

北疆地区碱化土壤及其特性*

蔡阿兴 俞仁培

(中国科学院南京土壤研究所)

继南疆碱化土壤的研究后,1979年我们又进行了北疆地区碱化土壤的调查研究。

五十年代中国科学院综合考察队的报告指出^[1]:新疆只有准噶尔盆地南部细土平原的荒漠灰钙土(及部分龟裂土)才有比较普遍而明显的碱化现象,并且认为新疆只有碱化土壤,没有典型的碱土。通过我们的野外考察和室内分析,北疆地区相当广泛地分布着碱化土壤,不仅在准噶尔盆地的南部细土平原,而且两河流域(额尔齐斯河和乌伦古河的简称,下同)也有碱化土壤分布。在北疆,不仅有碱化土壤,而且有发育很好的碱土。这与李子熙、许志坤研究的结果相符^[2,3]。现将所收集的资料汇总如下。

一、北疆碱化土壤形成的自然条件

北疆系指新疆阿尔泰山以南和天山以北的准噶尔盆地。由于受北冰洋和大西洋湿润气流的影响,与南疆相比^[4],气候相对湿润。盆地南面有天山屏障,夏季地形雨较频繁,大部分地区年降水量在150~200毫米之间(一般180毫米左右),年蒸发量为1700—2200毫米,大于降水量10倍左右,干燥度为4—8(10)。盆地北部的气候比南部更湿润些,年降水量为150—250毫米,而蒸发量比其它地区都小,一般为1600—1900毫米,比降水量大7—10倍。干燥度为2.5—5。所以,北疆地区土壤积盐没有南疆严重,而土壤碱化作用比南疆严重且普遍。

碱化土壤的形成条件,除了气候因素外,还受母质、水文地质条件的影响。盆地四周为群山环抱,阿尔泰山从高山带到低山带,除了部分古生代沉积岩层外,分布着大面积的花岗岩侵入体和以片麻岩为主的变质岩系,其风化产物不仅使洪积物较粗,更主要的是影响盆地北部的地表水、地下水以及土壤的盐分中明显出现苏打^[5]。盆地南缘为北天山的一连串高耸山脉,山地主要岩石为碎屑岩系,基性和酸性火成岩系。天山的许多山峰终年积雪,加之山地多雨,气温低,蒸发弱,成为盆地南部径流形成区。

盆地内成土母质,在北部两河流域地区,大多为洪积物。土壤表层20—30厘米内,其粗骨部分占土重的20—30%,愈向下愈多,其细粒部分,细砂和中砂常占70—90%。整个盆地,缺乏现代冲积物,都是古老冲积物,大部分由分选后的黄土状物质所组成。机械组成多数以中壤为主,物理性粘粒含量约在30—45%,粗砂粒的含量通常为20(30)—40(50)%^[6],这些成土母质,我们在野外测试时,普遍有酚酞反应。这可能与盆地内碱化土壤的形成有一定的关系。

其次,盆地内水文地质条件对碱化土壤的形成也有影响。因为无论来自阿尔泰山的额尔齐斯河、乌伦古河或者来自天山北麓的各河流,河水的矿化度都很小,额尔齐斯河沿河各段都在0.05—0.07克/升,乌伦古河则为0.1—0.2克/升,两河的水化学类型都为苏打水,总碱度(HCO_3^-)约占阴离子毫克当量总数的60—90%。天山北麓的各河流矿化度也都较低,约0.1—0.4克/升,属于重碳酸钠—钙型水^[7]。据室内土柱模拟试验,用这种水长期灌溉,会使土壤碱化。另外,盆地内地形受到严重切割,缺乏浅层的地下水资源,因而断绝了地下水影响下的土壤积盐过程,降雨与灌溉都在一定程度上起到淋盐的作用,导致土壤脱盐碱化。

* 野外工作得到新疆生土所李述刚等同志的大力协助,特此致谢。

二、碱化土壤的分布及其形成过程

碱化土壤和碱土广泛分布在准噶尔盆地的南缘和北部，即两河流域，以及中天山北麓的冲积、洪积扇和古老冲积平原上，如玛纳斯河流域及奇台、木垒地区。它们是斑状零星分布在栗钙土、棕钙土、灰漠土之中，呈复区分布，较多地分布在灰漠土和棕钙土内。

碱化土壤的形成可能不是单一的，而是多途径的。碱化土壤面积分布较广的玛纳斯地区扇缘沼泽带以北，原为古老的淤积平原，源自天山北麓的含钠岩石风化所释放出来的钠盐，呈低矿化含苏打的地下水或地表水流入该地，并在土壤中累积，从上新世开始和第四纪是山地隆起时期，由于地壳上升，河流下切，地下水位下降，导致盐渍土脱盐碱化。两河流域的龟裂土，位于相对平坦而低洼处，常与砂包或残余盐土呈复区分布，由阿尔泰山含钠长石的片麻岩的风化物，溶于河水或地下水，这种低矿化的重碳酸钙、钠型水造成平原土壤积盐。因为这里雨量较多，年降雨量分配不均匀，造成季节性的微弱地表水流，此外，春季融雪水，一方面把一些细土物质从高处带到低处，同时也起到淋盐作用，导致土壤碱化，这些细土物质，经过干缩、湿涨交替作用，从而形成多边形龟裂纹的龟裂土。

关于碱化土壤的形成，前人都认为是脱盐碱化，并且指出准噶尔盆地南部土壤的碱化过程的发展既与天山山前部分降水量较多有关，同时与新构造上升运动延续的时间、强度和幅度有关。后者导致侵蚀基面的降低，水文网的加深、地下水位的下降以及地区自然排水的增强，由于地下水位下降，由土壤毛管溶液上升所引起的盐渍化乃行停止，从而加强了土体的淋溶作用，终于导致土壤脱盐碱化。我们同意碱化土壤形成的这种可能性，但是还应该注意到天山含钠岩石风化所释放出来的碱性钠盐随地下水或地表径流注入该地，通过蒸发在土壤中累积(表1)。这

表1 北疆水样分析结果

剖面号	地点	pH	全盐 (克/升)	盐分离子组成 (毫克当量/100克土)							离子组成类型
				CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺ ·Na ⁺	
S ₇	122团15连 自流井水	8.55	0.37	0	2.34	1.42	1.35	0.21	0.05	4.85	Cl ⁻ -SO ₄ ⁻ -HCO ₃ ⁻ -Na ⁺
S ₁₈	木垒县城水 河	8.27	0.28	0	2.06	0.55	1.01	1.42	0.59	1.61	SO ₄ ⁻ -HCO ₃ ⁻ -Ca ⁺⁺ -Na ⁺

种碱性钠盐在土壤中累积的同时，使土壤发生碱化，碱化土壤的这种形成途径已为国内外的大量研究资料所证实。我们认为，碱性钠盐引起土壤碱化可能是主要的，其次才是脱盐碱化。发生在河谷阶地地下水水位较高的部位，如泉水、湖泊、沼泽等周围及个别小河流的沿岸，这里的碱化土壤往往伴随着积盐过程而形成典型的碱化盐土；另一种为含碱性钠盐母岩的地表径流流经土壤表面而使土壤碱化，分布在沙丘间或河谷低地的碱化龟裂土的碱化过程很可能就是这种途径。由于龟裂土质地粘重，土壤透水性和毛管性能比较差，在目前地下水位大于5—6米的情况下，地下水不可能影响地表积盐，而微弱的淋盐也不会使土壤强烈的碱化，只有当含有碱性钠盐的地表径流在土壤表面停滞，才能使土壤碱化。此外，北疆地区中生代地层相当发育，平均厚度在3000米以上，它富含煤和石油，在玛纳斯地区独山子背斜贮油构造顶部，有泥火山活动，喷出的盐类，被地表水和风再分配于山前平原，致使土壤强烈碱化。即使在相当闭合的贮油构造上，它仍然可借毛细管一薄膜水移动，把盐溶液送到地面上来。因此，碱化土壤的形成可能与深层石油有一定关系。在克拉玛依油田附近，就有碱化土壤的分布。

值得指出的，北疆碱化土壤的形成除了部分是现代发生的碱化过程外，主要是古代的。表2

表2

新疆碱化土壤的代换性能分析结果

剖面号	采样地点	剖面深度 (厘米)	代换量 (毫克当量/100克土)	代换性钠 (毫克当量/100克土)	碱化度 (%)
北11-1	乌尔禾农场北山顶	表土	12.24	11.55	94.36
北11-2	乌尔禾农场北山顶旁	表土	20.44	9.85	48.19
北27	阜康西10公里(红土)	表土	7.89	4.65	58.94
北28	阜康西10公里(黄土)	表土	23.05	19.78	85.81
北20	奇台县北偏东15公里	0—2.2	5.29	0.48	9.07
	哈马湖梁顶	2.2—19	6.78	5.81	85.69
		19—28	7.81	7.60	97.31

中乌尔禾农场附近,剖面北₁₁₋₁、北₁₁₋₂,这些点所处的海拔高程都大于500米,较其周围高出30米左右,在奇台县境内的剖面北₂₀,地处梁顶,它比周围高出20—30米。从表2中可见,其代换性钠的绝对含量为6—19毫克当量/100克土,碱化度高达50—90%,显然这种碱化土壤是历史的产物,而非现代所形成。

三、碱化土壤的理化特性

新疆的碱化土壤和国内其它地区的碱化土壤一样,具有一系列不良的物理化学性质,如板结、不透水、干时坚硬、湿时泥泞,土壤的通气性很差。因而影响植被生长,甚至成为光板地,偶尔可见到矮小的锁锁、琵琶柴、坚角藜、假木贼。裸露的地表,在荒漠的气候条件下,表土收缩而形成不规则的龟裂纹。

(一)盐分含量

碱化土壤(碱化盐土除外)的特征之一,含盐量低。新疆的碱化土壤由于地处干旱气候条件,尽管它比盐土或南疆的碱化土壤含盐量低,但与其它半干旱、半湿润地区的碱化土壤相比,它

表3

新疆碱化土壤的盐分分析结果

剖面号	深度 (厘米)	pH	全盐 (%)	离子组成(毫克当量/100克土)						MgCO ₃ (克/100 克土)	CaCO ₃ (克/100 克土)	CaSO ₄ ·2H ₂ O (克/100 克土)	
				CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺				K ⁺ +Na ⁺
北7	0—1	9.28	0.318	0	0.24	1.26	2.68	0.13	0.03	4.02	0.74	10.09	0.18
	—10	9.17	1.877	0	0.18	20.18	2.26	0.36	0.18	22.38	0.90	8.39	0.57
	—24	8.88	1.426	0	0.14	9.88	8.32	2.18	0.52	15.64	0.79	8.79	0.35
	—36	8.91	1.394	0	0.13	9.86	7.89	2.16	0.51	15.21	0.42	7.34	0.23
	—47	9.37	0.714	0	0.12	5.70	3.17	0.27	0.14	8.67	0.63	6.79	0.05
北14	0—2.2	8.75	0.987	0	0.20	0.31	13.46	0.90	0.32	12.75	1.87	7.79	0.19
	—19	9.81	0.538	0.18	0.22	0.83	6.51	0.04	0.01	7.69	1.93	7.87	0.65
	—28	9.11	0.276	0.18	0.44	0.99	2.42	0.02	0.02	3.99	1.90	9.19	0.19
	—41	9.22	2.454	0	0.09	3.47	31.74	2.32	0.23	32.75	1.74	9.14	3.27
	—51	9.40	2.911	0	0.08	6.23	36.00	2.57	0.42	39.32	1.29	7.64	1.63
北24	0—8	9.78	0.493	0.23	0.34	0.52	5.96	0.02	0.03	7.00	0.53	2.82	0
	—17	10.17	0.076	0.02	0.25	0.16	0.64	0.02	0.02	1.03	0.45	4.90	0.19
	—28	9.86	0.498	0.06	0.27	4.04	3.34	0.07	0.02	7.62	0.69	8.82	0.03
	—45	9.01	2.957	0	0.08	7.14	35.92	2.23	0.69	40.22	0.55	5.94	1.31
	—56	8.78	3.176	0	0.07	7.12	39.06	2.46	0.79	43.00	0.77	7.12	5.31
56以下	8.85	3.051	0	0.08	9.99	45.42	2.96	1.00	51.53	0.24	10.04	5.41	

的含盐量还是较高的。碱化盐土表层(20厘米)含盐量都在1%以上。碱土除了剖面上部有10—20厘米的淋溶层,含盐量不超过0.5%以外,淋溶层下含盐量明显增加,一般超过2%,如下野地122团17连的龟裂碱土剖面北₇,182团索索泉南面的碱土北₁₄和木垒县东风公社的碱土北₂₄(表3)。此外,北疆碱土的含盐量还与其分布的地形部位不同而有所差异。如两河流域的碱土其含盐量就低于其它地区,剖面中盐分聚积层的最高含盐量在0.6%左右,这可能是由于这里的地形略为高一些,盐分的淋溶比较强烈,同时额尔齐斯河和乌伦古河都是外流河,河水矿化度低,土壤中累积的盐分也少^[8]。

北疆碱化土壤盐分的化学组成因为受当地自然条件的影响,不象国内其它地区碱化土壤那样,突出地以重碳酸钠为主,而是以本地区内盐分的地球化学分异占主导因素,即土壤盐分组成以 SO_4^{2-} 和 Na^+ 占绝对优势,重碳酸钠的含量都不高,总碱度不超过每百克土0.5毫克当量。重碳酸钠和碳酸钠只有在碱化盐土中才大量累积,总碱度含量在结皮层中达到82毫克当量/100克土。

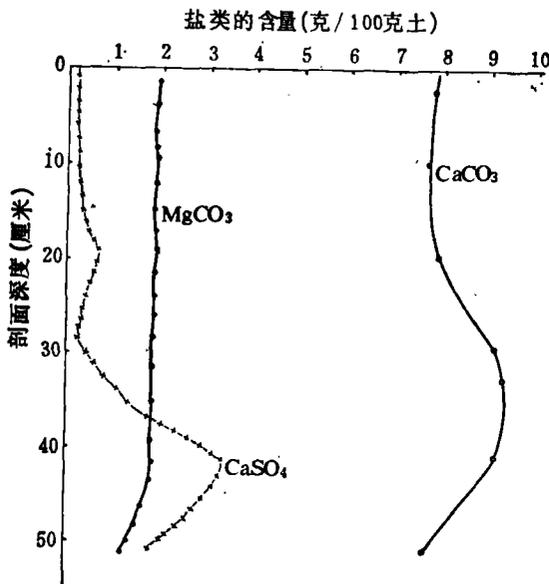


图1 碳酸盐和石膏的分布图(剖面北₂₀)

北疆碱化土壤普遍含有碳酸钙、镁,总含量通常在7—10%左右,碳酸镁含量一般小于1克/100克土,个别达到2克/100克土。北疆碱化土壤中石膏含量一般为1克/100克土,有的全剖面小于0.5克/100克土,尤其在土壤上层,但在北_{20,18,23,24}剖面中、下部,发现有石膏累积现象,含量达4—5克/100克土。石膏的剖面分布不象碳酸镁那样均匀,也不象碳酸钙在下部有增加的趋势,而且明显的在下部累积,这种现象可能与土壤长期淋溶和石膏的溶解度较大有关(图1)。

(二) pH值

北疆碱化土壤与全国其它地区的碱化土壤一样,都呈强碱性,全剖面pH值达8.5以上,在碱化层中高达10以上。

在碱化层中高达10以上。

碱化土壤浸提液的pH值,随着土水比的增大而升高。用三种不同土水比浸提出的土壤pH值与土壤碱化度(ESP)都呈非常显著的相关性,其相关系数也随土水比增大而增大。据58个样品的不同土水比(1:5, 1:2.5, 1:1)测定的pH平均值分别为9.5, 8.99, 8.72。其与ESP的相关方程分别为:

$$1:1 \text{ 土水比 } \quad y = -222.76 + 27.83x \quad r = 0.5015$$

$$1:2.5 \text{ 土水比 } \quad y = -273.99 + 32.71x \quad r = 0.6448$$

$$1:5 \text{ 土水比 } \quad y = -310.33 + 35.87x \quad r = 0.7010$$

由此可以推测,北疆碱化土壤的pH主要受钠碱化度的影响。

(三) 碱化度高

北疆碱化土壤一般发育于洪积冲积扇和古老冲积平原的平坦较低处,因此,风化产物经水的分选作用,土质相对较细些,一般为轻壤至砂壤,甚至更细些为中—重壤质,如龟裂性土或碱化龟裂土。受质地影响,土壤盐基代换量一般在6—10毫克当量/100克土,高者达23毫克当量/100克土,土壤胶体的代换性钠的绝对值一般也较高。从表4中可见,碱化层代换性钠为3—7

毫克当量/100克土，碱化度可高达80%左右，最高者达90%以上，由于这么高的碱化度，加之干缩、湿胀作用，因此，碱化层出现发育得相当典型的柱状、棱柱状结构。

(四)水分物理性质

碱化土壤由于胶体上吸附了大量交换性钠，土壤高度分散，土壤水分物理性质很差。在野外进行水分渗透试验时，经过一小时才渗入2—4厘米水深。室内测定结果(表5)清楚地看出，土壤水力传导度*与土壤碱化度有明显的关系，总的趋势是随着碱化度的增高，其水力传导度亦高，即渗漏速度降低。例如在非碱化的碱地土壤，K值为2.40，碱化度达70.06%的土壤，K值为18.89，即前者的7倍多。

从土壤吸水试验结果可见，吸水速度和吸水量与碱化度之间一般是正常土大于碱化土，在同是碱化土中，碱化度小的大于碱化度大的(图2)。

值得指出，碱化土壤的水分物理性质，无论水力传导度或者吸水速度，颇受质地和温度的影响。因此，在碱化土壤的物理性质研究中，要重视质地等有关因素的影响。

表4 北疆碱化土壤的代换性能

剖面号	深度 (厘米)	交换量 (毫克当量/ 100克土)	交换性钠 (毫克当量/ 100克土)	ESP (%)
北7	0—1	6.39	1.05	16.43
	—10	9.14	6.51	71.23
	—24	10.53	1.48	14.06
	—36	6.41	0.34	5.30
	—47	5.71	3.76	65.85
北20	0—2.2	5.29	0.48	9.07
	—19	6.78	5.81	85.69
	—28	7.81	7.60	97.43
	—41	4.40	0.07	1.59
	—51	4.86	0	0
北24	0—8	6.96	1.58	31.86
	—17	4.91	3.44	70.06
	—28	8.84	7.53	85.18
	—45	9.72	1.64	16.67
	—56	9.86	0.01	0.10
	56以下	8.04	0.02	0.25

表5 碱化度与水力传导度关系

ESP (%)	0—15	16—30	大于30
样品数	13	3	9
K*	3.09	6.26	13.49

K* 为水力传导度的平均值

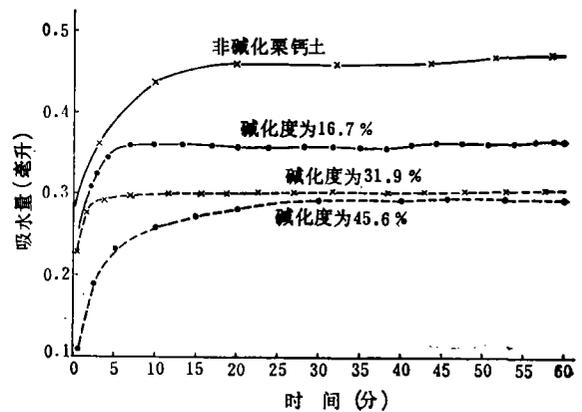


图2 碱化度与吸水量关系

参考文献

- [1] 文振旺：新疆土壤地理，第37页，科学出版社，1965。
- [2] 中国科学院生物土壤沙漠研究所：新疆土壤与改良利用，第142页，新疆人民出版社，1980。
- [3] 许志坤：新疆盐碱土的改良，3—45，新疆人民出版社，1980。
- [4] 蔡阿兴等：南疆地区的碱化土壤。土壤，13(6)：204，1981。
- [5] 中国科学院新疆综合考察队等：新疆地貌，60—188，科学出版社，1978。
- [6] 刘东生等著：中国黄土堆积，第142页，科学出版社，1965。
- [7] 中国科学院新疆综合考察队、中国科学院地理研究所：新疆水文地理，第173页，科学出版社，1966。
- [8] 中国科学院新疆综合考察队、中国科学院地质研究所、中国科学院新疆分院：新疆地下水，第41页，科学出版社，1965。

*水力传导度：5克土样用0.5N CaCl₂处理使其为Ca饱和，在300毫米水柱压力下测定Ca⁺⁺饱和土与原始土的渗透速度，其渗透速度之比即水力传导度，或称碱化度系数。