

土壤肥力的卫星遥感探测

曾志远

(中国科学院南京土壤研究所)

最近十多年来,利用遥感数据清查地球表面各种资源的分布方面,研究有了很大的进展,而利用遥感数据估计这些资源的数量,则相对说来进展较缓。因为后者的难度较大。

在资源的数量估计方面,对于呈现在地面上的资源数量,例如植物的生产量,包括天然的和栽培的,研究较有成效,而对于隐藏在地下的资源的数量,例如岩石中和土壤中物质的含量,研究成效就不那么显著了。因为后者的估计更加困难。

作者曾经测量土壤景观在资源卫星4、5、6、7波段图象上的密度值 D_4, D_5, D_6, D_7 ,然后将它们换算成较稳定的辐射值 R_4, R_5, R_6, R_7 , (毫瓦/厘米²·立体角),用以探测土壤表层(0—20厘米)有机质的含量 $H(\%)$ 和全氮含量 $N(\%)$ ^[1]。这里对该文中所述的探测方法和探测精度作了改进。

一、土壤有机质H的多元非线性回归探测

文献[1]使用一元非线性回归的方法,分别用各个波段的辐射值 $R_j(j=4, 5, 6, 7)$,得到探测土壤有机质的方程如下:

$$H = 0.6320R_4^{-2.4204} \quad (s = 0.15, r = -0.87, F = 26.7^{**}) \quad (1)$$

$$H = 0.4889R_5^{-1.9456} \quad (s = 0.17, r = -0.84, F = 21.0^{**}) \quad (2)$$

$$H = 0.2909R_6^{-2.3470} \quad (s = 0.14, r = -0.89, F = 29.2^{**}) \quad (3)$$

$$H = 1.9530R_7^{-2.4048} \quad (s = 0.12, r = -0.92, F = 43.6^{**}) \quad (4)$$

现在考虑同时使用资源卫星四个波段的辐射值 R_4, R_5, R_6, R_7 来探测土壤表层的有机质含量 H 。因为各个自变量 R_j 与因变量 H 的关系都是非线性的,所以我们试用多元非线性回归的方法来解决这个问题。

我们知道,形如 $H = aR^b$ 的方程,其指数 b 反映变量 H 随变量 R 变化的趋势,即曲线倾斜和弯曲的方向和程度,而系数 a 则反映变量 H 随变量 R 变化的数值水平,即曲线在座标系中的位置。因此,我们可以认为,在相应的多元非线性回归中, H 随各个自变量 R_j 的变化趋势保持不变,即各个自变量的指数 b_j 保持不变,而各个自变量 R_j 的系数 a_j 这时有好几个,它们正是多元非线性回归中要求的系数,一般说来,不可能和单波段辐射值探测时任何一个一元非线性回归方程中的系数 a 相同。所以,我们现在分别令 a_4, a_5, a_6, a_7 表示 R_4, R_5, R_6, R_7 的系数,又令 a_0 为这个回归方程的常数项,同时分别把单波段探测方程(1)、(2)、(3)、(4)中 R_j 的指数 b_j 照搬过来,于是,我们要求的多元非线性回归方程应如下式:

$$\hat{H} = a_0 + a_4R_4^{-2.4204} + a_5R_5^{-1.9456} + a_6R_6^{-2.3470} + a_7R_7^{-2.4048}$$

式中的 $\hat{H}$ 表示对实际 H 值的估计。

我们将多元非线性回归化成多元线性回归来解。按照多元线性回归的方法,可以得到同时使用四个波段的辐射值 R_j 探测土壤表层有机质 H 的多元非线性回归方程如下:

$$\hat{H} = -0.0926 - 0.5983R_4^{-2.4204} + 0.571R_5^{-1.9458} - 0.01862R_6^{-2.3470} + 1.8974R_7^{-2.4048}$$

用此方程由实测的 R_{4i} 、 R_{5i} 、 R_{6i} 、 R_{7i} 算出对应的各个 $\hat{H}_i$ 及其相应的与实际 H_i 的误差 $\varepsilon = \hat{H}_i - H_i$ 。连同原始实测数据 H_i 、 R_{4i} 、 R_{5i} 、 R_{6i} 、 R_{7i} 等，均列于表1。

根据回归方程式(6)的计算值可以算出 $F = 14.39$ ，全相关系数 $R = 0.959$ ，查F表得到 $F_{0.01(4,5)} = 11.39$ ，查R表得到 $R_{0.01(4,5)} = 0.949$ ；由此可见回归方程(6)在0.01水平上显著。

根据回归方程式(6)的计算值还可以算出剩余标准差 $s = 0.112$ ，变差系数 $CV = 13.7\%$ 。

用4波段、5波段、6波段和7波段的单波段辐射值 R_4 、 R_5 、 R_6 和 R_7 的探测方程(1)、(2)、(3)、(4)探测土壤表层有机质含量与实际有机质含量的误差 ε_1' 、 ε_1'' 、 ε_1''' 、 ε_1'''' ，也分别列于表1。把它们与多元非线性回归方程(6)的探测误差 ε_1 及相应的剩余平方和、剩余标准差、变差系数等作一比较，可知多元非线性回归方程(6)的精度是很高的：各个单波段探测方程算得的土壤有机质含量百分数，与化学分析得到的百分数的差，一般小于0.2，而同时用四个波段辐射值的探测方程——回归方程(6)算得的土壤有机质含量百分数，与化学分析得到的百分数的差，一般小于0.1。这一方面说明了同时使用多波段卫星数据进行多元非线性回归探测的优越性，另一方面也说明了利用卫星遥感数据探测地球资源的巨大潜力。卫星遥感

表1 用土壤景观在资源卫星四个波段中的辐射值 R_4 、 R_5 、 R_6 、 R_7 来探测土壤

土壤名称	剖面号	顺序号	有机质的化学分析值 H_i	各波段的辐射值				$R_4^{-2.4204}$	$R_5^{-1.9458}$
				R_{4i}	R_{5i}	R_{6i}	R_{7i}		
荒漠化草甸土	D-31	1	0.44	1.19	1.09	0.80	1.91	0.6564	0.8457
原始草甸土	D-28	2	0.50	1.03	0.93	0.82	1.71	0.9310	1.1516
残余盐土	Z-073	3	0.56	0.97	0.87	0.73	1.54	1.0765	1.3112
龟裂性土	D-37	4	0.61	0.96	0.84	0.62	1.48	1.1039	1.4038
荒漠化胡杨林土	D-26	5	0.73	0.99	0.86	0.73	1.61	1.0246	1.3410
龟裂性土	Z-080	6	0.73	0.99	0.84	0.70	1.48	1.0246	1.4038
红柳林土	D-19	7	0.97	0.76	0.61	0.59	1.41	1.9430	2.6158
荒漠化红柳林土	D-43	8	1.03	0.87	0.70	0.58	1.38	1.4008	2.0014
胡杨林土	D-29	9	1.18	0.83	0.70	0.58	1.31	1.5699	2.0014
红柳林盐土	Z-076	10	1.28	0.78	0.69	0.57	1.15	1.8246	2.0582
和			8.03					12.5553	16.1339
平方和			7.2277					17.3059	28.5900
平均值			0.803					1.2555	1.6134
剩余标准差									
变差系数									
相关系数R或r (括弧中为表查值)									
F 值 (括弧中为表查值)									

数据不仅可用来清查地表自然资源的分布和在某种程度上估计其数量,而且有可能用来估计某些地表以下的某些物质的数量。

需要说明,上面的多元非线性回归是在已经作过一元非线性回归的基础上作的,事先已经估计出各个自变量 R_j 的幂指数 b_j 分别为 -2.4024 , -1.9456 , -2.3470 和 -2.4048 。如果我们事先不知道各个自变量的幂指数的值,那么,或者先分别作一元非线性回归来估计,或者大致地估计。对于上面的例子,我们可以这样来大致估计:由各个 $R_j \sim H$ 的二维数据分布图可以看出, H 和各个 R_j 大致成反比关系,即 $H \approx \frac{1}{R_j}$ 或 $H \approx \frac{1}{R_j^2}$,并且可以估计出或者计算出 $\frac{1}{R_j^2}$ 比 $\frac{1}{R_j}$ 更好。这样我们就可以认为 $H \approx \frac{1}{R_j^2}$,即 $H \approx R_j^{-2}$,事实上,方程(1)、(2)、(3)、(4)中的各个自变量 R_j 的幂指数 b_j 如果只取整数,那么各个幂指数都将取为 -2 。

现在就令 R_j 的幂指数都等于 -2 ,按照与前面相同的步骤可以求得

$$\hat{H} = -0.056 - 0.8003R_4^{-2} + 0.5594R_5^{-2} - 0.0344R_6^{-2} + 2.0879R_7^{-2} \quad (7)$$

$$(R = 0.957^{**}, F = 13.58^{**})$$

用方程(7)探测的土壤有机质含量与实际有机质含量(化学分析值)的误差 $\tilde{\varepsilon}_i$,也列于表1。比较可知,此方程的探测精度略逊于方程(6),但仍远高于各个单波段辐射值探测方程(1)、(2)、(3)、(4)。这更进一步说明了多元非线性回归和同时使用各波段辐射值探测的优越性。

表层的有机质含量 H (一元与多元非线性回归分析和逐步回归分析)

$R_{61}^{-2.3470}$	$R_{71}^{-2.4048}$	有机质的 回归估计 值 $\hat{H}_i$ 〔方程(b)〕	估计值与 实际值的 误差 ε_i 〔方程(6)〕	ε_i' 〔方程(1)〕	ε_i'' 〔方程(2)〕	ε_i''' 〔方程(3)〕	ε_i'''' 〔方程(4)〕	$\tilde{\varepsilon}_i$ 〔方程(7)〕	ε_i° 〔方程(8)〕
1.6883	0.2109	0.37	-0.07	-0.03	-0.03	0.05	-0.03	-0.07	-0.07
1.5932	0.2752	0.50	0.00	0.09	0.06	-0.04	0.04	0.00	0.00
2.0931	0.3540	0.65	0.09	0.12	0.08	0.05	0.13	0.09	0.09
3.0708	0.3895	0.73	0.12	0.09	0.08	0.28	0.15	0.12	0.13
2.0931	0.3181	0.63	-0.10	-0.08	0.07	-0.12	-0.11	-0.11	-1.10
2.3097	0.3895	0.79	0.06	-0.08	0.04	-0.06	0.03	0.07	0.06
3.4499	0.4377	1.01	0.04	0.26	0.31	0.03	-0.12	0.04	0.04
3.5912	0.4609	1.02	-0.01	-0.14	-0.05	0.01	-0.13	-0.01	-0.01
3.5912	0.5224	1.04	-0.14	-0.19	-0.20	-0.14	-0.16	-0.14	-0.14
3.7408	0.7146	1.28	0.00	-0.13	-0.27	-0.19	0.12	0.00	0.00
27.2213	4.0728								
80.6041	1.8377		0.0623	0.1845	0.2353	0.1597	0.1262	0.0657	0.0648
2.7221	0.4073								
			0.112	0.152	0.172	0.141	0.126	0.115	0.104
			13.9%	18.9%	21.4%	17.6%	15.7%	14.3%	13.0%
			$R = 0.959$ ($R_{0.01} = 0.949$)	$r = -0.87$ ($r_{0.01} = 0.77$)	$r = -0.84$ ($r_{0.01} = 0.77$)	$r = -0.89$ ($r_{0.01} = 0.77$)	$r = -0.92$ ($r_{0.01} = 0.77$)	$R = 0.957$ ($R_{0.01} = 0.949$)	$R = 0.958$ ($R_{0.01} = 0.911$)
			$F = 14.39$ ($F_{0.01} = 11.39$)	$F = 26.7$ ($F_{0.01} = 11.26$)	$F = 21.0$ ($F_{0.01} = 11.26$)	$F = 29.2$ ($F_{0.01} = 11.26$)	$F = 43.6$ ($F_{0.01} = 11.26$)	$F = 13.58$ ($F_{0.01} = 11.39$)	$F = 22.06$ ($F_{0.01} = 9.78$)

性。

二、土壤有机质H的逐步回归探测

多元非线性回归显著提高了土壤有机质遥感探测的精度，但是我们从上面又可看到，无论是F值还是全相关系数R值，都是向下很接近于0.01显著水平下的表查F值和R值。这会影响到回归探测的精度。

出现这种情况，是因为所有波段的辐射值 $R_j(j=4,5,6,7)$ 均被引入回归式，而样品数又不多，结果使剩余平方和的自由度(第二自由度)显著变小的缘故。

如果我们采用逐步回归的方法，只引入一部分对土壤有机质探测最有意义的辐射值 R_j ，那就有可能保证F值和全相关系数R值都远大于0.01显著水平下的F和R的临界值，从而进一步提高土壤有机质遥感探测的精度。

我们按照逐步回归的计算步骤，得到仅包括三个波段辐射值 $R_j(j=4,5,7)$ 的土壤有机质遥感探测方程：

$$\hat{H} = -0.094 - 0.5447R_4^{-2.4204} + 0.5254R_5^{-1.9456} + 1.8008R_7^{-2.4048} \quad (8)$$

用此方程算得的 $\hat{H}_i$ 与化学分析值 $\hat{H}_i$ 的误差 ε_i 仍列于表1。其剩余平方和 $\sum \varepsilon_i^2 = 0.0648$ ，剩余标准差 $s = 0.104$ ，变差系数， $CV = 13.0\%(12.95\%)$ ， $F = 22.06$ ， $R = 0.958$ 。且这时第

表2 用土壤景观在资源卫星四个波段中的辐射值 R_4, R_5, R_6, R_7 来探测土壤

土 壤 名 称	剖面号	顺序号 i	全N量的 化学分析 值 N_i	各 波 段 的 辐 射 值				$R_{4i}^{-2.8664}$	$R_{5i}^{-2.0848}$
				R_{4i}	R_{5i}	R_{6i}	R_{7i}		
荒漠化草甸土	D-31	1	0.022	1.19	1.09	0.80	1.51	0.6300	0.8356
原始草甸土	D-28	2	0.023	1.03	0.93	0.82	1.71	0.9245	1.1633
残余盐土	Z-073	3	0.029	0.97	0.87	0.73	1.54	1.0843	1.3369
龟裂性土	D-37	4	0.036	0.96	0.84	0.62	1.48	1.1145	1.4383
荒漠化胡杨林土	D-26	5	0.038	0.99	0.86	0.73	1.61	1.0271	1.3695
龟裂性土	Z-080	6	0.040	0.99	0.84	0.70	1.48	1.0271	1.4383
红柳林土	D-19	7	0.056	0.76	0.61	0.59	1.41	2.0730	2.8025
荒漠化红柳林土	D-43	8	0.053	0.87	0.70	0.58	1.38	1.4476	2.1035
胡杨林土	D-29	9	0.043	0.83	0.70	0.58	1.31	1.6404	2.1035
红柳林盐土	Z-076	10	0.086	0.78	0.69	0.57	1.15	1.9348	2.1675
和			0.426					12.9033	16.7589
平方和			0.0214					18.6065	31.2532
平均值			0.0426					1.2903	1.6759
剩余标准差									
变差系数									
相关系数R或 r (括弧中为表查值)									
F 值 (括弧中为表查值)									

一自由度 $f_1 = 3$, 第二自由度 $f_2 = 10 - 1 - 3 = 6$, 故表查 $F = 0.01(3, 6) = 9.78, R_{0.01(3, 6)} = 0.911$ 。

比较可知, 用逐步回归法得到的方程(8)在诸回归方程中精度是最高的; 在各项衡量指标中, 尽管其剩余平方和与其它回归方程中精度最高的方程(6)的剩余平方和很接近而且略高于它, 但其剩余标准差、变差系数在诸方程中都是最小的; 而且计算的F值和R值高出表查F和R值的程度, 比多元非线性回归方程(6)和(7)都要显著地高。这说明, 土壤有机质逐步回归遥感探测的方法, 既减少了测定变量 R_j 的数目, 又提高了探测的精度。

三、土壤有机碳C的探测

大家知道, 测定土壤有机质一向都是测定土壤有机碳C, 然后用一个换算因数将C含量换算为有机质含量。现在国际上仍然一致沿用古老的所谓“Van Bemmelen 因素”, 即1.724。这是假设土壤有机质含C58%计算的^[2]。因此, 我们将各波段辐射值探测土壤有机质的方程各系数和常数均乘以0.58, 即可将它们转换成探测土壤有机碳的方程。

由方程(6)和方程(8)可以分别得到探测土壤有机碳C的两个方程如下:

$$C = -0.0537 - 0.3470R_4^{-2.4204} + 0.3324R_5^{-1.9456} - 0.0108R_6^{-2.3470} + 1.1005R_7^{-2.4048}$$

表层的全氮含量N(一元与多元非线性回归分析和逐步回归分析)

$R_6^{-2.6804}$	$R_7^{-2.7030}$	全氮量的 回归估计 值 N_i 〔方程(5)〕	方程(15)的 估计误差 e_i	方程(11)的 估计误差 e_i'	方程(12)的 估计误差 e_i''	方程(13)的 估计误差 e_i'''	方程(14)的 估计误差 e_i''''	方程(16)的 估计误差 e_i^0
1.7786	0.1740	0.015	-0.007	-0.002	-0.001	0.063	-0.002	-0.006
2.6888	0.2347	0.027	0.004	0.007	0.066	0.000	0.004	0.004
2.3526	0.3114	0.035	0.006	0.006	0.004	0.002	0.007	0.007
3.4333	0.3467	0.035	-0.001	0.000	0.000	0.001	0.004	0.000
5.2526	0.2762	0.032	-0.006	-0.005	-0.604	-0.007	-0.006	-0.006
2.5082	0.3467	0.041	0.001	-0.007	-0.004	-0.005	0.000	0.000
3.9021	0.3952	0.053	-0.003	0.011	0.004	-0.002	-0.001	-0.002
4.0780	0.4188	0.050	-0.003	-0.006	-0.001	0.003	-0.005	-0.004
4.0780	0.4821	0.055	0.002	0.000	0.009	0.013	0.012	0.003
4.2652	0.6855	0.079	0.007	-0.024	0.032	0.027	-0.008	-0.006
30.2194	2.6723							
500.8639	1.5329		0.000350	0.000996	0.001287	0.000999	0.000475	0.000362
3.0219	0.2671							
			0.008	0.011	0.013	0.011	0.008	0.008
			18.8%	25.8%	30.5%	25.8%	18.8%	18.8%
			$R = 0.945$ ($R_{0.05} = 0.398$ $R_{0.01} = 0.949$)	$r = -0.83$ ($r_{0.01} = 0.765$)	$r = 3.76$ ($r_{0.01} = 0.765$)	$r = -0.81$ ($r_{0.01} = 0.765$)	$r = -0.92$ ($r_{0.01} = 0.765$)	$R = 0.943$ ($R_{0.01} = 0.911$)
			$F = 10.37$ $F_{0.05} = 5.19$ $F_{0.01} = 11.39$	$F = 16.5$ $F_{0.01} = 11.26$	$F = 11.3$ ($F_{0.001} = 11.26$)	$F = 12.9$ ($F_{0.01} = 11.26$)	$F = 39.8$ ($F_{0.01} = 11.26$)	$F = 15.97$ ($F_{0.01} = 9.78$)

$$(\Sigma \varepsilon_i^2 = 0.0225, s = 0.067, CV = 14.4\%, R = 0.956^{**}, F = 13.20^{**})$$

$$C = -0.0545 - 0.3159R_4^{-2.4204} + 0.3047R_5^{-1.9456} + 1.0145R_7^{-2.4048}$$

$$(\Sigma \varepsilon_i^2 = 0.0231, s = 0.062, CV = 13.4\%, R = 0.955^{**}, F = 20.51^{**})$$

显然, 这两个方程的探测精度、显著水平等都分别和它们的对应有机质探测方程非常接近, 同样都优越于单波段辐射值探测有机碳的方程^[1]。

四、土壤全氮量 N 的探测

四个卫星波段的各个单波段辐射值探测土壤全氮量(N%)的方程^[1], 分别如下式:

$$N = 0.0323R_4^{-2.6564} \quad (s = 0.011, r = -0.83, F = 16.5^{**}) \quad (11)$$

$$N = 0.0248R_5^{-2.0848} \quad (s = 0.013, r = -0.76, F = 11.3^{**}) \quad (12)$$

$$N = 0.0138R_6^{-2.5804} \quad (s = 0.012, r = -0.81, F = 12.9^{**}) \quad (13)$$

$$N = 0.1144R_7^{-2.7020} \quad (s = 0.008, r = -0.92, F = 39.8^{**}) \quad (14)$$

与建立探测土壤有机质的多元非线性回归方程一样, 令这些方程的幂指数保持不变, 从而求得用四个波段的辐射值 R_4, R_5, R_6, R_7 (毫瓦/厘米²·立体角), 同时探测土壤含氮量 N (%) 的方程如下:

$$\begin{aligned} \hat{N} = & -0.006 - 0.0135R_4^{-2.6564} + 0.0196R_5^{-2.0848} \\ & - 0.0056R_6^{-2.5804} + 0.1352R_7^{-2.7020} \end{aligned} \quad (15)$$

用此方程估计的土壤全氮量 $\hat{N}_i$ 及其与化学分析值 N_i 的误差 $\varepsilon_i = \hat{N}_i - N_i$, 连同原始数据列于表 2。另外, 把用各个单波段辐射值探测方程(11), (12), (13), (14)算得的土壤全氮量与化学分析得到的全氮量之差 $\varepsilon_1', \varepsilon_1'', \varepsilon_1''', \varepsilon_1''''$, 也列于表 2 以资比较。

比较可知, 同时使用四个波段辐射值的多元非线性回归方程(15), 探测土壤全氮量的误差, 明显地小于 4, 5, 6 波段的单波段探测方程(11)、(12)、(13), 但与 7 波段辐射值探测方程(14)相接近; 方程(15)的误差 ε_i 和剩余平方和都小于方程(14), 但剩余标准差和变差系数则和它相等, 而且用方程(15)算得的 $F = 10.37$, $R = 0.945$; 可是表查 $F_{0.01(4,5)} = 11.39$, $F_{0.05(4,5)} = 5.19$, 表查 $R_{0.01(4,5)} = 0.949$, $R_{0.05(4,5)} = 0.898$, 因此方程(15)的回归显著性水平为 0.05, 比各个单波段探测方程(11)、(12)、(13)、(14)的显著性水平要低。

出现上述情况的原因, 是因为同时使用四个波段的辐射值, 使自变量的个数由 1 增加到 4, 第二自由度则由 8 减小到 5; 在总样品数较少的情况下, 自变量增加几个就明显影响到剩余标准差、变差系数、相关系数 R 和 F 值的计算结果。

如果采用逐步回归的方法, 我们可以得到如下的只包括 R_5, R_6, R_7 的回归方程:

$$\hat{N} = -0.0052 + 0.0101R_5^{-2.0848} - 0.0043R_6^{-2.5804} + 0.1194R_7^{-2.7020}$$

用此方程估计的土壤全氮量 $\hat{N}_i$ 和化学分析得到的土壤全氮量 N_i 的误差 ε_i^0 , 也列于表 2。用此方程算得的全相关系数 $R = 0.943$, $F = 15.97$; 而表查 $R_{0.01(3,6)} = 0.911$, $F_{0.01(3,6)} = 9.78$; 故此方程在 0.01 水平上显著。我们又可看到, 这个方程探测土壤全氮量的误差平方和, 比各个单波段探测方程小而接近于多元非线性回归方程(15), 而且其显著性水平明显地高于多元非线性回归方程(15)。因此总括起来可以说, 对于土壤全氮量的遥感探测而言, 单波段探测方程(14), 即 7 波段辐射值探测方程仍具有重要意义; 包括四个波段辐射值的多元非线性回归方程(15)有其优越性, 但还不算明显; 包括 5, 6, 7 三个波段辐射值的逐步回归方程(16)是最可取的, 因为它既能明显地降低误差平方和, 又能保持 0.01 的高显著水平。方程(16)探测的土壤全氮量 N 的含量百分数与实际百分数的差值, 除个别外, 都小于 0.008。(下转第 72 页)

结 语

西藏察隅县贡日嘎布曲海拔2400米以下河谷地区,气候适宜或基本适宜茶树的经济栽培,并已为试种茶树的良好生长所证实。气候特点是冬温较高,有利于茶树越冬;但夏温不高,且有3个月的“旱季”,年平均相对湿度亦较低($<70\%$),则是影响茶叶产量的不利因素。河谷两侧分布有高、中、低三级台地,地面平缓,多有自流灌溉水源,适于建立茶园。台地土壤的基本组合是黄壤、洪冲积性土及其水稻土,而以前者为主。土壤均为盐基不饱和的酸性土,且含有一定量的交换性铝,适宜茶树生长。主要限制因素是土体中普遍夹杂大量砾石,部分土壤的沙性过重。但多数台地仍可选出面积较大、分布集中的宜茶地。土壤的养分特点是:有机质和氮素一般集中于表土层,总储量不大;钾素丰富;部分土壤缺磷。土壤有机质对土壤养分全氮、全磷、速效钾和保肥性等及土壤理化性质均有良好的影响。因此在茶园建设和经营管理中注意有机质的平衡,防止其过度消耗,以稳定土壤肥力,乃具有重要的生产实践意义。

参 考 文 献

- [1] 中央气象局, 中华人民共和国气候图集, 图前说明, 第5页, 地图出版社, 1978。
- [2] 中国科学院青藏高原综合科学考察队, 西藏自然地理, 82及94页, 科学出版社, 1982。
- [3] 红黄壤利用改良区划协作组, 中国红黄壤地区土壤利用改良区划。96页, 农业出版社, 1985。
- [4] 贵州省农业厅等, 贵州土壤, 46页, 贵州人民出版社, 1980。
- [5] 中国科学院南京土壤研究所, 土壤理化分析。上海科技出版社, 1978。
- [6] 刘世全, 西藏察隅河谷宜茶土壤的主要理化性质。土壤通报, 17(1), 16页, 1986。

(上接第78页)

如本文一开头所说,用卫星遥感的方法探测隐藏在地表以下的自然物质的含量,是个难度较大的课题。这里虽然对土壤有机质(包括有机碳)和全氮量的探测方法和探测精度作了改进,但仍然是很不成熟的,所得结论应是有保留的。作者只不过希望本文起到抛砖引玉的作用而已。

参 考 文 献

- [1] 曾志远, 卫星图象密度—辐射量算与土壤资源探测。自然资源, 第4期, 1981。
- [2] 中国土壤学会农业化学专业委员会, 土壤农业化学常规分析方法。75页, 科学出版社, 1983。