

黄土高原沙棘人工林地土壤抗蚀性指标探讨

胡建忠 范小玲 王愿昌 张 鉴 王鸿斌

(黄委会西峰水土保持科学试验站·西峰市·745000)

摘 要 抗蚀性是抗冲性既有联系,又有区别的一个衡量土壤抗侵蚀能力的重要指标。在黄土高原的两大侵蚀类型区——高塬沟壑区、丘陵沟壑区,分布着数百万公顷沙棘人工林,其抗侵蚀能力愈来愈受关注。要正确评价沙棘人工林的抗蚀功能,一个科学、有效、便利的评价体系是不可缺少的。在反映土壤抗蚀性的纷杂繁多的指标中,经过主成分分析,筛选出了符合不同精度要求的“最佳指标”、“最佳2指标”、“最佳3指标”等评价体系。

关键词: 土壤抗蚀性 主成分分析 人工林 沙棘 黄土高原

Soil Anti-erodibility Indexes of *Hippophae Rhamnoides* Forest in Loess Plateau

Hu Jianzhong Fan Xiaoling Wang Yuanchang Zhang Jian Wang Hongbin
(Xifeng Experimental Station of Soil and Water Conservation of
Water Conservancy Committee of the Yellow River, Xifeng, Gansu Province, 745000, PRC)

Abstract Anti-erodibility is one important index to estimate soil anti-erosion capacity which has relation and difference with anti-scouring ability. There are thousands of hundreds hectare *Hippophae rhamnoides* forest in loess plateau region, and its anti-erosion capacity has been paid more and more attention. One scientific, effective and advantage evaluation system is essential to evaluate anti-erosion capacity of *Hippophae rhamnoides* forest. Using principal component analysis, different evaluation system—“Optimum 1 Index”, “Optimum 2 Indexes”, and “Optimum 3 Indexes” are chosen among many indexes.

Keywords: soil anti-erodibility; principal component analysis; artificial forest; *Hippophae rhamnoides*; loess plateau

黄土高原是我国新构造运动比较活跃的地区,加之地形破碎,植被稀少,暴雨强烈,特别是受黄土层深厚、岩性松软的影响,土壤侵蚀十分严重。在与土壤侵蚀斗争的实践中,人们同时也在不断完善、调整着衡量土壤抗侵蚀性能的指标评价体系,土壤抗蚀性就是其中较为新颖的指标之一。近年来,以防止土壤侵蚀为主要目的的沙棘(*Hippophae rhamnoides* L.)人工林已成

为黄土高原造林面积相当大的一个水保林种,为了能够及时掌握沙棘人工林在抗土壤侵蚀方面的功能,更好地推动沙棘造林工作,研究沙棘林地土壤抗蚀性及最佳评价指标就具有十分重要的意义。

1 自然概况

研究地区选在黄土高原的两大类型区,同时也是主要水土流失区,即丘陵沟壑区的甘肃省镇原县武沟乡,和高塬沟壑区的甘肃省西峰市后官寨乡南小河流域,其基本情况详见表1。

表1 沙棘抗蚀性研究地区基本情况

地点	北纬	东经	海拔 (m)	降雨量 (mm)	蒸发量 (mm)	年均温 ()	主要土壤类型	植被带
武沟	35 51	106 58	1300 ~ 1600	480	1550	7.8	黄绵土	草原地带
南小河流	35 43	107 34	1220 ~ 1390	556	1475	9.3	黄绵土	森林草原地带

2 材料与方法

2.1 供试林地

丘陵沟壑区包括不同立地的18种沙棘人工林地(2~12龄),高塬沟壑区包括不同立地的4种沙棘人工林地(10龄),样地情况见表2。

表2 沙棘抗蚀性研究样地基本情况

编号	地形	坡向	坡位	坡度(°)	海拔(m)	造林年份	整地方式
椿-01	沟坡	E	下	44	1330	1984	鱼鳞坑
椿-02	塬坡	S	上	40	1450	1988	鱼鳞坑
椿-03	塬坡	S	上	30	1460	1986	鱼鳞坑
椿-04	塬坡	S 55 E	上	35	1460	1986	鱼鳞坑
椿-05	沟头	N	上	32	1450	1986	水平阶
椿-06	塬坡	N 80 W	上	12	1480	1984	水平阶
椿-07	塬坡	N	上	15	1475	1984	水平阶
椿-08	塬坡	S 45 W	上	11	1472	1984	水平阶
椿-09	梁坡	N 80 E	中	25	1420	1988	水平阶
椿-10	梁坡	N 20 E	中	14	1450	1988	水平阶
庄-01	梁坡	N 45 E	中	5	1510	1985	退耕地
庄-02	梁坡	N	中	5	1500	1985	退耕地
庄-03	梁坡	S 80 W	中	2	1510	1985	退耕地
牛-01	塬坡	S	上	20	1590	1983	水平阶
雷-01	塬坡	N 10 E	上	26	1505	1984	退耕地
雷-02	塬坡	N 10 E	上	15	1500	1988	退耕地
雷-03	塬坡	W	上	20	1507	1988	退耕地
碾-01	塬坡	S 20 W	中	12	1600	1984	退耕地
*老-01	梁坡	S	上	35	1350	1981	水平阶
*老-02	沟坡	S 15 W	下	32	1220	1981	水平阶
*驴-01	梁顶	N 45 E	中	22	1265	1981	鱼鳞坑
*魏-01	沟坡	N	下	35	1230	1981	鱼鳞坑

注:*代表南小河流样地;其余均为武沟样地

2.2 土壤取样方法

每一林地均挖取土壤剖面2~3个,按上(0~10cm)、中(10~50cm)、下(50~100cm)土壤层次取样。

2.3 土壤分析方法

有机质用‘重铬酸钾法’;机械组成、微团聚体用‘吸管法’;水稳性团粒用土壤团粒分析仪测定。

3 结果与分析

3.1 土壤抗蚀性及其评价指标的认识和选择

3.1.1 土壤抗蚀性的含义 土壤抗蚀性指土壤抵抗水的分散和悬浮的能力。它与反映土壤抵抗地表径流的机械破坏的推移能力的抗冲性指标是不同的,两个指标间既有着密切的联系,又有着某种质的区别。抗蚀性大小主要取决于土壤对水的亲和力以及土粒间的胶结力。胶结力小,与水亲和力大的土壤容易被水分散和悬浮,土壤结构体易遭破坏并解体,形成细小颗粒堵塞土壤孔隙,降低渗透速度,引起地表泥泞,为径流汇集、冲击分散土粒发生侵蚀而创造了条件。因此,土壤抗蚀性与结构胶结物质有着密切关系,土壤中有机和无机的胶体含量愈高,土壤抗蚀性愈强。

3.1.2 土壤抗蚀性指标概述 衡量土壤抗蚀性的指标很多^[1-3],归纳起来,主要有以下4大类12个指标,详见表3。

表3 常用土壤抗蚀性指标

无机粘粒类	水稳性团粒类	微团聚体类	有机胶体类
< 0.05mm 粉粘粒含量(x_1)		团聚状况(x_8)	有机质(x_{12})
< 0.01mm 物理性粘粒含量(x_2)	> 0.25mm 水稳性团粒含量(x_5)	团聚度(x_9)	
< 0.001mm 胶粒(细粘粒)含量(x_3)	> 0.5mm 水稳性团粒含量(x_6)	分散率(x_{10})	
结构性颗粒指数(x_4)	平均重量直径(x_7)	分散系数(x_{11})	

注: X_7 单位为 mm, 其余均为%。平均重量直径指各粒级水稳性团粒直径以其重量百分比为权数而求得平均值;

结构性颗粒指数= 细粘粒含量(< 0.001mm)/ 粉粒含量(0.001~0.05mm);

团聚状况= > 0.05mm 微团聚体分析值- > 0.05mm 机械组成分析值;

团聚度= 团聚状况/ > 0.05mm 微团聚体分析值;

分散率= < 0.05mm 微团聚体分析值/ < 0.05mm 机械组成分析值;

分散系数= < 0.001mm 微团聚体分析值/ < 0.001mm 机械组成分析值。

3.1.3 土壤抗蚀性指标的初步评价 上述指标体系尽管比较全面,但却显得繁冗复杂,应用起来很不方便,况且有些指标间信息重叠,相互间具有一定的关联性。因此,可以考虑用较少的新指标来代替原有指标,并尽可能保存原有多指标的信息。该文选用主成分分析法^[4],以确定黄土高原沙棘人工林地土壤的抗蚀性最佳评价指标。

3.2 丘陵沟壑区沙棘人工林地土壤抗蚀性最佳指标的分析

为了能够充分反映丘陵沟壑区沙棘人工林地的土壤抗蚀性,试验样地共涉及到不同坡向(阴、阳、半阴阳)、不同地形(梁峁坡、梁峁顶、沟坡)、不同坡度(2~44°)以及不同林龄(7~12龄)的18种沙棘人工林地,即表2中未带* 的林地。限于篇幅,表4仅列出了林地表土层(0~10cm)的土壤抗蚀性指标计算结果,同时,配合图1也可以直观看出其变化趋势(图中只绘出了

变化幅度较大,有可能影响抗蚀性的 X_5, X_6, X_9, X_{11} 4个指标)。各抗蚀性指标的主成分分析结果见表5。

表4 丘陵沟壑区沙棘人工林地表土层抗蚀性指标计算值

%

编号	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7 (mm)	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
椿-01	87.3	34.5	13.6	18.4	38.2	28.4	1.4	6.8	35.0	92.2	22.9	1.7
椿-02	87.8	32.6	12.8	17.0	13.3	8.3	1.0	7.2	37.0	91.9	14.8	1.4
椿-03	82.9	32.5	14.1	20.4	53.4	45.4	3.1	6.4	27.2	92.3	17.9	1.9
椿-04	81.7	29.5	9.8	13.6	23.5	17.7	1.8	6.4	25.8	92.2	11.7	1.7
椿-05	83.7	34.5	12.3	17.2	42.2	32.3	2.3	5.3	24.6	93.7	10.3	1.9
椿-06	84.6	34.2	14.3	20.4	34.9	22.8	1.7	5.5	26.3	93.5	1.1	1.2
椿-07	83.6	30.6	10.5	14.4	35.3	24.7	1.6	11.7	41.6	86.0	8.5	1.9
椿-08	83.5	29.5	10.0	13.7	26.0	17.0	1.0	9.8	37.2	88.3	5.1	1.3
椿-09	81.7	26.7	11.3	16.0	36.8	30.2	3.3	11.3	38.2	86.2	17.1	2.3
椿-10	80.0	28.7	9.4	13.3	45.7	41.9	3.9	7.4	27.1	90.7	25.9	1.8
庄-01	89.3	26.3	9.3	11.7	11.8	5.8	0.9	12.6	54.0	85.9	21.0	0.8
庄-02	82.7	28.0	9.1	12.3	12.7	5.9	0.8	1.3	7.0	98.4	14.4	0.8
庄-03	88.3	27.9	13.2	17.5	19.5	11.0	0.9	3.6	23.7	95.9	10.8	0.6
牛-01	86.2	31.5	10.4	13.7	15.2	9.1	0.9	3.1	18.2	96.4	18.5	0.7
雷-01	82.3	28.2	10.3	14.3	21.8	12.4	0.9	4.2	19.2	94.9	5.7	1.1
雷-02	82.5	26.2	11.2	15.7	7.1	3.5	0.8	3.8	26.5	95.4	11.0	0.8
雷-03	84.0	26.2	10.9	14.9	9.1	4.9	1.1	7.4	31.7	91.2	4.1	1.3
碾-01	84.2	32.8	11.3	15.5	11.1	7.5	1.3	8.9	36.1	89.4	29.1	1.7

注: X_i 为抗蚀性指标。

表5 丘陵沟壑区主成分分析结果

主成分	特征值	特 征 向 量												累计变异 (%)
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	
Y_1	4.15	-0.13	0.21	0.20	0.24	0.44	0.45	0.38	0.22	0.15	-0.23	0.12	0.40	34.6
Y_2	3.20	0.001	-0.27	-0.34	-0.36	-0.15	-0.12	-0.04	0.47	0.41	-0.46	0.13	0.15	61.3
Y_3	2.48	0.55	0.32	0.40	0.31	-0.09	-0.14	-0.32	0.19	0.37	-0.16	-0.05	-0.12	82.0
Y_4	1.04	0.26	0.19	-0.08	-0.14	-0.05	0.03	0.11	-0.11	-0.04	0.13	0.09	-0.09	90.6
...
Y_{12}	0.0001	-0.11	-0.01	0.35	-0.31	0.02	-0.01	-0.11	0.65	-0.05	0.59	0.01	-0.01	100

表5中前3个主成分 (Y_1, Y_2, Y_3) 已构成了总变异的绝大部分(占82%),信息损失量仅18%,可以满足主成分分析对信息损失量的要求⁽⁴⁾,故此,抗蚀性指标可由原先的12维

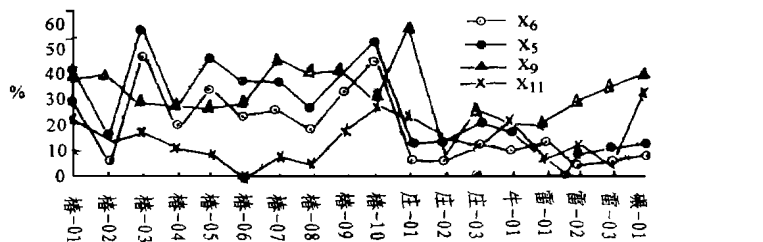


图1 丘陵沟壑区沙棘人工林地表土层抗蚀性指标曲线

降到3维,其含义可由原指标对其影响的程度来决定。从构成 Y_1, Y_2, Y_3 的原有12个指标 ($X_1 \sim X_{12}$) 的系数亦即特征向量值可以看出:

第一主成分(Y_1)的 X_6, X_5, X_{12} 等的系数较高,故称第一主成分为团粒类因子;第二主成分(Y_2)的 X_8, X_{10}, X_9 等的系数较高,故称第二主成分为团聚类因子;第三主成分(Y_3)的 X_1, X_3 等的系数较高,故称第三主成分为无机粘粒类因子。从用 Y_1, Y_2, Y_3 组合而成的2幅PCA排序图(图2)上亦可清楚看到同样结果: I 为团粒类因子, II 为团聚类因子, III 为无机粘粒类因子。

从上面的分析中亦可发现,能够集中反映 Y_1, Y_2, Y_3 这3个主成分的原指标主要为 $X_6, X_5, X_{12}, X_8, X_9$ 等。因此,

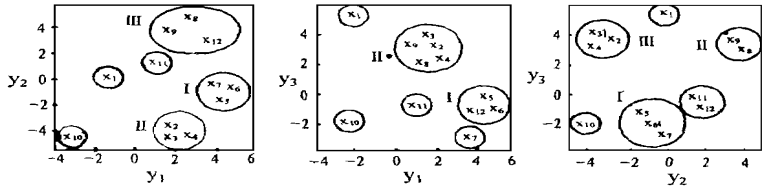


图2 沙棘人工林地土壤抗蚀性指标 PCA 排序

根据原指标对主成分的贡献大小以及研究精度的要求,可以确定不同的最佳指标评价体系:最佳指标: X_6 ;最佳2指标: X_6, X_5 ;最佳3指标: X_6, X_5, X_{12} ;最佳5指标: $X_6, X_5, X_{12}, X_8, X_9$ 。

由于水稳性团粒含量(X_6, X_5)和有机质(X_{12})对土壤抗蚀性的贡献很大,且测定方法较为简单,因此,“最佳3指标”较为适宜丘陵沟壑区沙棘人工林地土壤抗蚀性的评价。

3.3 高塬沟壑区沙棘人工林地土壤抗蚀性最佳指标的分析

4种立地、不同土层(上、中、下)的10龄沙棘人工林地土壤抗蚀性指标见表6,其变化趋势见图3(图中只绘出了变化幅度较大,有可能影响抗蚀性的 X_5, X_6, X_9, X_{10} 4个指标)

以往许多成果都揭示了土壤抗蚀性具有由表层向下层递减的规律^[13],表6中符合这一规律的有 $X_5, X_6, X_8, X_9, X_{12}$ 这5个指标,故从一定程度上反映了其作为衡量土壤抗蚀性最佳指标的可能性。

表6 高塬沟壑区沙棘人工林地土壤抗蚀性指标计算值

立地	土层	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7 (mm)	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
老	上	77.1	35.5	9.6	14.2	39.4	33.0	2.9	2.1	8.5	97.2	22.5	2.5
	中	79.7	30.6	9.1	12.9	56.8	50.0	3.7	9.3	31.4	88.4	28.0	1.4
01	下	81.3	34.7	10.9	15.6	61.2	55.7	4.7	3.5	15.7	95.7	23.7	0.7
老	上	79.9	30.4	9.5	13.6	59.7	51.4	3.5	5.8	22.5	92.7	14.4	1.5
	中	79.1	37.2	7.8	10.9	51.2	45.1	4.2	1.9	8.2	97.6	30.1	1.4
02	下	79.7	34.6	9.5	13.5	4.8	1.8	0.6	1.5	7.1	99.0	25.6	0.4
驴	上	80.6	27.6	8.7	12.1	53.4	44.3	1.4	5.0	20.6	93.8	20.4	3.4
	中	79.8	28.5	6.3	8.5	24.6	18.2	1.9	1.4	6.3	98.3	42.7	1.6
01	下	80.5	28.7	9.5	13.3	17.0	9.9	0.9	0.6	2.7	99.3	6.4	0.5
魏	上	82.2	37.7	11.5	16.2	75.6	68.6	1.9	5.2	22.6	93.7	26.6	3.3
	中	82.9	47.4	16.9	25.7	67.8	54.0	2.4	1.0	5.3	98.8	24.7	1.4
01	下	75.2	35.8	12.0	18.9	64.9	56.9	3.6	0.3	1.1	99.9	14.4	0.7

注: X_i 为抗蚀性指标。

从用0~100cm各层土壤抗蚀性指标的加权平均值进行主成分分析的结果(表7)来看,前3个主成分(Y_1, Y_2, Y_3)已构成了总变异的大部分(占78.8%)。

表7 高塬沟壑区主成分分析结果

主成分	特征值	特 征 向 量												累计变异 (%)
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	
Y_1	4.26	0.16	0.06	0.10	0.08	0.40	0.41	0.24	0.40	0.41	-0.41	0.05	0.26	35.5
Y_2	3.64	0.05	0.46	0.48	0.49	0.24	0.21	0.09	-0.25	-0.23	0.24	-0.13	-0.09	65.9
Y_3	1.54	0.64	0.11	0.18	0.11	-0.16	-0.19	-0.61	0.04	0.10	-0.03	0.13	0.30	78.7
Y_4	1.16	0.04	0.28	-0.17	-0.16	0.06	0.07	0.21	-0.16	-0.13	0.15	0.85	0.18	88.3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
Y_{12}	0.0001	0.10	-0.00	-0.66	0.62	-0.12	0.14	0.00	0.29	-0.09	0.21	-0.02	0.001	100

第一主成分 (Y_1) 占总变异的35.5%, 其 $X_6, X_9, X_{10}, X_5, X_8, X_{12}$ 的系数较高且十分接近, 故称第一主成分为团粒团聚类因子; 第二主成分 (Y_2) 占总变异的30.4%, 其 X_4, X_3, X_2 的系数较高, 故称第二主成分为无机粘粒类因子; 第三主成分 (Y_3) 占总变异的12.8%, 其 X_1, X_7, X_{12} 的系数较高, 故称第三主成分为综合类因子。

综合表6, 表7反映的信息, 证明能够集中反映 Y_1, Y_2, Y_3 这三个主成分的原指标为 $X_6, X_9, X_5, X_8, X_{12}$, 与丘陵沟壑区的衡量指标完全相同, 只是贡献大小排

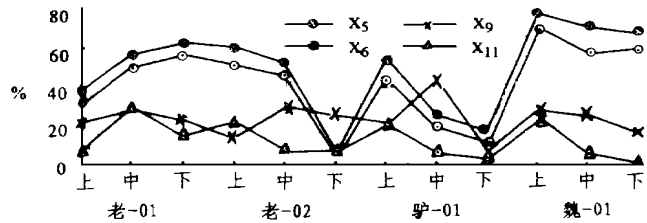


图3 高塬沟壑区沙棘人工林地土壤抗蚀性指标曲线

序略有差异。同样, 根据原指标对主成分贡献大小以及研究精度的要求, 可以确定不同的最佳指标评价体系: 最佳指标: X_6 ; 最佳2指标: X_6, X_5 ; 最佳4指标: X_6, X_5, X_9, X_8 ; 最佳5指标: $X_6, X_5, X_9, X_8, X_{12}$ 。

与丘陵沟壑区不同的是, 高塬沟壑区有机质含量 (X_{12}) 的特征向量明显较低, 反映了这一指标在高塬沟壑区还是具有一定的局限性的, 其原因还有待进一步研究。但“最佳指标”、“最佳2指标”两区却完全相同, 可用于黄土高原主要水土流失区的土壤抗蚀性评价。

还需说明的是, 不管丘陵沟壑区还是高塬沟壑区, 分散率 (X_{10}) 这一指标与抗蚀性均呈负相关 (与其定义相一致), 且特征向量系数的绝对值较大, 但考虑到其它指标均为正极性指标, 故将这一负极性指标舍去, 以使评价指标体系更为简洁。

4 结 论

(1) 丘陵沟壑区沙棘人工林地土壤抗蚀性指标可分为团粒类、团聚类和无机粘粒类3大类。 $> 0.5\text{mm}$ 和 $> 0.25\text{mm}$ 水稳性团粒含量、有机质3个指标可以很好地反映土壤抗蚀性。

(2) 高塬沟壑区沙棘人工林地土壤抗蚀性指标可以分为团粒团聚类、无机粘粒类和综合类3大类。 $> 0.5\text{mm}$ 和 $> 0.25\text{mm}$ 水稳性团粒含量2个指标能够充分反映土壤抗蚀性。

(3) 能够反映黄土高原两大类型区沙棘人工林地土壤抗蚀性的最佳指标为 $> 0.5\text{mm}$ 水稳性大团粒的含量。

(下转第93页)

3.4 增加农业投入, 强化基础设施建设

农业投入不足, 生产基础设施差是制约农业发展的关键因素。若不增加农业投入, 扩大耕地面积, 到本世纪末人均占有耕地水平还要下降。同时, 良种推广、化肥应用、病虫害防治、基础设施改善等科技兴农措施都不可能很好开展起来, 就很难生产出更多的粮食, 这是人所共知的。目前, 全省尚有 22.21 万 hm^2 浅山耕地干旱缺水, 单产不高, 多年实践证明, 包括水利主体工程和田间配套工程, 每改造 1hm^2 旱变水地需投资 15 000 元, 年可增产粮食 3 000 ~ 3 750kg; 开发 1hm^2 荒地变水浇地需投资 18 000 元, 年可增产粮食 5 250 ~ 6 000kg; 改造 1hm^2 中低产田需投资 6 000 元, 可增产粮食 1 050 ~ 1 500kg; 治沙造田每 1hm^2 需投资 13 500 元, 可增产粮食 3 750 ~ 4 500kg。鉴于当前国家和地方财力紧缺情况, 必须发扬“自力更生为主, 国家支援为辅”的精神, 采取国家、集体、个人一齐上的办法, 多渠道、多层次增加对农业资金的投入。同时, 也必须充分利用农村剩余劳力这一巨大资源, 抓住有利时机, 利用春播后, 秋收后农忙间隙, 发动和组织广大农民, 人工、机械相结合, 积极参加农田水利建设和小流域治理, 种草种树, 绿化环境, 维修和兴建水利工程, 推广旱作农业技术等各项生产活动, 进行综合治理, 改变农业生产条件, 为农业增添后劲。实践证明, 科技兴农, 每 1hm^2 可增产粮食 37.5kg, 到本世纪末可增加粮食 2 亿多 kg。

3.5 认真贯彻《计划生育法》, 严格控制人口增长

必须清醒地看到, 青海省计划生育, 在 10 年左右时间里, 仍处于人口出生率高高峰期, 因此, 这项工作任务还相当艰巨。但适当降低人口自然增长率也并非可望而不可及。关键在领导, 问题在落实。坚信只要各级政府充分认识到控制人口的长期性和艰巨性, 各级党政一把手亲自抓, 把扶贫开发与计划生育结合起来, 建立严格的责任制, 真抓实干, 做到责任、投入、措施“三到位”把这项工作作为考核干部目标责任制的一项重要内容, 健全基层计划生育管理机构, 切实加强计划生育的领导, 严格控制计划外生育和多胎生育, 把计划生育工作作为持续发展的重要组成部分, 锲而不舍地抓紧抓好, 一定会抓出成效, 使人口、资源、环境得到协调发展。只要坚持不懈地严格执行“土地管理法”、“计划生育法”等中央和地方的有关法规, 耕地的减少和人口的增加是完全可以得到有效控制的。因此, 展望未来, 青海省将会同黄土高原兄弟省一样, 2020 年后除粮食问题能得到妥善解决外, 林业、畜牧业等都可逐渐提高商品率, 对国家做出贡献。更有寄托的优势是不断探明和开采的柴达木盆地地下宝藏和雄厚的水电资源, 将是青海省乃至中国经济发展的希望所在。

(参考文献略)

(上接第 30 页)

参 考 文 献

- 1 高维森等. 土壤抗蚀抗冲性研究综述. 水土保持通报, 1992, 12(5): 59 ~ 63
- 2 黄义端等. 土壤内在性质对侵蚀影响的研究. 水土保持学报, 1989, 3(3): 9 ~ 14
- 3 余新晓等. 黄土高塬沟壑区土壤抗蚀性的初步研究. 北京林业大学学报, 1988, 10(1): 28 ~ 34
- 4 杨义群等. 回归设计及多元分析——在农业中的应用. 杨陵: 天则出版社. 1990. 131 ~ 228