

中国陆地背景和土壤光谱反射特性的 地理分区的初步研究

徐彬彬 季耿善 朱永豪

(中国科学院南京土壤研究所) (中国科学院安徽光学精密机械研究所)

1990年2月27日收稿

摘 要

通过对土壤光谱反射特性与土壤理化性状关系的研究,并根据我国土壤的分布规律,提出了以植被覆盖度和土壤光谱反射特性为基础的我国陆地背景地理分区的初步方案。该方案把我国划分为6个区和23个亚区。

关键词 陆地背景 土壤 反射光谱 地理分布

在用遥感方法研究地球资源与自然环境时,均直接或间接地与地理景观的光学特性有关^[1]。土壤是地球上的四大地物之一,也是陆地背景的主要组分。任何一种土壤既是一定自然景观的组成部分,又是反映自然景观的一面镜子^[2]。因此,要研究陆地背景的光谱特征及其地理分区,必然要研究土壤的分布规律和光谱反射特征的变异性。本文报道的是我们的初步研究结果,抛砖引玉,以期获得同行们的评议和讨论。

一、我国土壤分布的地理背景

我国地域辽阔,自然条件复杂,农业历史悠久,是世界上土壤类型最多的国家^[3]。尽管土壤千变万化,但由于土壤是在气候、生物、地形、母质、时间、人为活动等成土因素的综合影响下发生、发展和演化的,故它的分布在一定程度上还是有规可循的。归纳起来我国的土壤分布有如下规律。

(1) 按热量划分,我国自南向北地跨热带至寒温带5个气候带。故土壤分布基本上随纬度呈规律性变化;

(2) 按湿度划分,视其离海洋的远近、受潮湿季风气候影响的大小,自东向西依次分为湿润、半湿润、半干旱和干旱4个地区。

受上述两种因素的共同影响,我国东部地区土壤的水平分布大致呈东北西南向;

(3) 由于我国地势呈西高东低阶梯状下降,因此,不同高度和地形对水热条件的再分配起着明显的作用,同时也造成土壤分布的分异。如喜马拉雅山垂直分布的土壤类型几乎与我国东部地区土壤的水平分布一致;

(4) 历史悠久的人为耕种活动和土地利用方式对土壤形成与特性也有着深刻的影

响。如水稻土、灌淤土等就是这种活动的产物。

土壤的形成与分布还与植被、风化壳类型等密切相关。在我国,它们也均与生物气候带大致相符,呈规律变化,不再一一赘述。

当然,由于中、小地形及水文条件的变化等原因,实地土壤类型还有一定变幅。

二、土壤光谱反射特性的变异性

土壤光谱反射特性是土壤的重要性状之一,又是能综合反映土壤其它理化性状的指标。影响土壤光谱反射特性的主要因素是土壤的有机质、氧化铁和水分的含量以及它的质地和母质等^[4],而这些土壤性状均明显地随地理分布的差异而不同。因此,土壤光谱反射特性也必然会随土壤地理分布规律而有变异。

戴昌达同志曾将我国土壤光谱反射曲线划分为 4 种类型^[5]。其中以黑土为代表的富含有机质的各类土壤,曲线呈平直型;与水耕熟化相联系的水稻土,曲线呈缓斜型;砖红壤代表了分布在热带、亚热带的富铁铝土壤,曲线呈陡坎型;代表干旱地区的棕漠土,曲线呈弓型(图 1)。

图 1 所示的这 4 种土壤,分别取自黑龙江(黑土)、上海(水稻土)、海南岛(砖红壤)和新疆(棕漠土),其所处的地理位置正好位于我国东、南、西、北的边陲。其土壤性状的差异是十分明显的,形成如此典型的光谱反射曲线的原因也是诸方面的。

1. 有机质

众所周知,土壤有机质是土壤的重要组成部分。腐殖质又是土壤有机质的主体,腐殖质可分为胡敏酸和富里酸。胡敏酸和富里酸的光谱反射曲线见图 2。

由图 2 可见,胡敏酸的反射能力特别低,几乎在整个波段为一条平直线,呈黑色。富里酸则在黄红光部分开始强反射,呈棕色。

由于水热条件的变化,我国土壤腐殖质中胡敏酸和富里酸的比值(H/F)^[3]自北向南和向西呈规律性的渐减。这就导致地处不同地带的土壤,尽管其有机质含量相同,但由于 H/F 的比值不同,而使土壤有不同的光谱反射特性。

因此,不仅有机质的含量影响土壤光谱反射特性,而且其不同的组成也同样有显著的影响,后一点常不为人们所注意。一般说来,我国的东北及内蒙地区的黑土、黑钙土、暗棕

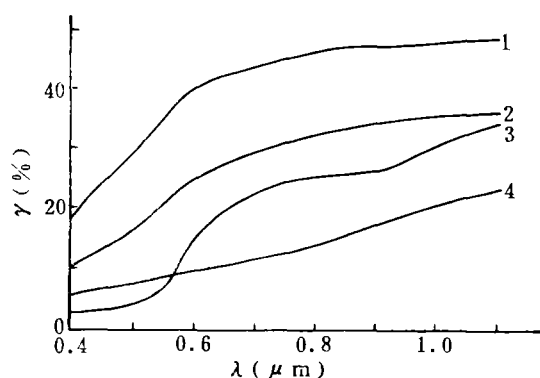


图 1 四种土壤的光谱反射曲线¹⁾

Fig. 1 Spectral reflectance curves of four soils

1.棕漠土, 2.水稻土, 3.砖红壤, 4.黑土

1) 本文中的光谱反射曲线,除特别注明外,均为用样品在室内分光光度计测试获得。据笔者研究,室内外测试的土壤光谱反射特性的平均相似系数可达0.96以上。详见参考文献[7]。

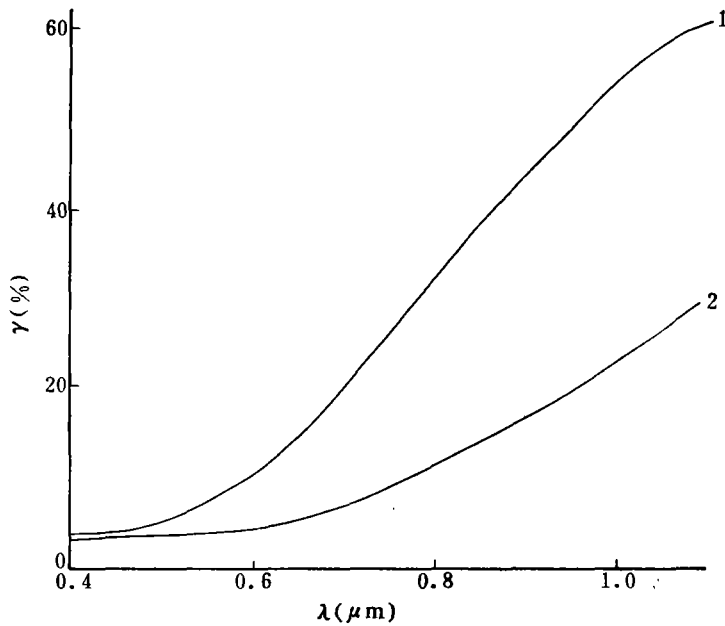


图2 胡敏酸和富里酸的光谱反射曲线

Fig. 2 Spectral reflectance curves of humic acid and fulvic acid

1.富里酸, 2.胡敏酸

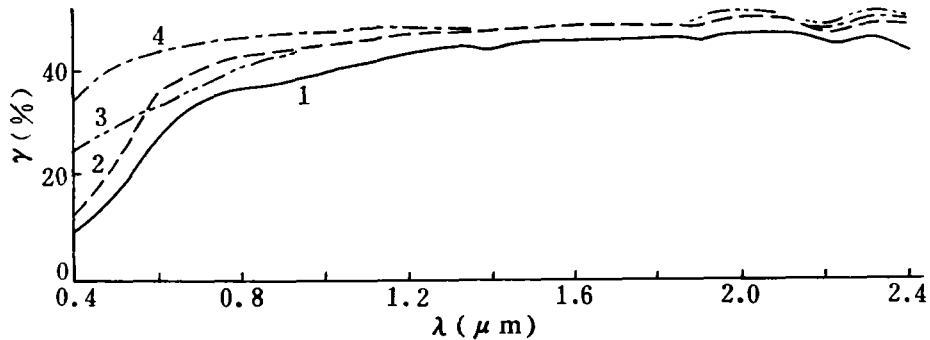


图3 不同处理的黄棕壤的光谱反射曲线

Fig. 3 Spectral reflectance curves of yellow-brown soil by treatment

1.黄棕壤, 2.脱有机质, 3.脱铁, 4.脱有机质和铁

壤、白浆土、漂灰土等 H/F 的比值均大于 1, 光谱反射曲线均以平直型为主。

比较脱有机质前后的土壤光谱反射曲线可见, 有机质的影响主要是在可见光和近红外波段, 而影响最大的是在 $0.6-0.8 \mu\text{m}$ 之间(图 3)。

2. 氧化铁

除有机质外, 铁是土壤中很重要的染色物质。在旱作土壤中, 一般为氧化铁, 随结晶

水的增加由鲜艳的红色到黄色。当土壤处于还原状态时;铁也因之还原成亚铁,而使土壤呈蓝绿、灰蓝等色(图 4)。

赤铁矿、针铁矿常见于热带、亚热带土壤中。这也是我国南方地区土壤中呈红色系列的主要原因。由图 4 可见,无论是赤铁矿还是针铁矿,在蓝紫光波段的反射率均很低,而到黄红光波段开始强反射,形成“台阶”。这就是南方红壤系列的光谱曲线呈现陡坎型的原由。另外,在曲线的 $0.8-1.0\mu\text{m}$ 处呈现强烈的三价铁的吸收带。作为对照,图 4 中磁铁矿呈现的是一条低反射的平直线。

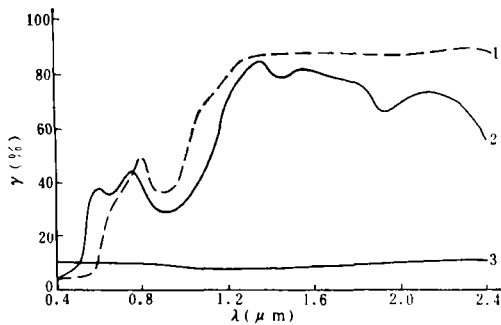


图 4 几种铁矿的光谱反射曲线

Fig. 4 Spectral reflectance curves of several iron ore

1. 赤铁矿, 2. 针铁矿, 3. 磁铁矿

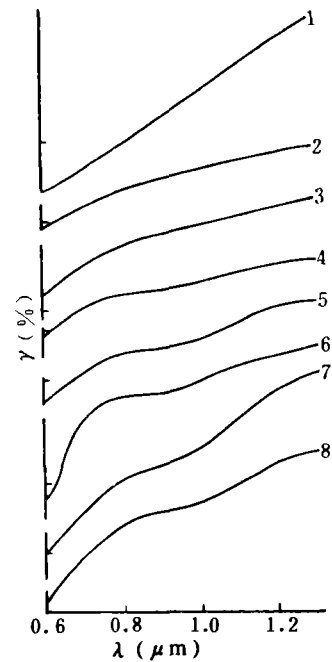


图 5 几种土壤在 $0.9\mu\text{m}$ 附近的反射特性

Fig. 5 Reflectance characteristics of several soils at $0.9\mu\text{m}$

1. 黑土, 2. 褐土, 3. 棕壤, 4. 黄棕壤, 5. 黄红壤, 6. 红壤, 7. 砖红壤, 8. 黄色砖红壤

图 5 是我国由北到南,自黑龙江的黑土到海南岛砖红壤的一组光谱曲线。 $0.9\mu\text{m}$ 附近的吸收强度,充分反映了各种土壤的游离氧化铁数量自北向南递增的趋势。

由于水稻土长期处于淹水还原条件下,随着氧化还原电位的降低,高价铁、锰被还原为低价的。因此,水稻土一般呈灰黄或浅蓝灰色为主。但由于受起源土壤的影响,一般北方的水稻土, H/F 的比值大于 1, 南方地区的小于 1。这使得水稻土光谱曲线的总体趋势呈缓斜上升型,但南方红壤地区的水稻土,在 $0.6\mu\text{m}$ 附近的抬升斜率及在红光波段的反射率,要超过北方地区的水稻土。另外,还有一个差别其原因尚未得到解释,即红壤地区的水稻土,一般在 $0.45\mu\text{m}$ 处有一个小的反射突起,其明显程度还超过一般的红壤(图 6)。

对照土壤脱铁前后的光谱反射曲线可见(图 3),与有机质一样,铁的影响主要在可见和近红外波段,但出人意外的是两者差异最大的是在 $0.45\mu\text{m}$ 附近。再对照有机质和铁两者均脱去后的光谱曲线可见(图 3),其最大差异仍在 $0.45\mu\text{m}$ 附近。连同上述红壤地区

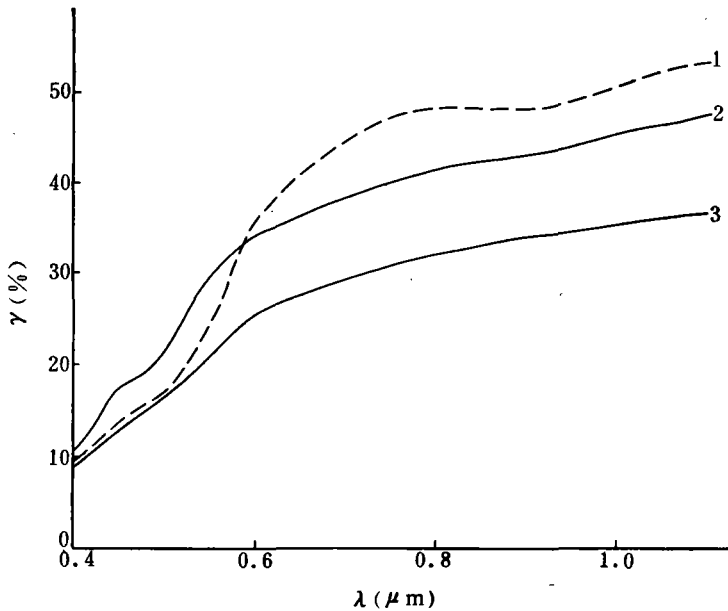


图6 水稻土的光谱反射曲线

Fig. 6 Spectral reflectance curve of paddy soil

1.红壤, 2.红壤地区水稻土, 3.南京地区水稻土

水稻土的情况,可以认为在土壤光谱的 $0.45\mu\text{m}$ 附近,尚有信息待开发,但在一般遥感中使用这一波段较少,故易被忽视。

由于土壤中有机质和氧化铁的含量对土壤光谱反射特性影响极大,但要定量的区分两种因素对土壤光谱反射率的贡献,目前尚有困难。然而,根据土壤性状以及大量光谱资料的统计可见,在我国,黄淮以南的土壤,一般铁对光谱的贡献要大于有机质;而山海关外的东北地区,则相反,是有机质对光谱的影响占主导位置。介于上述两者之间的、地处暖温带的湿润和半湿润地区的棕壤、褐土带则是过渡地带。

3. 水分

土壤水分是土壤的一个组成部分,也是影响土壤反射光谱的一个重要因素。图7是在野外实测的不同水分情况下的水稻田的光谱反射曲线。由图7可见,水体(曲线5)在蓝绿波段($0.4-0.6\mu\text{m}$)反射率较高,红波段开始下降,红外波段明显吸收;曲线4因水层较浅(5 cm),可见光区光谱能穿抵土层,是水土合成光谱;曲线3因水中含有较多混浊泥沙,反射率明显增高,并在

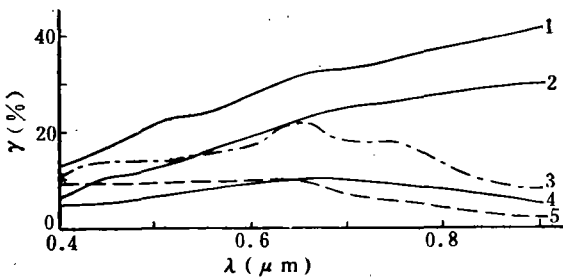


图7 不同水分情况的水稻田的光谱曲线

Fig. 7 Spectral reflectance curves of irrigated rice field

1.未灌水稻田, 2.灌水稻田, 3.混水稻田, 4.清水稻田, 5.水体

0.65 μm 处出现较高反射峰; 曲线 1 和 2 的光谱特征相似, 因后者是湿土, 故反射率明显下降。

研究表明, 土壤含水量的增加, 会降低光谱反射率, 特别是在红及红外波段。但在各波长上其光谱反射率并非简单的线性变化, 而是遵从二次回归方程。当水分含量超过最大田间持水量时, 土壤光谱反射率又重新增加, 这是因为土壤表面膜水层形成的镜面反射所致^[6,7]。

我国土壤各水分时期的出现时间, 持续时间, 各时期占优势的湿度范围等等, 均有一定的地理规律性^[3], 本文无法一一列举。仅土壤持水能力就与土壤的有机质含量、粘土矿物类型, 质地等密切相关。在我国中、西部干旱、半干旱以及半湿润地区, 蒸发量大于降水量, 又由于这些地区的土壤质地较粗, 持水能力差, 因此使土壤在全年的大部分时间内处于干燥状态。这也是这些土壤的反射率必然明显地高于东部地区的原因之一。

反射率对应于土壤湿度变化的灵敏范围也不同。一般土壤含水量在 10—25% 时, 反射率变化显著, 而一些持水性差的土壤, 其反射率对含水量的灵敏范围则 <10%。

4. 质地

土壤质地是指土壤中各种粒径的颗粒所占的相对比例。它对土壤光谱反射特性的影响, 主要表现在两个方面, 一是通过影响土壤持水能力, 进而影响土壤光谱反射率, 二是土壤颗粒大小本身也有影响。

我国土壤的颗粒分布有从西到东、从北到南逐渐变细的趋势^[3]。在广大的西北地区, 质地为多砾质土或粗砂土; 东北、华北及长江中下游地区则属壤土质地, 即中等粗细的粗粉粒含量较高, 粘粒和砾质或粗砂较少; 而南方红壤地区则属粘土质地, 土壤中粘粒含量较高, 往往会超过 50%。

图 8 为由同一黄棕壤分离的粘粒部分 (<0.001mm) 和非粘粒部分 (>0.001 mm) 的光谱反射曲线。由图可见, >0.001 mm 的颗粒几乎是一条平直线,

没有水吸收带; 而粘粒部分, 在 1.4, 1.9, 2.2 μm 等处的水分吸收带异常明显。这就证明, 在一般风干状态下, 土壤光谱反射曲线的水吸收带主要系粘粒吸持的水分所引起; 在相同湿度条件下, 粘粒吸持水分的能力要超过粒径较粗的颗粒。

因此, 不能笼统地说, 土壤颗粒越细, 反射率越高。因为土壤中不同粒径颗粒的反射率并不遵循颗粒越细、反射率越高的规律。虽然由于土壤颗粒变小, 颗粒间的空隙减少, 比表面增大, 表面更趋平滑, 使土壤中粉砂粒的反射率比砂粒高, 但当颗粒细至粘粒时, 又使土壤持水能力增加, 反而降低了反射率。这也是图 8 中, 以粉粒为主的粒径 >0.001mm 部分反射率高于粘粒部分的原因。

此外, 土壤质地影响反射特性的因素不仅是粒径组合及其表面状况, 还与不同粒径组物质的化学组成密切相关^[7]。如砂粒和粉砂粒的主要成分是石英和少量原生硅酸盐矿

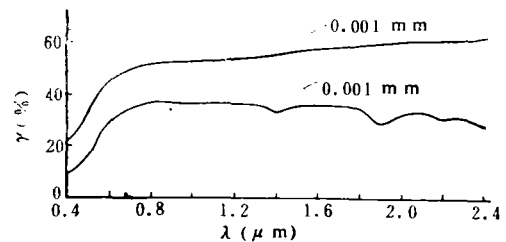


图 8 黄棕壤中不同粒径颗粒的反射曲线
Fig. 8 Spectral reflectance curves of different size granularity in yellow-brown soil

物,色调较浅,反射率较高。只是由于砂粒直径大,表面不平滑,粒间空隙形成阴影,才使反射率低于粉砂粒。粘粒的主要成分是含水的次生硅酸矿物,其它次生矿物和氧化铁富集,色调较深,且富含晶格结构水、层间水和吸附水,故其反射率较低。

5. 母质

由于土壤母质是岩石风化后形成的疏松碎屑物,是形成土壤的基本物质,岩石的化学和矿物成分与土壤的形成过程和性质密切相关。所以,母质必然会以多种途径直接和间接地影响土壤光谱反射特性。

我国的风化壳类型在分布上和气候带大致相符,也是由南而北、由东而西呈有规律的变化^[3],也影响到土壤光谱特性的变异。如在新疆和甘肃西部,有深厚的含盐和石膏的风化壳,致使该地区土壤含盐量较高。由于土壤中的可溶性盐类均为白色晶体,在整个光谱段中均呈均一的高反射(图 9)。所以,当土壤含盐后,一般不会改变土壤的光谱特性,只

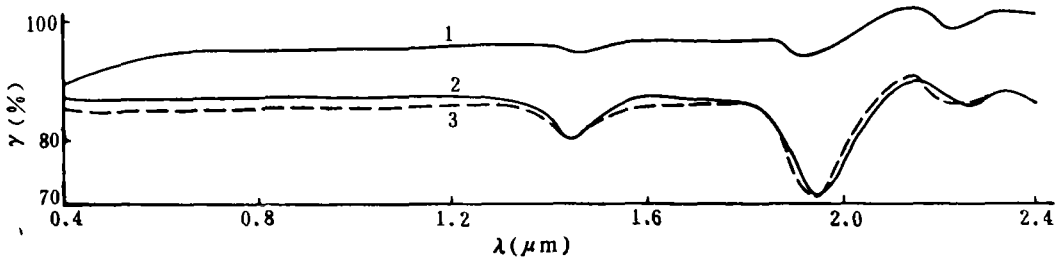


图 9 土壤盐分的光谱反射曲线
 Fig. 9 Spectral reflectance curves of soil salt
 1. Na₂SO₄, 2. NaCl, 3. KCl

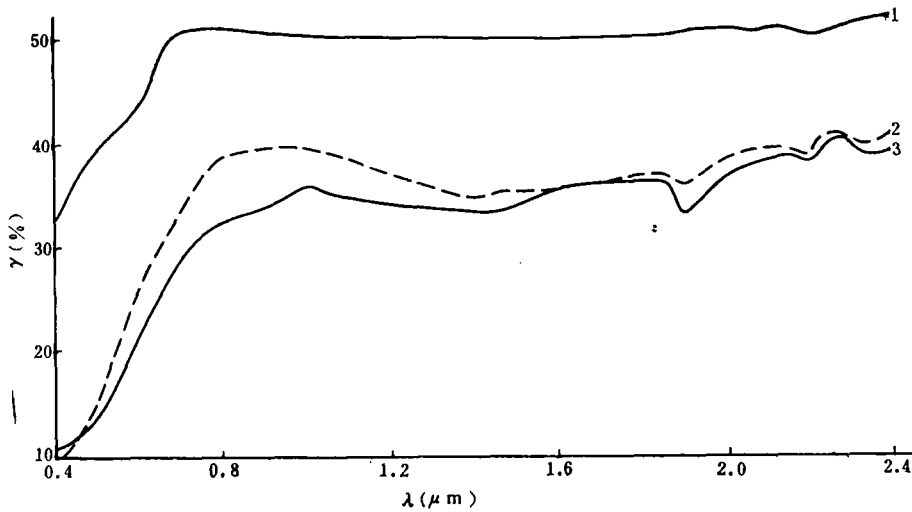


图 10 紫色土的光谱反射曲线
 Fig. 10 Spectral reflectance curves of purplish soil
 1. 紫色砂岩, 2. 广东的, 3. 四川的

会提高土壤的总亮度。但当盐分潮解后, 却会降低土壤反射率。

再如, 四川盆地内因有由紫红色砂页岩出露地表, 形成大面积的紫色土, 其土壤性质与母岩特性就直接相关。紫色土的光谱反射曲线在 $2.2\mu\text{m}$ 之后, 明显与其它土壤相区别, 其它土壤从 $2.2\mu\text{m}$ 波长起反射率呈下降趋势, 唯有它过了该波长后, 反射率呈上升趋势。这一特征, 不论何地的紫色土均一样, 其原因待研究(图 10)。

应注意的是, 不是所有的土壤都深受母质的影响, 如黄棕壤的性状受母质的影响就随发育程度而减弱^[3]。

三、我国陆地背景地理分区的构想

我们认为, 从土壤角度考虑陆地背景的波谱特征及其地理分区, 主要是研究土壤光谱和时空特征。应着重考虑以下四方面的影响。

(1) 植被及其覆盖度的影响。在我国, 除了极端干旱地区外, 大部分地区都长有自然植被或人工栽培作物。

(2) 时间季节变化的影响。不论是自然的还是人工的, 植被均周而复始的更替, 造成土壤裸露程度的交替变化, 从而形成土被复合光谱的变化。土壤也因热量、降水、生物等影响, 在土壤湿度等方面产生周期性变化。这将直接影响陆地背景的遥感信息。

(3) 地域的影响。因为即使相同的植被覆盖度, 也会由于地域的差异而使植被种群、土壤类型等有所不同, 形成各种陆地背景。这是由于植被、土壤乃至耕作制度都明显地受地形特点和水热条件影响的缘故。

(4) 土壤的影响。如上所述, 土壤的分布有一定规律, 影响土壤光谱反射特性的主要因素也明显地随地理分布的差异而不同。由此可见, 从光谱特征出发, 对以土壤为基本组分的陆地背景进行地理分区是有其基础和可能的。

基于上述考虑, 并结合前述的土壤光谱反射特性的地区性变异, 初步将我国的陆地背景划分为 6 个大区, 23 个亚区。

大区划分以土壤全年的裸露程度为依据, 亚区则以大的地区单元为划分单位。因为这些地区单元中, 植被类型和覆盖度, 土壤的水热状况、性状和光谱特征等具有一定的相似性。

由于我国农业发达、历史悠久且面积也较集中, 所以单独列出了耕作区, 并以耕作制作为亚区。

表 1 列出了我国陆地背景地理分区的初步方案。表中还列出了作为组成该亚区陆地背景的几种主要土壤类型。

根据该方案, 并参照其它全国性的专业图件及陆地卫星影像^[8-10], 编制成了 1:1000 万的中国陆地背景-土壤光谱特征地理分区图(初稿)。以下概要说明各大区的地理位置。

裸土区约占我国总面积的 1/5 以上, 包括新疆、甘肃、内蒙、青海、宁夏与西藏等省区的一部或大部。

多裸区主要分布在内蒙、山西、宁夏、陕西、甘肃、青海和西藏等省区, 它基本上沿上述裸土区的外围呈东北西南向的弧形带状分布。

表 1 中国陆地背景和土壤光谱反射特征地理分区的初步方案

Table 1 Tentative programme of geographic distribution on China land background and spectral reflectance characteristics of soil

| 区 (Region) | 亚 区 (Subregion) | 主要土壤类型 (Principal soil types) | 区 (Region) | 亚 区 (Subregion) | 主要土壤类型 (Principal soil types) |
|----------------------------|---|----------------------------------|-------------------------|--|----------------------------------|
| 1. 裸土区 (覆盖度 <15%) | 1 ₁ 荒漠区 | 灰漠土、棕漠土 冷漠土、冻漠土 | | 3, 西北高原区 | 寒钙土、棕钙土 栗钙土、黑钙土 |
| | 1 ₂ 风砂区 1 ₃ 盐渍区 | 流动和半固定风砂土 盐土、矿质盐土 | | 3 ₂ 新疆平原草甸区 | 潮土 |
| 2. 多裸区 (覆盖度 15—35%) | 2 ₁ 黄土高原区 2 ₂ 西部半干旱区 | 绵土、黑垆土 棕钙土、灰钙土 | 4. 覆盖区 (覆盖度 >70%) | 4 ₁ 密林区 | 暗棕壤、白浆土 黄棕壤、红壤、黄壤 |
| | 2 ₃ 藏北高寒区 2 ₄ 固定风砂区 | 寒冻钙土 固定风砂土 | | 4 ₂ 草甸区 4 ₃ 沼泽区 | 寒毡土、潮土 黑钙土 潜育土 |
| 3. 半覆盖区 (覆盖度 35—70%) | 3 ₁ 东北内蒙高原区 3 ₂ 承德—辽东半岛区 | 黑钙土、栗钙土 棕壤、褐土 | 5. 季节性裸 露区(耕 作区)* | 5 ₁ 一年一熟区 | 黑土、潮土、垆土 黑垆土、灌淤土等 |
| | 3 ₃ 太行—吕梁山区 3 ₄ 东南丘陵区 | 棕壤、褐土、栗钙土 黄壤、红壤、砖红壤 | | 5 ₂ 一年二熟区 | 紫色土、砂姜黑土、 石灰土等 |
| | 3 ₅ 秦岭大别山区 3 ₆ 云贵川区 | 黄棕壤、棕壤、褐土 黄壤、红壤、黄棕壤 | | 5 ₃ 一年三熟区 | 磷质石灰土、赤红 壤、红壤等 |
| | | | 5 ₄ 水稻区 | 水稻土 | |
| | | | 6. 冰雪区 | | 冰沼土 |

* 耕作区中的主要土壤类型还包括各地带中已开耕的各种土壤,无法一一列出。

半覆盖区范围非常大,实际上包括了从东北到华南乃至西南的我国大部地区。同样,受我国水热条件的制约,它也呈东北西南向弧形分布。

覆盖区主要指分布于我国东北、西北和南部林区以及部分植被生长茂密的草甸、沼泽区。这类地区的陆地背景的光谱特征首当考虑植被。

季节性裸露区(耕作区),东北平原、华北平原、四川盆地、长江中下游和珠江三角洲是我国耕地集中分布的区域,约占全国耕地总面积的 2/3。在利用方式上,大致在北纬 33° 以北为旱作区,秦岭、淮河以南为水稻区。根据我国的水热条件,从耕作制度来分,秦岭、淮河以北以一年一熟或二年三熟制为主,南岭以北到江淮之间,包括四川盆地基本上为一年二熟制;广东韶关、南岭一线以南则可一年三熟。由于水稻田及其水稻土在遥感图像及光谱形态上的特殊性,故在水稻集中产区单独将其从耕作区中列出。

我国西部的山区,有一部分终年覆盖着冰雪或地表有永冻层。就这一部分冰雪区的陆地背景而言,主要应考虑冰雪的光谱特征。

四、结 语

以上概略地叙述了我国土壤的分布规律以及土壤光谱特性的变异性,同时提出我国陆地背景-土壤光谱特性的地理分区的初步方案。由于土壤是一个很复杂的自然体,即使同一土类中尚有许多亚类、土属、土种之分。因此,难以逐一细致地研究,仅能择其概要。另外,在很多情况下,土壤是以过渡类型出现的,所以在土壤性状乃至光谱特性方面都可能出现非典型情况。凡此,均造成土壤光谱有一定的变异性,其变幅视不同土类而异,难

以作出一个统一的标准。这些均给本研究的深入带来一定难度。

土壤仅是陆地背景的一个组分。因此,要研究陆地背景的光谱特征,除了研究单个地物的光谱特征外,还应深入研究景观背景组合的光谱特征。

参 考 文 献

- [1] [苏] Ю. С. 杜尔切尼科夫著(明世乾等译),景观光学特性(在航空遥感中的应用),科学出版社,1988年。
- [2] 戴昌达等编著,土壤航测普查,农业出版社,1980年。
- [3] 中国科学院南京土壤研究所主编,中国土壤,科学出版社,1978年。
- [4] Stoner, E. R., et al., Atlas of Soil Reflectance Properties, Agricultural Experiment Station, Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1—9, 1980.
- [5] 戴昌达,中国主要土壤光谱反射特性分类与数据处理的初步研究,遥感文选,科学出版社,1981年。
- [6] 朱永豪等,不同湿度条件下土壤光谱反射率变化规律的研究,土壤学报,21: 194—202,1984。
- [7] 徐彬彬等,土壤光谱反射特性与理化性状的相关分析,土壤专报第41号,科学出版社,1987年。
- [8] 中国科学院南京土壤研究所编制,中国土壤图集,地图出版社,1986年。
- [9] 中国科学院编制,中华人民共和国自然地图集,国家测绘总局印发,1965年。
- [10] 中国科学院地理研究所编制,中国陆地卫星假彩色影像图集,科学出版社,1983年。

A Preliminary Research of Geographic Regionalization of China Land Background and Spectral Reflectance Characteristics of Soil

Xu Binbin Ji Genshan

(Nanjing Institute of Soil Science, Academia Sinica)

Zhu Yonghao

(Anhui Institute of Optics and Fine Mechanics, Academia Sinica)

Abstract

By means of research on correlation between spectral reflectance characteristics of soil and soil physico-chemical properties, and on the basis of law of soil distribution in China, a tentative programme on geographic regionalization of China land background was suggested. The programme was based on plant cover degree and spectral reflectance characteristics of soil. The whole country was divided into 6 regions and 23 subregions by the programme.

Key words Land background Soil Reflectance spectra Geographic regionalization