公司;萨里的新马尔顿Jo Enterprise。记者高素英 林洁雯(高美须摘自2005年08月01日出版的中国质量报)