

西藏阿里地区盐土的发生演变 及其含硼特征*

高以信 张连第

(中国科学院南京土壤研究所)

阿里地区位于青藏高原西部。近年来,我们对该区冈底斯山以北(属于羌塘高原的一部分)呈斑块状出现于湖滨的盐土进行了调查研究,发现青藏高原的不断隆升对该区盐土的形成及其特性有深刻的影响,使高原盐土的形成有其特殊性。本文仅就阿里地区盐土的发生演变、主要亚类的基本性状及其含硼特征进行初步探讨。

一、阿里地区盐土的发生演变过程

中新世中期所发生的喜马拉雅运动和上新世末期强烈的构造运动使在高原内部因断裂活动形成众多的断陷湖盆,其后,在断陷湖盆的基础上发育有与构造线相一致的呈长形或狭长形的湖泊,而其长轴方向两侧多为山岭所挟持,如阿里地区冈底斯山以北目前属地形封闭的羌塘高原西部内陆湖区,区内湖泊多数是构造断陷湖。中更新世末强烈的构造运动,在高原内部表现为强烈的断裂活动和水热活动,富含硼、锂的泉水源源向湖中补给¹⁾。同时强烈的构造运动使高原加速上升,进入晚更新世,喜马拉雅山因隆升过高成为印度洋季风北上的严重屏障,高原内部气候变干,导致内陆湖泊水面逐渐退缩,在湖岸继续形成数级古湖岸线和湖岸阶地。至全新世早期,气候更为干旱,湖水日益浓缩,盐类大量浓集,至今还在继续。本区盐土大多发育于全新世所形成的第一、二级湖岸阶地的湖相沉积物上²⁾。

区内气候和地域差异明显,降水从东到西、从南到北递减,加上南部山体宽阔,山势陡峻,湖盆地范围较大,北部主要是低山丘陵与宽谷湖盆相间,湖盆范围较小,因而作为湖泊、河流水源补给的冰雪融水,也同样呈现出自南向北递减的趋势。目前高原仍在继续隆升,高原上的气候是愈近现代愈干燥和愈向高原内部干燥度愈大,致使本区湖水水体蒸发强烈,明显退缩,矿化度逐年增加,尤其是北部湖水蒸发浓缩的强度更较南部强烈,北部湖水退缩更比南部快。

本区湖滨盐土的发生特点是:

* 文中部分盐分组成的分析数据系引自中国科学院青藏高原综合科学考察队,1979: 西藏土壤(待出版)。参加野外考察的尚有中国科学院自然资源综合考察委员会孙鸿烈、许景江同志;席承藩、赵其国、王遵亲、刘铮、俞仁培等同志曾对本文提供宝贵意见,特此一并致谢。

1) 郑喜玉,1979: 西藏张藏茶卡盐湖形成及其演化(摘要)。

2) 王富葆、张青松、李炳元,1977: 西藏阿里地区地貌和第四纪地质(资料)。

表 1 阿里地区湖滩盐泥的盐分状况

Table 1 Salt regime in lacustrine salt muck on lake beach in Ali area

| 剖面号 No. of profile | 深度 (cm) Depth | pH | CaCO ₃ (%) | CaSO ₄ (%) | 全盐(%) Total salt | 离子组成(毫克当量/100克土) Ionic composition (meq/100 g soil) | | | | | | | | | |
|---|---------------------|------|--------------------------|--------------------------|---------------------|---|-------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|--|-----------------|
| | | | | | | CO ₃ ⁼ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ⁼ | NO ₃ ⁻ | BO ₃ ⁼ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ + K ⁺ (差数) | Li ⁺ |
| TA ₁ -138 革吉县盐湖区北, 海拔 4400 米 | 0-1 | 8.99 | 17.35 | 2.01 | 10.62 | 1.70 | 0.84 | 148.60 | 26.94 | 0.02 | 4.73 | 4.94 | 24.88 | 151.01 | 2.00 |
| | 1-13 | 8.59 | 31.28 | 0.63 | 2.99 | 0 | 0.97 | 40.55 | 7.36 | 0.02 | 2.66 | 0.68 | 4.98 | 44.90 | 1.00 |
| | 13-30 | 8.42 | 43.71 | 1.51 | 7.70 | 0 | 1.27 | 107.94 | 18.61 | 0.02 | 4.42 | 5.95 | 13.23 | 111.28 | 1.80 |

注: 硼的测定系采用甘露醇络合、酸碱中和容量法; 锂的测定用火焰光度法。

Note: Boron content was determined by volumetric titration after complexed by mannitol, Li content was determined by flame photometry.

表 2 阿里地区湖水的盐分组成

Table 2 Salt composition of lacustrine water in Ali area

| 地点 Locality | pH | 矿化度 (g/l) Mineralization rate | 离子组成(毫克当量/升) Ionic composition (meq/litre) | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------|----------------------------------|--|-------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|--------|-------|------|
| | | | CO ₃ ⁼ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ⁼ | NO ₃ ⁻ | BO ₃ ⁼ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | Li ⁺ | | | |
| 北部 Northern part | 龙木错 | 8.24 | 57.99 | 0 | 7.58 | 960.00 | 59.90 | 0 | 20.15 | 0 | 0 | 0 | 439.39 | 563.50 | 40.90 | 7.52 |
| | 班公错 | 9.18 | 2.43 | 5.22 | 8.33 | 18.62 | 7.80 | 0.40 | 4.61 | 0 | 0 | 0 | 15.60 | 27.69 | 1.30 | 0.54 |
| | 曼冬错 | 9.83 | 11.48 | 79.72 | 37.85 | 30.39 | 43.37 | 0 | 36.14 | 0 | 0.40 | 27.01 | 144.42 | 11.43 | 0.48 | |
| 南部 Southern part | 扎仓卡 | 7.47 | 322.32 | 0 | 25.54 | 4665.60 | 484.41 | 0 | 144.89 | 24.12 | 870.33 | 4588.50 | 330.15 | 84.96 | | |
| | 仓木错 | 8.14 | 164.21 | 29.33 | 10.22 | 2668.80 | 88.36 | 0.06 | 191.40 | 22.11 | 469.86 | 2314.33* | 181.87 | | | |
| | 错纳错 | — | 20.02 | 107.34 | 16.69 | 190.12 | 33.65 | — | — | 0.02 | 7.07 | 340.71* | — | | | |
| 盐湖区 潜水 | 扎日南木错 | 9.30 | 16.96 | 19.91 | 36.66 | 44.24 | 131.86 | 0.76 | 47.85 | 21.31 | 2.90 | 255.83* | 1.24 | | | |
| | 潜水 | 8.36 | 0.25 | 0 | 3.09 | 0.54 | 1.01 | — | — | 2.21 | 1.13 | 1.30* | — | | | |

* 为 Na⁺ + K⁺ (差数)。

1. 其盐分主要来自湖水,而且在成土过程之前就已开始在湖积物上累积。目前湖水边缘的湖滩地当其在过去还处于水下堆积阶段时,就为高矿化湖水所浸渍,而成为盐泥。但在湖面退缩成滩后而高等植物尚未在其上生长前,盐分已开始重新分配,向地表累积,盐泥的下层由于受高矿化度湖水的影响,其含盐量虽低于地表,但比紧接其上的层次高。盐泥的盐分组成除以氯化物为主外,还有硼、锂累积,它们的含量随含盐量而变化(表1)。这个阶段纯属盐分的地质累积过程。当高等植物出现而开始具有有机质累积和分解作用时,积盐作用就成为成土过程的一个组成部分,盐泥就转变为盐土。此时,仅生长少量稀疏的盐生植物,土体蒸发作用强烈,盐分通过毛管水不断地向地表聚集。由于湖滨周围崩缘溢出潜水对土壤盐分的淡化作用,使土壤中的含盐量低于盐泥阶段的含盐量。

2. 由于本区南、北部积盐条件有差异,以致湖水、地下水及盐土的盐分组成亦有变化,分析结果(表2)表明:南部地区随着湖水的不断蒸发浓缩,使矿化度逐渐增加,约为17—164克/升,在矿化度增加的同时,变质作用也相应发生,使湖泊向咸水湖和盐湖方向发展,湖水中 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Mg^{++} 和 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 的浓度均有增加,尤其是 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 的含量增加幅度较大,使水型由 $\text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{++}$ 型变成 $\text{SO}_4^{2-} - \text{Na}^+$ 型或 $(\text{Cl}^-, \text{CO}_3^{2-}) - \text{Na}^+$ 型。北部地区湖水蒸发浓缩更为强烈,矿化度提高到58—320克/升,大多数湖泊已由咸水湖发展到盐湖,湖水中 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 绝大部分生成 CaCO_3 沉降湖底(还有少量的 MgCO_3),残存水体的 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 和 Ca^{++} 含量甚少,前者不及阴离子毫克当量总数的1%,后者也不及阳离子毫克当量总数的1%。而卤水中的 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 Mg^{++} 和 $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ 含量明显增大,其中 Cl^- 和 Na^+ 的含量增加最多,形成 NaCl 盐湖。南、北部地下水水质也有所不同,南部弱矿化度地下水以重碳酸盐为主;北部高矿化度地下水则以氯化物为主。与地下水的盐分情况相应,出现在南部的盐土以苏打为主,而出现在北部的盐土则以硫酸盐-氯化物或硫酸盐为主。南、北部不论是湖水还是土壤中,硼均有明显聚积。

3. 本区亚高山荒漠土(冷漠土)地带和高山草原土(莎嘎土)地带,尤其是高山草原土地带偏南部分的盐土有苏打累积,推其原因可能主要与分布于这些地区的花岗岩、安山玢岩和安山岩有密切关系。这些火成岩含氧化钠较高,钠与钾主要以铝硅酸盐形式存在,它们在风化过程中可进一步水解形成苏打。

二、主要亚类的基本性状

盐土在分类上是一个复杂问题,我们按照盐土的一般划分标准,当土壤表层含盐量大于1%的划分为盐土,每百克土壤中 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 毫克当量数大于 $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$ 的毫克当量数在0.5以上时,称为苏打盐土(属于碱化盐土)如果小于0.5毫克当量数时,则属于苏打盐化。

在盐土土类以下,按照成土过程的发育阶段同时也考虑其它方面,将本区盐土划分为普通盐土和碱化盐土两个亚类。

(一) 普通盐土

普通盐土分布很广,从高山草原土地带、高山荒漠草原土(漠嘎土)地带直到亚高山荒

漠土地带和高山荒漠土(寒漠土)地带都有分布。

普通盐土剖面形态共同特点是: 地表普遍有 1 厘米左右的盐结皮, 在盐结皮以下有厚薄不等的盐分与土的混合层, 50 厘米土层内, 可以看到盐分结晶, 积盐层厚度一般在 30—40 厘米左右, 深者达 70 厘米以上。有机质积累作用微弱, 腐殖质层不明显, 个别剖面具有芦苇根茎的粗有机质层, 有机质含量达 4%, 剖面底部多出现青灰的潜育现象^[1]。

从表 3 可看出, 普通盐土的盐分表聚性较明显, 大部分集中在 0—12 厘米之间, 含量在 6% 以上。因积盐层较厚, 有的在 100 厘米土层中盐分含量还超过 2%, 0—30 厘米的平均含盐量在 4.7—5.2% 以上。盐分组成为硫酸盐-氯化物型或硫酸盐型, 土壤表层硼有明显的聚积。阳离子组成中则以钠为主, 土壤呈微碱性反应, pH8 左右, 在个别剖面中镁的含量显著增高, 表层镁离子含量为钙离子含量的几倍到十几倍。

此外, 由于受地面径流带来的盐分影响, 石膏含量在表层有明显的累积。有的剖面下部则受残余石膏化作用的影响, 石膏含量也有所增高。

机械组成的剖面分布状况受湖泊周围不同时期的物质来源所决定, 为粘土与壤土间层, 或壤土与砂土间层^[1]。

(二) 碱化盐土

碱化盐土(苏打盐土)在高山草原土地带、亚高山荒漠土地带均有分布。

苏打盐土是在咸水湖、盐湖淤泥的基础上形成的。夏季地下水位有所抬高, 多在 45 厘米—1 米左右, 矿化度为 0.4—0.5 克/升。自然植被稀疏, 主要生长西伯利亚蓼、碱茅、碱蓬等, 覆盖度 15—20% 左右。

苏打盐土的主要特点在于同时存在着盐化作用和碱化作用, 反映在土壤剖面形态上的共同性是表层有一盐分聚积层或盐结皮(有的地表出现马尿色结皮), 这种结皮背面, 有大量蜂窝状气孔, 结皮往下为块状较紧实的土层。有机质积累少, 但其积累作用在剖面形态上表现并不一致, 如发育在冲积土上, 则有机质积累作用比较微弱, 腐殖质层不明显; 而湖滨苏打盐土腐殖质层比较明显, 厚约 8—15 厘米, 有机质含量约为 1.5%。心土为氧化还原层, 出现锈斑, 底部还出现潜育化特征^[1]。

从表 3 的化学分析表明, 苏打盐土盐分的表聚性强, 一般积聚于 2 厘米的表土内, 积盐层的含盐总量在 1.2—3.2%, 0—30 厘米平均含盐量为 0.2—0.4%。盐分组成以氯化物-苏打型为主, 土表硼的聚积更为明显。CO₃²⁻ 和 HCO₃⁻ 绝大多数是与 Na⁺ 相结合成 Na₂CO₃ 和 NaHCO₃, 其含量可达 3.6—4.3 毫克当量/100 克土, 土壤 pH 大于 9。剖面上部 Na⁺ + K⁺ 的毫克当量数占阳离子总量的 90% 以上; Cl⁻ 的毫克当量数占阴离子总量的 40% 以上。

苏打盐土的机械组成随沉积状况而异, 发育在湖积物上的土壤质地多为壤土^[1]。

三、阿里地区盐土含硼的地球化学特征

硼是亲石元素, 地球岩石圈含硼量是 10ppm, 各国积累的土壤资料说明正常土壤含硼量是 2—100ppm, 平均含量是 8ppm^[4], 近年来我们对阿里地区的盐泥、盐土、植物和湖

表3 阿里地区盐土的盐分状况

Table 3 Salt regime of solonchaks in Ali area

| 土壤类型 Soil type | 剖面号 No. of profile | 深度 (cm) Depth | pH | CaCO ₃ (%) | CaSO ₄ (%) | 全盐(%) Total salt | 离子组成(毫克当量/100克土) Ionic composition (meq/100g soil) | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--|---------------------|------|--------------------------|--------------------------|---------------------|--|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------|------------------|---|-----------------|
| | | | | | | | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | NO ₃ ⁻ | BO ₃ ⁼ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ +K ⁺ (差数) | Li ⁺ |
| 普通盐土 Solonchak | T _{As} -067 日土县龙木错 东岸, 海拔4820米 | 0-1 | 7.60 | 28.29 | 20.35 | 8.17 | 0 | 1.06 | 90.02 | 42.85 | 0.40 | 0.89 | 13.87 | 19.90 | 100.96 | 0.49 |
| | | 1-12 | 7.24 | 41.49 | 2.89 | 6.14 | 0.34 | 0.17 | 75.85 | 26.37 | 0.52 | 0.64 | 8.32 | 20.62 | 74.35 | 0.60 |
| | | 12-30 | 7.86 | 46.17 | 2.98 | 3.64 | 0 | 0.38 | 38.41 | 20.30 | 0.34 | 0.54 | 9.93 | 7.84 | 41.84 | 0.36 |
| 普通盐土 Solonchak | T _{As} -099 日土县班公错 北岸,班摩掌, 海拔4248米 | 30-47 | 7.71 | 51.27 | 3.13 | 2.49 | 0 | 2.03 | 20.41 | 17.33 | 0.17 | 0.52 | 9.23 | 3.78 | 27.22 | 0.23 |
| | | 47-70 | 7.70 | 40.69 | 12.45 | 2.32 | 0 | 0.20 | 12.63 | 23.20 | 0.07 | 0.49 | 14.58 | 5.43 | 16.38 | 0.20 |
| | | 70-100 | 7.73 | 45.10 | 17.44 | 2.43 | 0 | 0.21 | 14.10 | 23.80 | 0.06 | 0.42 | 14.94 | 6.42 | 17.02 | 0.21 |
| 普通盐土 Solonchak | T _{As} -136 革吉县盐湖 北, 海拔4400米 | 0-1 | 8.71 | 15.69 | 14.92 | 17.38 | 0.96 | 1.84 | 12.69 | 257.13 | 1.82 | 2.16 | 14.03 | 178.75 | 83.51 | 0.31 |
| | | 1-8 | 8.78 | 21.10 | 19.93 | 10.33 | 1.27 | 1.51 | 11.18 | 152.59 | 0.97 | 1.96 | 10.59 | 131.04 | 27.69 | 0.16 |
| | | 8-21 | 8.55 | 68.63 | 6.37 | 4.47 | 0 | 0.67 | 21.41 | 45.79 | 0.41 | 0.68 | 12.65 | 28.33 | 28.44 | 0.22 |
| 碱化盐土 Alkaline solonchak | T _{As} -136 革吉县盐湖 北, 海拔4400米 | 21-50 | 7.67 | 22.37 | 2.85 | 0.99 | 0 | 0.12 | 0.19 | 14.51 | 0.03 | 0.07 | 12.10 | 2.22 | 0.49 | 0.11 |
| | | 0-2 | 9.28 | 41.69 | 0.60 | 3.28 | 2.83 | 0.80 | 37.46 | 9.35 | 0.13 | 5.54 | 0.55 | 0.57 | 54.32 | 0.67 |
| | | 2-8 | 9.26 | 31.28 | 0.37 | 0.30 | 0.80 | 1.24 | 1.57 | 0.36 | 0.01 | 1.76 | 0.18 | 0.14 | 5.28 | 0.14 |
| 碱化盐土 Alkaline solonchak | T _{As} -132 革吉县亚热区 西北, 海拔4600米 | 8-17 | 9.03 | 35.53 | 0.02 | 0.13 | 0.41 | 1.05 | 0.31 | 0.23 | 0.02 | 0.54 | 0.07 | 0.04 | 2.32 | 0.13 |
| | | 17-32 | 8.67 | 49.06 | 0.35 | 0.20 | 0 | 1.50 | 0.12 | 1.15 | 0.04 | 0.81 | 0.83 | 0.14 | 2.51 | 0.14 |
| | | 32-57 | 9.26 | 35.53 | 0.34 | 0.22 | 0.54 | 1.42 | 0.09 | 0.98 | 0.05 | 1.04 | 0.35 | 0.06 | 3.57 | 0.14 |
| 碱化盐土 Alkaline solonchak | T _{As} -132 革吉县亚热区 西北, 海拔4600米 | 57-87 | 9.03 | 45.95 | 0.45 | 0.26 | 0.45 | 1.35 | 0.19 | 1.77 | 0.03 | 0.68 | 0.01 | 0.06 | 4.26 | 0.14 |
| | | 87-120 | 8.54 | 47.44 | 0.44 | 0.16 | 0 | 1.05 | 0.12 | 1.35 | 0.01 | 0.20 | 0.20 | 0.25 | 2.12 | 0.16 |
| | | 地下水* | 8.33 | — | — | 0.54 | 0 | 4.37 | 1.00 | 4.08 | 0 | 0.42 | 1.04 | 4.11 | 4.40 | 0.32 |
| 碱化盐土 Alkaline solonchak | T _{As} -132 革吉县亚热区 西北, 海拔4600米 | 0-2 | 9.35 | 19.60 | 0.10 | 1.19 | 3.41 | 0.88 | 15.00 | 1.33 | — | — | 0.69 | 0.54 | 19.39 | — |
| | | 2-8 | 9.45 | 19.20 | 0.09 | 0.16 | 0.36 | 0.96 | 1.35 | 0.18 | — | — | 0.12 | 0.11 | 2.61 | — |
| | | 8-15 | 8.50 | 19.80 | 0.09 | 0.05 | 0 | 0.64 | 0.19 | 0.15 | — | — | 0.19 | 0.06 | 0.73 | — |
| 碱化盐土 Alkaline solonchak | T _{As} -132 革吉县亚热区 西北, 海拔4600米 | 15-25 | 8.36 | 17.40 | 0.26 | 0.20 | 0 | 0.35 | 0.23 | 2.46 | — | — | 2.13 | 0.54 | 0.37 | — |
| | | 25-55 | 8.00 | 21.20 | 0.08 | 0.28 | 0 | 0.36 | 0.22 | 3.65 | — | — | 2.75 | 0.67 | 0.80 | — |
| | | 地下水* | — | — | — | 0.37 | 0 | 3.34 | 1.40 | 1.96 | — | — | 1.00 | 2.79 | 2.91 | — |

* 地下水全盐为克/升, 离子组成为毫克当量/升。

* The unit of total salt of ground water is g/litre, the unit of ionic composition is meq/litre.

水进行了有关项目的化学分析,兹将其含硼特征分别叙述如下。

(一) 盐泥和盐土的含硼特征

在不同的成土过程中,微量元素含量发生一定的变化,有的元素是增多的,有的则是减少的(或向一定层次集中)。如果从盐化作用与微量元素含量的关系来看,其盐化作用的一个重要特点就是硼的富化,即有硼酸盐的盐渍现象,表层特别是盐结皮中含有多量硼。例如我国江苏射阳滨海盐土表层的含硼量 80ppm 左右,水溶态硼常是 1—2ppm^[2]。根据我们对阿里地区盐泥和盐土进行盐分组成分析取得的初步资料(表 4),说明本区土壤含硼量与成土母质有密切关系,作为盐土成土母质的富硼盐泥,其含硼量有的高达 1000ppm 以上,比海相沉积物 500 多 ppm 的含硼量还要大一倍^[3]。因而盐土表层含硼量

表 4 阿里地区盐土和盐泥的含硼量

Table 4 Boron content of lacustrine salt muck and solonchaks in Ali area

| 剖面号 No. of profile | 深度 (cm) Depth | pH | 全盐 (%) Total salt | 水溶态硼 B (ppm) Available boron | 全硼 B (ppm) Total boron | 水溶态硼 × 100 全硼 Available boron Total boron × 100 |
|---|------------------|------|----------------------|---------------------------------------|---------------------------|---|
| T _{As} -067 普通盐土 Solonchak | 0—1 | 7.60 | 8.17 | 32.14 | 230 | 13.97 |
| | 1—12 | 7.24 | 6.14 | 23.02 | 152 | 15.14 |
| | 12—30 | 7.86 | 3.64 | 19.60 | 208 | 9.42 |
| | 30—47 | 7.71 | 2.49 | 18.74 | 139 | 13.48 |
| | 47—70 | 7.70 | 2.32 | 17.55 | 189 | 9.29 |
| | 70—100 | 7.73 | 2.43 | 14.95 | 172 | 8.69 |
| T _{As} -099 普通盐土 Solonchak | 0—1 | 8.71 | 17.38 | 77.82 | 292 | 26.65 |
| | 1—8 | 8.78 | 10.33 | 70.55 | 309 | 22.83 |
| | 8—21 | 8.55 | 4.47 | 24.32 | 146 | 16.66 |
| | 21—50 | 7.67 | 0.99 | 2.45 | 112 | 2.19 |
| T _{As} -136 碱化盐土 Alkaline solonchak | 0—2 | 9.28 | 3.28 | 199.43 | 490 | 40.70 |
| | 2—8 | 9.26 | 0.30 | 63.23 | 177 | 35.72 |
| | 8—17 | 9.03 | 0.13 | 19.46 | 199 | 9.78 |
| | 17—32 | 8.67 | 0.20 | 29.18 | 179 | 16.30 |
| | 32—57 | 9.26 | 0.22 | 37.47 | 301 | 12.45 |
| | 57—87 | 9.03 | 0.26 | 24.32 | 229 | 10.62 |
| T _{As} -138 盐泥 Lacustrine salt muck | 0—1 | 8.99 | 10.62 | 170.49 | 956 | 17.83 |
| | 1—13 | 8.59 | 2.99 | 95.73 | 500 | 19.15 |
| | 13—30 | 8.42 | 7.70 | 159.32 | 1050 | 15.18 |
| 江苏射阳滨海盐土* Coastal solonchak in Sheyang, Jiangsu province | 0—3 | — | — | 1.04 | 83 | 1.25 |
| | 48—81 | — | — | 1.22 | 44 | 2.77 |
| | 113—133 | — | — | 1.60 | 54 | 2.96 |
| | 133—150 | — | — | 1.48 | 14 | 10.57 |

* 引自中国科学院南京土壤研究所主编的《中国土壤》一书中的资料(1978年)。

* Cited from the book «Soils in China» by the Institute of Soil Science Academia Sinica, Nanjing (1978).

很高,含量范围是 230—490ppm,比西藏一般土壤硼平均含量(170 ppm)高出 0.4—1.9 倍¹⁾,比上述滨海盐土表层含硼量高出 2—5 倍,比世界各国土壤硼平均含量高出 28—60 倍。表层水溶态硼含量是 30—200ppm,比南疆地区盐土表层水溶态硼含量(3—14ppm)高出 9—14 倍²⁾,比上述滨海盐土表层水溶态硼含量高出 29—100 倍。表层水溶态硼占全硼的百分数为 14—40%,比滨海盐土表层水溶态硼占全硼的百分数(1.3—2.5%)要大得多。

水溶态硼在土壤剖面或在盐泥的不同层次中的含量变化与该层含盐量的多少有关。

(二) 植物含硼特征

羌塘高原高山草原土地带草本植物(22 种 97 个样品统计)含硼量平均为 0.0115%,高于植物克拉克值 11 倍³⁾,这正是植物对硼有强烈生理化学作用的结果,也恰恰是羌塘高原内陆湖区高含硼量的反映。土壤中富含硼对植物有重要的生理化学作用,在阿里地区盐

表 5 阿里地区盐生植物化学组成(占干物质的百分数)

Table 5 Chemical composition of halophyte in Ali area (% in dry matter)

| 植物名称 Plant name | 有机碳 Organic carbon | N | 灰分 Ash | SiO ₂ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ | B |
|--|--------------------|------|--------|------------------|------|------|------------------|-------------------|-------------------------------|------|
| 西伯利亚蓼 (<i>Polygonum sibiricum</i>) | 42.98 | 1.60 | 25.90 | 9.33 | 1.08 | 1.67 | 2.15 | 4.31 | 0.46 | 0.11 |
| 碱茅 (<i>Puccinellia</i> sp.) | 46.36 | 1.18 | 20.06 | 9.83 | 0.65 | 1.52 | 1.48 | 1.56 | 0.40 | 0.09 |
| 芦苇(茎叶) (<i>Phragmites communis</i>) | 49.78 | 2.54 | 14.18 | 6.91 | 0.44 | 1.10 | 2.12 | 0.76 | 0.17 | 0.01 |
| 芦苇(根) (<i>Phragmites communis</i>) | 49.11 | 0.66 | 15.32 | 4.52 | 0.59 | 1.78 | 0.50 | 1.08 | 0.05 | 0.01 |

表 6 阿里地区盐生植物水提液盐分组成(占干物质的百分数)

Table 6 Water soluble salt composition of hylophyte in Ali area (% in dry matter)

| 植物名称 Plant name | pH | 全盐 Total salt | CaSO ₄ | MgSO ₄ | MgCl ₂ | KCl | NaCl | NaHCO ₃ | K ₂ SO ₄ | B |
|--|------|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|------|--------------------|--------------------------------|------|
| 西伯利亚蓼 (<i>Polygonum sibiricum</i>) | 7.32 | 8.46 | 0.19 | 0.62 | 0 | 0.97 | 3.31 | 2.29 | 0.47 | 0.10 |
| 碱茅 (<i>Puccinellia</i> sp.) | 6.77 | 2.28 | 0.02 | 0.34 | 0.09 | 0.58 | 0.85 | 0 | 0 | 0.05 |
| 芦苇(茎叶) (<i>Phragmites communis</i>) | 6.85 | 5.44 | 0.45 | 1.28 | 0.05 | 1.92 | 0.59 | 0.36 | 0 | 0.01 |
| 芦苇(根) (<i>Phragmites communis</i>) | 7.10 | 6.14 | 0.58 | 2.41 | 0.15 | 0.55 | 1.10 | 0 | 0 | 0.01 |

1) 地质科学院地质矿产研究所,中国科学院西藏综合考察队,1974: 西藏盐湖硼矿研究报告(资料)。

2) 据刘铮等同志资料。

表 7 阿里地区若干湖水与国外某些湖水及海水离子含量对比表

Table 7 The comparison of ion content of lacustrine water in Ali area with that of some foreign lacustrine water and the sea water

| 地点 Locality | 阳离子总量(毫克当量/升) Total cation (meq/l) | | 阳离子当量百分比 Cation equivalent percentage | | | | | 阴离子总量(毫克当量/升) Total anion (meq/l) | | 阴离子当量百分比 Anion equivalent percentage | | | | |
|-------------|---------------------------------------|-----------------|--|------------------|-----------------|--|--|--------------------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|-------------------------------|--|--|
| | K ⁺ | Na ⁺ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Li ⁺ | | | Cl ⁻ | SO ₄ ⁼⁼ | CO ₃ ⁻ | HCO ₃ ⁻ | BO ₃ ⁼⁼ | | |
| 龙木错 | 3.9 | 53.6 | 0 | 41.8 | 0.72 | | | 91.6 | 5.7 | 0 | 0.72 | 1.9 | | |
| 班公错 | 2.9 | 61.4 | 0 | 34.6 | 1.20 | | | 41.8 | 17.5 | 11.7 | 18.7 | 10.3 | | |
| 曼冬错 | 6.2 | 78.6 | 0.22 | 14.7 | 0.26 | | | 13.4 | 19.1 | 35.1 | 16.6 | 15.9 | | |
| 扎仓茶卡 | 5.6 | 77.8 | 0.41 | 14.8 | 1.44 | | | 87.7 | 9.1 | 0 | 0.48 | 2.7 | | |
| 美国西尔兹盐湖* | 10.9 | 89.0 | 0 | 0 | 0.1 | | | 66.0 | 13.2 | 16.8 | | 4.00 | | |
| 苏联因杰尔盐湖* | 5.2 | 74.2 | 1.0 | 19.9 | | | | 94.4 | 1.9 | | 3.3 | 0.4 | | |
| 青海大柴旦盐湖* | 3.1 | 66.3 | | 29.9 | 0.7 | | | 82.3 | 13.8 | 1.8 | 0.9 | 1.20 | | |
| 海水** | 1.64 | 77.37 | 3.36 | 17.63 | 痕迹 Trace | | | 89.98 | 9.26 | | 0.38 | 0.38 | | |

* 引自地质科学院地质矿产研究所、中国科学院西藏综合考察队的“西藏盐湖硼矿研究报告”中的资料(1974年)。

** 引自 H. U 斯费德罗普等著的《海洋》第一卷(1958年)。

土上往往见到西伯利亚蓼、碱茅等生长,其中西伯利亚蓼常发生病态,叶子发红色,而碱茅则易于枯黄,分析结果(表5)表明,这些植物含高量灰分,其含硼量较高,如西伯利亚蓼含硼量达0.11%,碱茅达0.09%,证明这类植物是“耐硼”植物,只有芦苇含硼量较低为0.01%。表6同样说明上述盐生植物的含盐量高,其盐分组成中硼的含量不低。

(三) 湖水中硼的富集

本区湖水突出的水化学特点是富含硼锂。湖水中一般 BO_3^- 毫克当量百分数在2—16%之间,比海水相对含硼量高出4—40倍以上,锂的相对含量也很高(表7)。硼和锂密切共生,凡是富集硼的湖水,锂的含量也相应地富集。以上说明本区富含硼的湖水是盐土高含硼的重要物质来源。

综上所述,本区盐土的含硼特征是:在青藏高原不断隆升、区域气候愈来愈变得干旱的情况下,由于日益浓缩的湖水中硼的大量聚集,在受富含硼湖水浸渍的盐泥上发育的盐土,其表层含硼量很高。而“耐硼”植物的高含硼量则对本区盐土的高含硼是一个有力证明。另外,目前高原的水热活动仍十分强烈,湖边常有温泉,其泉水中硼、锂等元素(表8),同蚀源区风化淋滤的成盐元素一起经淋滤搬运迁移入湖内,说明本区盐湖富硼与火山和温泉活动有关。

表8 羌塘高原泉水、河水的硼锂含量

Table 8 B and Li content of spring water and river water on Qiang Tang plateau

| 地点 Locality | 水样名称 Name of water sample | pH | 矿化度 (g/l) Mineralization rate | $\text{BO}_3^-(\text{mg/l})$ | $\text{Li}^+(\text{mg/l})$ |
|-------------|------------------------------|------|----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| 加 林 | 龙马尔热泉水 | 8.12 | 1.90 | 17.80 | 1.88 |
| 玛威山南 | 戴累勒马泉水 | 8.37 | 0.22 | 0.85 | 0 |
| 巴毛穷宗 | 玛尼泉水 | 8.10 | 1.34 | 7.04 | 痕迹 Trace |
| 双湖办事处 | 河 水 | 8.34 | 0.11 | 0 | 0 |

参 考 文 献

- [1] 中国科学院南京土壤研究所青藏组,1979: 青藏高原的盐土。盐渍土改良论文选。92,96页,山东科学技术出版社。
- [2] 中国科学院南京土壤研究所主编,1978: 中国土壤。409页,科学出版社。
- [3] 刘铮,1980: 土壤中的微量元素。中国科学院微量元素学术交流会汇刊。科学出版社。
- [4] Swaine, D. J., 1955: Trace element content of soils. Comm. Bur. Soil Sci. Tech. Commun., No. 48.

GENESIS AND EVOLUTION OF BORON-BEARING SOLONCHAKS IN ALI AREA OF XIZANG

Gao Yi-xin and Zhang Lian-di

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Summary

Most of the lakes in Ali area of Xizang belong to the tectonic faulted ones. At the end of the middle Pleistocene the violent tectonic movement caused faulted zone accompanied with rift and hydrothermal activity. The spring water abounding with boron and lithium continuously flowed into the lakes. With uplifting of the plateau, the climate within the plateau became drier, and leded the withdrawal and lowering of the water level of the lakes. Up to the early Holocene, the climate became more and more dry. The concentration of the lacustrine water brought about the enrichment of soluble salts. The solonchaks in this area are developed from the deposits of the lake terraces I and II formed in Holocene.

Due to the climatic and regional differentiations in Ali area, the salt composition of the lacustrine water and the ground water in the southern part differs from that in the northern part. In correspondence with the salt status in the ground water, the solonchaks in the southern part of Ali area mainly contains soda (the source of the soda is closely related to igneous rocks), while the solonchaks in the northern part are chiefly composed of sulphate-chloride or sulphate.

At present, the hydrothermal activity still remains vigorous. Nearby the lakes can often be found thermal spring. The substances such as boron, lithium, etc. from the spring water, together with other salts subjected to weathering and leaching from eroded places were continuously transported into the lakes. Therefore, the enrichment of boron in the lacustrine water is the source of boron of the lacustrine salt muck, solonchaks and the plants. The lacustrine salt muck as soil-forming material of solonchaks contains boron as high as 1,000 ppm. The contents of boron (230—490 ppm) and soluble boron (30—200 ppm) in surface soil of solonchaks in Ali area are 2—5 and 29—100 times higher than those in the coastal solonchaks in our country respectively.