

# 盐化和有机质对土壤结构稳定性 及阿特伯格极限的影响\*

李小刚 崔志军 王玲英 胡恒觉

(甘肃农业大学资源环境系, 兰州 730070) (甘肃农业大学农学系, 兰州 730070)

**摘 要** 对甘肃景电灌区盐化和有机质对土壤团聚体的稳定性、黏粒的分散性及阿特伯格极限进行了调查研究。研究表明该灌区盐化土壤中水溶性盐以钠盐为主, 土壤具有钠质现象。随含盐量和交换性钠离子百分率(*ESP*)的增加土壤团聚体的稳定性显著降低, 黏粒的分散性显著增加, 阿特伯格极限具有降低的趋势, 明确地说明盐化和伴随着的钠质化是土壤结构性能退化的主要原因。随有机质含量的增加, 土壤团聚体的稳定性显著增加, 黏粒的分散性显著降低, 阿特伯格极限显著增加, 说明增加有机质含量可以显著改善盐化土壤的结构性能。可以根据如下公式利用有机质含量(*OM*)和 *ESP* 预测团聚体的稳定性:  $WSAR = 19.4 + 0.98 OM - 1.43 ESP (R^2 = 0.574 1, n = 67)$ 。团聚体稳定性、黏粒分散性、流限和塑限互相之间显著相关, 说明流限和塑限可以作为反映盐化土壤结构状况的指标。

**关键词** 团聚体稳定性, 黏粒分散性, 阿特伯格极限, 盐度和钠质度, 有机质含量

**中图分类号** S152.4

甘肃景电灌区是一个新开发的灌区, 在发展灌溉农业的过程中发生了严重的土壤盐化问题。我们在该灌区次生盐化防治过程中发现土壤结构的退化问题也很严重, 具体表现是土壤容重增大、僵硬、渗透性能差, 排灌和耕作困难, 排灌渠道滑塌等。先前作者曾对景电灌区的土壤团聚体特征进行了初步研究<sup>[1]</sup>, 本文在此基础上进一步对盐化和有机质对土壤团聚体稳定性和阿特伯格极限的影响进行深入研究, 以为土壤次生盐渍化的防治提供借鉴。

## 1 材料和方法

### 1.1 土壤样品

在灌区挖掘典型剖面 8 个, 采集亚表层(5~15 cm)土样 41 个, 总计样本容量为 68 个。土壤类型均为灰钙土。

### 1.2 测定方法

1.2.1 化学性质和颗粒组成 有机质含量: 重铬酸钾容量法, 测定时添加硫酸银以减少氯离子的干扰。全盐含量、钠吸附比(*SAR*)和水溶性钠百分比(*SSP*): 全盐含量为 8 个阴阳离子重量之和(仅 5 个土

\* 甘肃省科委科技攻关项目(批准号: GK971-2-28A)的部分内容

收稿日期: 2000-10-10; 收到修改稿日期: 2001-03-14

样含有微量的碳酸根离子),提取水土比例为 5:1。用该提取液中的阳离子浓度分别计算 SAR 和 SSP。交换性钠离子百分率(ESP):为交换性钠离子的含量占交换性钙、镁、钾和钠 4 种离子含量( $\text{cmol}(+) \text{kg}^{-1}$ )之和的百分比。其中交换性钙镁的测定用 pH8.5 的  $0.5 \text{ mol L}^{-1}$  醋酸钠 60% 乙醇法<sup>[2]</sup>;交换性钾钠的测定用氢氧化铵-醋酸铵火焰光度计法。pH 值的测定水土比例为 1:1。颗粒组成的测定:比重计法。

1.2.2 团聚体稳定性 首先将原状风干土样用橡皮塞轻压使全部通过 5 mm 筛,然后再用 1 mm 筛进行筛分,将筛上的团聚体即 1~5 mm 粒级干团聚体收集备用。称取该粒级团聚体 20 g,用 0.25 mm 筛按照湿筛法<sup>[3]</sup>进行操作,将筛上的团聚体即 >0.25 mm 水稳性团聚体收集烘干称重。然后将该水稳性干团聚体在蒸发皿中加水润湿,用手指研磨使其分散,再用 0.25 mm 筛将其中的 >0.25 mm 的砂粒筛分出并烘干称重。用此 >0.25 mm 的砂粒重量对 >0.25 mm 水稳性团聚体的重量进行校正。最后计算校正后的 >0.25 mm 水稳性团聚体的重量占 20 g 1~5 mm 粒级干团聚体重量的百分数,用此百分数即 1~5 mm 粒级团聚体的稳定率表示团聚体的稳定性(水稳性)。重复 3 次。

1.2.3 黏粒的分散性 分散性黏粒含量的测定用比浊法<sup>[4]</sup>进行。选择性质差异大的 3 个土样制作标准曲线,经过  $t$  检验证明所得出的 3 条曲线确为同一曲线( $r = 0.996 0, n = 15$ ),说明不同土样可以使用同一工作曲线进行比浊。准确称取 1 mm 风干土样 1 g,置于 250 ml 三角瓶中,加入 50 ml 蒸馏水静置过夜,在往复式振荡机上以  $200 \text{ r min}^{-1}$  的速度振荡 30 min。然后再加入蒸馏水 200 ml,塞住瓶口上下翻转 2~3 次后静置至规定时间(根据 Stock 定律确定),用抽吸装置在液面下 2.5 cm 处吸取悬液 20 ml 在 420 nm 波长下比浊测定土样中分散性 <0.002 mm 黏粒的含量。最后计算分散性 <0.002 mm 颗粒的含量占土样中 <0.002 mm 黏粒含量的百分数,用此百分数即黏粒的分散率表示黏粒的分散性。重复 3 次。

1.2.4 阿特伯格极限 阿特伯格极限的测定用 1 mm 风干土样按照文献[3]进行。流限仪锥体的顶角为  $30^\circ$ 。重复 3 次。

## 2 研究结果

### 2.1 土壤基本性质

供试土样的盐化特征及其他化学性质列于表 1。碳酸根离子仅个别土样含有,含量

表 1 供试土壤的化学性质<sup>1)</sup>

Table 1 Some properties of soils studied

土样 Soil number	深度 Depth (cm)	全盐含 量 Total salt ( $\text{g kg}^{-1}$ )	水溶性盐分离子组成 Water-Soluble salt composition ( $\text{cmol}(\pm) \text{kg}^{-1}$ )							SSP (+) (%)	SAR	ESP (+) (%)	pH	有机质 含量 Organic matter ( $\text{g kg}^{-1}$ )
			$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$					
P1														
30	0~18	10.77	0.51	13.10	2.42	11.14	1.10	0.11	9.79	44.2	5.60	7.7	8.25	12.7
31	18~42	7.29	0.57	3.36	5.98	7.42	1.78	0.08	5.02	35.1	3.31	9.0	8.26	12.0
32	42~96	6.08	0.60	3.74	3.10	6.92	1.74	0.06	5.61	39.1	3.82	5.8	8.19	8.0
33	96~135	3.84	0.57	2.39	2.48	1.56	0.84	0.08	4.40	64.0	5.71	12.6	8.18	11.2
34	135~150	2.29	0.54	1.75	1.26	2.28	0.78	0.07	3.78	54.7	4.34	7.9	8.09	7.8
P2														
35	0~25	6.72	0.53	8.03	2.88	1.84	0.14	0.15	7.50	77.9	10.66	13.5	8.32	8.1
36	25~52	4.81	0.67	3.46	2.78	2.04	0.74	0.07	5.73	66.8	6.90	11.9	8.28	6.2
37	52~90	9.42	0.41	6.66	6.94	6.98	1.94	0.13	7.86	46.5	5.28	11.5	8.34	4.5
P3														
39	0~25	3.64	0.60	4.29	0.30	1.06	0.94	0.13	5.46	71.9	7.74	11.2	8.26	9.8

续表

土样 Soil number	深度 Depth (cm)	全盐含 量 Total salt (g kg <sup>-1</sup> )	水溶性盐分离子组成 Water-Soluble Salt composition (cmol(±) kg <sup>-1</sup> )							SSP (%)	SAR	ESP (%)	pH	有机质 含量 Organic matter (g kg <sup>-1</sup> )
			HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>					
40	25~68	3.31	0.64	2.15	2.14	1.10	0.46	0.06	3.60	69.0	5.76	7.0	8.30	6.0
41	68~100	6.56	0.44	0.54	0.38	5.24	1.10	0.08	2.78	30.2	2.21	4.3	7.94	3.9
P4														
43	0~23	5.55	0.81	4.88	3.04	1.60	0.46	0.10	6.32	74.5	8.78	12.0	8.36	11.7
44	23~46	4.19	0.21	5.14	2.40	0.96	0.58	0.11	4.77	74.3	7.76	10.9	8.42	9.7
45	46~166	7.53	0.82	5.52	3.36	6.36	1.88	0.09	8.37	50.4	5.83	11.6	8.28	11.1
P5														
46	0~22	4.48	0.34	3.64	3.70	1.16	0.72	0.20	5.79	74.5	8.45	13.0	8.38	5.2
47	22~70	4.22	0.54	3.40	2.44	0.70	0.70	0.04	5.53	79.3	9.37	14.1	8.60	3.7
48	70~97	5.07	0.40	3.47	2.04	5.46	0.50	0.06	6.26	51.0	5.13	9.8	8.42	2.2
49	97~137	7.58	0.38	11.23	1.26	2.04	1.62	0.07	9.29	71.4	9.73	9.7	8.40	3.3
P6														
50	0~20	2.70	0.65	1.46	1.84	0.82	0.58	0.06	2.82	65.9	4.78	11.6	8.34	10.3
51	20~40	2.42	1.08	1.63	0.76	0.80	0.28	0.04	4.09	78.5	7.87	12.8	8.48	7.3
52	40~135	4.15	0.46	1.68	2.68	5.08	0.86	0.04	3.74	38.5	3.07	7.0	8.06	4.9
53	135~147	5.32	1.46	4.42	1.26	4.84	1.08	0.06	4.96	45.3	4.08	7.4	8.01	3.5
P7														
54	0~17	1.39	0.15	0.44	1.02	1.32	0.42	0.14	1.23	39.5	1.86	3.3	8.26	25.2
55	17~27	1.48	0.90	0.61	0.40	0.72	0.32	0.09	1.30	53.5	2.55	3.7	8.40	15.0
56	27~100	1.83	0.71	0.91	0.88	0.52	0.50	0.02	2.11	67.0	4.18	6.4	8.46	9.3
P8														
57	0~21	1.41	0.98	0.37	0.26	0.64	0.48	0.09	1.46	54.7	2.75	3.4	8.44	10.6
59	40~100	1.16	0.83	0.35	0.30	0.50	0.94	0.03	0.72	32.9	1.19	6.6	8.66	5.5
亚表层														
101~141	5~15													
平均值		2.27	0.72	1.99	0.78	0.69	0.49	0.07	0.85	40.4	2.12	5.5	8.32	15.9
最大值		17.39	1.64	16.60	3.29	4.06	2.25	0.24	2.96	60.6	9.59	11.4	8.68	40.1
最小值		0.57	0.34	0.09	0.01	0.20	0.01	0.01	0.20	26.3	0.54	2.4	7.82	7.2

1) P为剖面

很低。根据表层阴离子组成和含盐量,按照有关标准<sup>(1)</sup>划分,剖面1(P1)为氯化物盐土;剖面2(P2)为硫酸盐氯化物强盐化土;剖面3(P3)为氯化物中盐化土;剖面4(P4)和剖面5(P5)分别为氯化物硫酸盐中盐化土和轻盐化土;剖面7(P7)和剖面8(P8)分别为氯化物苏打轻盐化土和硫酸盐苏打轻盐化土;剖面6(P6)为硫酸盐型,但属于非盐化土。在41个亚表层土样中氯化物盐土3个,氯化物盐化土样2个,硫酸盐盐化土样2个,其余均为非盐化土,但都含有相当量的盐分。

所有供试土样有一个共同特征,即4种水溶性阳离子中均以钠离子占绝对优势,钠离子与含盐量显著正相关( $r=0.6471$ ,  $n=68$ ),含盐量越高,水溶性钠离子含量越高。与此同时交换性钠离子百分率(ESP)高,在全部样本容量范围内ESP与含盐量显著正相关

(1) 1984年全国土地资源办公室制定的《关于土壤普查地区汇总土壤基层分类和制备技术要求》

( $r = 0.565\ 8, n = 68$ )。在剖面 P1、P2、P3、P5、P6 和 P8 内 ESP 与含盐量呈负相关( $r = -0.284\ 7 \sim -1.00\ 0$ ),在剖面 P4 和 P7 内 ESP 与含盐量呈正相关( $r = 0.542\ 2 \sim 0.997\ 1$ )。在 41 个亚表层样本容量范围内 ESP 与含盐量呈正相关( $r = 0.526\ 7$ )。所以本地区土壤的基本特征之一是水溶性盐以钠盐为主,具有钠质现象<sup>[5]</sup>,次生盐化与钠质化同时发生。

回归分析表明,根据交换性离子组成计算的交换性钠比值(ESR,胶体上交换性钠离子与交换性钙镁离子之和的比值)和 ESP 分别与 SAR 具有如下回归关系:

$$ESR = 0.012\ 2SAR + 0.035\ 5 \quad (R^2 = 0.742\ 2, n = 68)$$

$$ESP(\%) = 1.010\ 9\ SAR + 3.450\ 8 \quad (R^2 = 0.733\ 8, n = 68)$$

交换性离子组成与 5:1 水土比提取液中的离子组成之间的如此之高的相关性是非常有价值的结果,因为对石灰性且含有少量石膏的土壤来说 ESP 的测定非常麻烦,而在 5:1 的水土比提取液中测定阳离子浓度则较为方便。这一结果说明 5:1 水土比提取液中的 SAR 也可以很好地反映交换性离子组成,事实上在许多文献[6~9]中也正是用 SAR 来表示土壤钠质度(Sodicity)的。

供试土样碳酸钙含量相当高,其含量变化在 72.6~137.4 g kg<sup>-1</sup>之间。土壤 pH 值除 3 个土样外均小于 8.5。在 30、31、32、37、41、45、48、49、51 和 52 号 10 个土样中含有少量石膏(CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O),其含量变化在 5.2~14.3 g kg<sup>-1</sup>之间,反映了向荒漠过渡的一些土壤特征。8 个剖面的表层有机质含量为 5.2~25.2 g kg<sup>-1</sup>,41 个亚表层土样有机质含量为 7.2~40.1 g kg<sup>-1</sup>。

供试土样的物理性黏粒和黏粒(<0.002 mm)含量见表 2。

表 2 供试土壤的团聚体稳定率、黏粒的分散率和阿特伯格极限

Table 2 Stable aggregate rate, clay dispersion rate and Atterberg limits of soils studied

土样 Soil number	<0.01 mm 颗粒 Particle <0.01 mm (%)	<0.002 mm 黏粒 Clay <0.002 mm (%)	团聚体稳定率 Stable aggregate rate (%)	黏粒分散率 Clay dispersion rate (%)	流限 Liquid limit (%)	塑限 Plastic limit (%)	塑性指数 Plastic index (%)
P1							
30	45.0	10.7	4.4	45.8	27.1	18.4	8.8
31	45.0	11.3	18.4	42.5	28.0	19.7	8.3
32	22.7	8.6	14.6	36.0	31.1	21.2	9.9
33	42.7	12.0	15.4	34.2	29.6	19.7	9.9
34	35.0	12.2	8.7	56.6	25.9	18.6	7.4
P2							
35	41.5	12.4	5.1	59.7	23.1	14.7	8.4
36	42.6	13.2	13.0	38.6	22.4	16.9	5.5
37	50.0	21.1	17.0	27.5	23.7	16.7	7.0
P3							
39	37.0	12.1	15.6	47.9	29.6	19.9	9.7
40	39.7	11.6	22.8	34.5	23.4	16.7	6.6
41	21.5	7.5	15.1	33.3	16.8	11.3	5.5
P4							
43	41.7	14.2	12.5	47.9	26.8	18.9	7.9
44	56.4	15.2	13.8	42.8	28.6	19.7	8.9
45	65.2	17.1	19.0	31.0	29.3	19.7	9.6

续表

土样 Soil number	<0.01 mm 颗粒 Particle <0.01 mm (%)	<0.002 mm 黏粒 Clay <0.002 mm (%)	团聚体稳定率 Stable aggregate rate (%)	黏粒分散率 Clay dispersion rate (%)	流限 Liquid limit (%)	塑限 Plastic limit (%)	塑性指数 Plastic index (%)
P5							
46	35.8	11.2	13.2	54.5	22.2	15.1	7.0
47	29.0	9.3	11.3	43.0	21.8	12.8	9.0
48	21.8	13.4	7.5	46.3	20.2	13.6	6.7
49	34.7	16.9	4.0	34.3	20.7	14.5	6.2
P6							
50	20.0	10.1	11.8	40.6	26.2	18.6	7.7
51	33.5	11.2	11.8	25.9	24.8	18.1	6.7
52	35.0	9.3	12.1	24.7	21.2	14.2	7.0
53	23.8	7.2	7.1	25.0	19.7	14.3	5.4
P7							
54	39.7	15.3	53.1	20.9	31.9	22.3	9.6
55	34.5	16.1	44.4	27.3	29.7	22.2	7.5
56	42.5	14.5	30.1	26.9	29.8	20.2	9.6
P8							
57	37.5	12.9	31.9	31.0	27.2	18.7	8.5
59	36.5	11.3	19.2	31.9	23.6	14.7	8.9
亚表层 101 ~ 120							
平均值	37.7	12.4	25.2	33.1	27.5	19.4	8.1
最大值	55.0	19.1	47.7	45.9	32.9	23.4	11.0
最小值	20.3	7.5	7.1	19.6	20.5	14.3	6.2

## 2.2 团聚体稳定性

供试土壤团聚体稳定率的测定结果(表 2)表明,团聚体的稳定性受到土壤含盐量的影响。

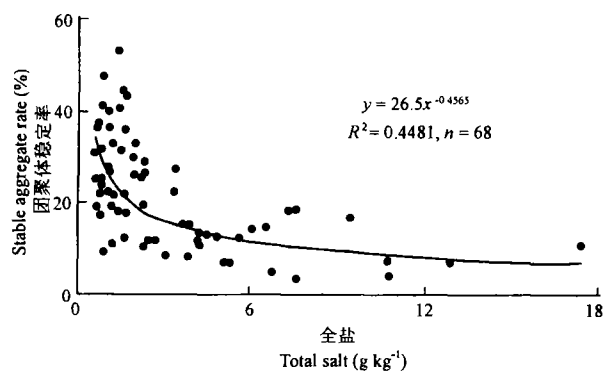


图 1 团聚体稳定性与全盐含量的关系

Fig. 1 Relationship between aggregate stability and total salt

含盐量越高团聚体的稳定性越低,但是如果按照阴离子组成来分类,则不具有规律性。剖面 P1、P2、P3、P4、P5 和 P6 含盐量高,其团聚体稳定率最高为 23.8%,最低为 4.4%,平均为 11.9%;而含盐量较低的剖面 P7 和 P8 团聚体稳定率最高为 53.1%,最低为 19.2%,平均为 35.7%。图 1 为团聚体稳定率与土壤含盐量之间的关系。

土壤团聚体稳定性随含盐量的增加而降低实质是反映了交换性离子组成对团聚体稳定性的影响。前已述及,水溶性离子中钠离子占绝对优势,随盐化过程的进

行,土壤胶体上吸附性钠离子含量也逐渐增加,而钠离子的增加则必然导致土壤团聚体的分散。表 3 以 ESP5% 将亚表层土样分为两组,来说明 ESP 和含盐量对团聚体稳定性的影响。由表可见 ESP < 5% 的 18 个亚表层土样的 ESP 平均为 3.6%, 含盐量为  $1.34 \text{ g kg}^{-1}$ , 其团聚体稳定率平均为 29.6%。ESP > 5% 的 23 个亚表层土样的 ESP 平均为 7.1%, 含盐量平均为  $2.99 \text{ g kg}^{-1}$ , 其团聚体稳定率平均为 21.8%, 明显低于前者。直线相关分析(表 4)进一步表明,团聚体稳定率与含盐量、ESP 和 SAR 均为显著负相关。图 2 为团聚体稳定率与 ESP 之间的关系。

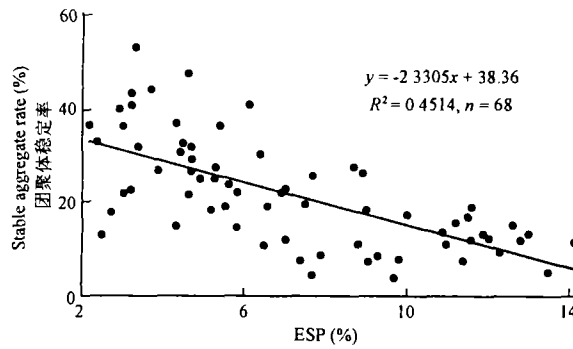


图 2 团聚体稳定性与 ESP 之间的关系

Fig. 2 Relationship between aggregate stability and ESP

表 3 亚表层 ESP 和含盐量对团聚体稳定性的影响<sup>1)</sup>

Table 3 Effects of ESP and total salt on aggregate stability of sub-soils

组别 Type	ESP (%)	全盐 Total salt ( $\text{g kg}^{-1}$ )	有机质 Organic matter ( $\text{g kg}^{-1}$ )	团聚体稳定率 Stable aggregate rate (%)	n
ESP < 5%	3.6	1.34	15.7	29.6	18
ESP > 5%	7.1	2.99	16.1	21.8	23

1) 平均值

表 4 团聚体稳定性、黏粒分散性和阿特伯格极限与其他土壤性质的直线相关性( $r$ )<sup>1)</sup>Table 4 The linear correlation of aggregate stability, clay dispersion and Atterberg limits to the other properties of soils studied( $r$ )

项目 Item	样本号 Sample number	样本数 Numbers of sample	有机质含量 Organic matter	全盐含量 Total salt	SAR	ESP	< 0.002 mm 黏粒 Clay < 0.002 mm
团聚体稳定率	30 ~ 59	27	0.705 3**	-0.542 7**	-0.5467 *	-0.607 4**	0.327 8
	101 ~ 141	41	0.432 4**	-0.462 7**	-0.442 6**	-0.615 4**	0.255 7
	30 ~ 141	68	0.600 3**	-0.552 0**	-0.580 6**	-0.671 5**	0.263 5*
黏粒分散率	30 ~ 59	27	-0.171 0	0.229 3	0.552 9**	0.499 9**	-0.140 4
	101 ~ 141	41	-0.360 0*	0.199 7	0.403 6**	0.213 8	-0.190 6
	30 ~ 141	68	-0.351 6**	0.263 7*	0.497 9**	0.406 2**	-0.163 2
流限	30 ~ 59	27	0.790 7**	-0.238 4	-0.166 2	-0.155 5	0.320 3
	101 ~ 141	41	0.692 6**	-0.191 5	-0.070 3	-0.068 1	0.490 9**
	30 ~ 141	68	0.719 5**	-0.288 6*	-0.282 1*	-0.262 3*	0.376 0**
塑限	30 ~ 59	27	0.796 8**	-0.249 6	-0.202 7	-0.210 3	0.363 2
	101 ~ 141	41	0.767 1**	-0.241 6	-0.090 2	-0.012 5	0.414 0**
	59 ~ 141	68	0.773 0**	-0.334 0**	-0.349 3**	-0.298 8**	0.351 2**
塑性指数	30 ~ 59	27	0.555 3**	-0.140 3	-0.0471	0.004 0	0.136 8
	101 ~ 141	41	0.297 3	-0.020 2	0.044 2	-0.133 2	0.453 3**
	30 ~ 141	68	0.360 5**	-0.084 0	-0.041 0	-0.087 7	0.301 9*

1) \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$

含盐量和 *ESP* 与团聚体稳定性的关系充分说明了盐化以及伴随着的钠质化是灌区土壤团聚体稳定性降低、结构性能恶化的主要原因。

Rahman Barzegar 等<sup>[6]</sup>认为在钠质土壤中有有机质至少具有与在非盐化土壤中相同的团聚作用,甚至在没有脱钠之前施用有机物料就可以促进钠质化土壤的团聚。本研究结果表明,有机质对土壤团聚体稳定性的影响显著,随有机质含量的增加团聚体稳定性显著增加。团聚体稳定性与有机质含量的关系如图3所示。直线相关分析表明(表4),在三个样本容量范围内团聚体稳定率与有机质含量的相关性全部达到极显著水平。

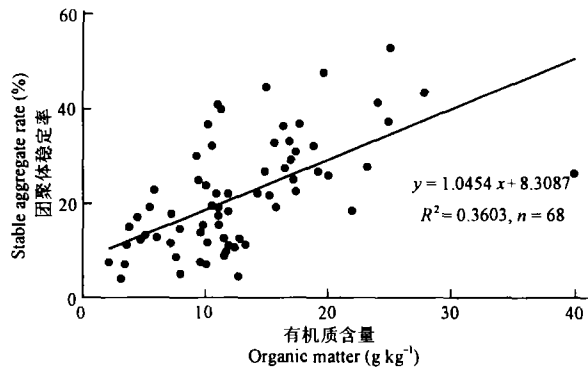


图3 团聚体稳定性与有机质含量的关系

Fig.3 Relationship between aggregate stability and organic matter content

根据团聚体稳定性与有机质含量和 *ESP* 之间的关系可以建立如下的回归方程(剔除 130 号土样):

$$WSAR = 19.4 + 0.98 OM - 1.43 ESP \quad (R^2 = 0.5741, n = 67)$$

式中 *WSAR* 为团聚体(水)稳定率(%), *OM* 为有机质含量( $\text{g kg}^{-1}$ ), *ESP* 为交换性钠离子百分率(%).

上式不但说明了有机质和 *ESP* 对团聚体稳定性的显著影响,而且也说明了可以通过有机质和 *ESP* 来预测盐化土壤团聚体的稳定性。

团聚体稳定率与黏粒含量呈正相关,其中在全部样本容量范围内达显著水平,说明黏粒也是促进土壤团聚、增加土壤结构稳定性的重要胶结物质。

## 2.2 黏粒的分散性

黏粒的分散性受许多因素诸如有机质、交换性离子组成、pH、电解质浓度、黏粒矿物类型、黏粒含量、耕作和土壤扰动等<sup>[6-13]</sup>影响。本研究中含盐量最高的剖面 P1、P2、P3、P4、P5 和 P6 黏粒的分散率为 24.7% ~ 59.7%, 平均为 39.7%, 而两个含盐量较低的剖面 P7 和 P8 的黏粒分散率为 20.9% ~ 31.9%, 平均为 27.6%。含盐量高的剖面的黏粒分散率明显高于含盐量低的剖面。相关分析(表4)表明,黏粒分散率与 *ESP* 和 *SAR*, 其中与 *ESP* 在两个样本容量范围内达到了极显著正相关,与 *SAR* 在三个样本容量范围内都达极显著正相关。与含盐量也呈正相关,但与其与 *ESP* 的相关性相比较要小得多。这说明随钠质化和盐化程度的增加,黏粒的分散性增加,结构的稳定性降低。黏粒分散率与有机质含量呈负相关,其中在 41 个亚表层土样和全部样本容量范围内达到显著或极显著水平。说明有机质可以降低黏粒的分散性,增加黏粒的团聚程度和结构的稳定性。本研究中黏粒的分散性与 *ESP* 和有机质的关系与 P. J. Loveland 等<sup>[10]</sup>对英国 North Kent 盐化土壤的研究结果是一致的。

与先前的研究结果<sup>[1]</sup>相比较,本研究中黏粒的分散性很大,这反映了土壤盐化程度、土样的扰动和研究方法等对黏粒分散性的影响。

### 2.3 阿特伯格极限

供试土壤的阿特伯格极限如表 2 所示。八个剖面土样的流限、塑限和塑性指数的变化范围分别为 16.8% ~ 31.9%、11.3% ~ 22.3% 和 5.4% ~ 9.9%，平均分别为 25.3%、17.5% 和 7.9%。41 个亚表层的三个塑性值的变化范围分别为 20.5% ~ 32.9%、14.3% ~ 23.4% 和 6.2% ~ 11.0%，平均值分别为 27.5%、19.4% 和 8.1%。

阿特伯格极限与有机质含量最相关(表 4), 随有机质含量的增加而增加, 图 4 为它们之间的关系。三个塑性值与土壤黏粒含量也呈正相关, 其中在 101 ~ 141 和 30 ~ 141 两个样本容量范围内达到显著或极显著相关水平, 但是远小于与有机质的相关性。阿特伯格极限值分别与全盐量、ESP 和 SAR 呈负相关, 随含盐量、ESP 和 SAR 的增加而降低。这表明随盐化和钠质化程度的增加阿特伯格极限值降低。

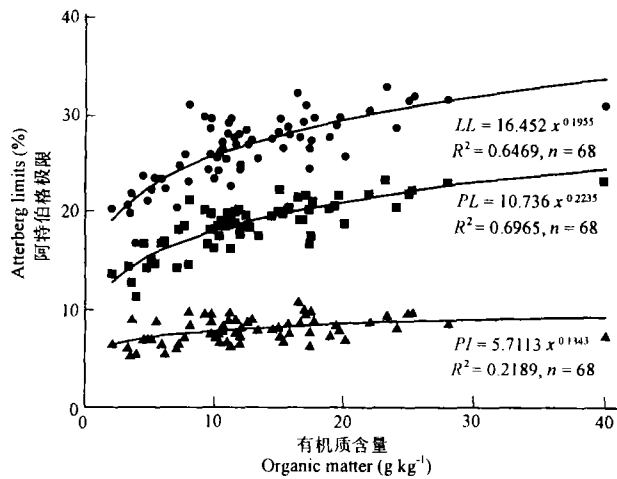


图 4 阿特伯格极限与有机质含量之间的关系

Fig.4 Relationship between Atterberg limits and organic matter content

## 3 讨 论

钠质土壤中黏粒的分散导致团聚体的分散和微孔隙崩塌, 限制水分和气体的运动, 引起与结构的不稳定性相联系的许多土壤管理问题, 如干燥时土壤强度增大、渗透能力降低、排水不畅、侵蚀和滑塌、作物播种和生长困难等<sup>[14,15]</sup>。一般认为当  $> 15\%$  时, ESP 才影响土壤的结构和水力性质, 但是近年来 Giuseppina Crescimanno 等<sup>[9]</sup>的研究表明这一阈值是不存在的, 土壤的结构性质和水力性质与 ESP 之间几乎是一种直线关系, 低阳离子浓度下钠质化造成的土壤质量退化甚至在 ESP 2% ~ 5% 的范围内就可以预测。本研究结果明确地表明, 石灰性土壤的盐化和伴随着的钠质化对结构稳定性的影响是严重的。

盐化土壤的阿特伯格极限的研究很少见有报道。本研究表明阿特伯格极限随盐化和钠质化程度的增加而降低, 在同样含水量情况下, 当正常土壤还不具有可塑性和流变性时, 盐化土壤则可能就具有了可塑性和流变性。这从一个方面可以解释盐化土壤随盐化和钠质化程度的增加排灌渠道的滑塌、变形和土壤移动能力增加, 结构性、渗透性和耕性恶化的原因。阿特伯格极限随有机质含量的增加而增加, 说明增加有机质含量可以降低盐化土壤的滑塌、变形和移动能力, 改善盐化土壤的结构性和耕性。所以研究盐化土壤的阿特伯格极限, 与非盐化土壤相比较可能更具有意义。

Gieve<sup>[13]</sup>建议将塑限作为 Scotland 土壤结构稳定性的指标, 因为其可以反映不同利用集约度下土壤有机质状况。在本研究中流限、塑限和塑性指数与团聚体稳定率均呈极显



著直线正相关(表5)。黏粒的分散率也称之为土壤的分散系数,是反映土壤结构性的一个重要指标,也用来表示土壤的不稳定性(Instability)。在本研究中黏粒分散率与团聚体稳定率呈极显著负相关(表5),随黏粒分散率的增加团聚体稳定性降低;黏粒分散率与流限、塑限和塑性指数也呈负相关,其中与流限和塑限达到显著或极显著负相关。这说明阿特伯格极限可以作为反映盐化土壤结构性能的一个指标。

表5 团聚体稳定性、黏粒分散性和阿特伯格极限之间的相关性<sup>1)</sup>

Table 5 The correlation between aggregate stability, clay dispersion and Atterberg limits

项目 Item	黏粒分散率 Clay dispersion rate	流限 Liquid limit	塑限 Plastic limit	塑性指数 Plastic index
团聚体稳定率	-0.520 2**	0.563 3**	0.579 8**	0.330 5**
黏粒分散率		-0.298 9*	-0.333 1**	-0.122 8
流限			0.949 8**	0.758 2**
塑限				0.516 6**

1)  $n = 68$ , \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$

## 4 结 论

1. 土壤团聚体的稳定性随盐化和钠质化程度的增加而显著降低,黏粒分散率随盐化程度和钠质化程度的增加而显著增加,阿特伯格极限随盐化和钠质化程度的增加而降低。说明在石灰性土壤中钠盐含量和 ESP 的增加对土壤结构性质退化的影响是严重的。

2. 土壤团聚体的稳定性和阿特伯格极限随有机质含量的增加而显著增加,黏粒的分散性随有机质含量的增加而降低,说明有机质仍然是影响盐化土壤结构稳定性的重要因素,提高有机质含量是改善盐化土壤结构状况的一个重要途径。

3. 阿特伯格极限与团聚体稳定性和黏粒分散性的相关性说明,流限和塑限可以作为反映盐化土壤结构性能的指标。

致 谢 景泰县农业局的樊胜祖同志参加了野外工作,资源环境系刘淑英、王平同志参加了室内部分工作,表示感谢。

## 参 考 文 献

1. 李小刚. 甘肃景电灌区土壤团聚体特征研究. 土壤学报, 2000, 37(2): 263 ~ 270
2. 俞仁培, 杨道平, 石万普等. 土壤碱化及其防治. 北京: 农业出版社, 1984
3. 中国科学院南京土壤研究所土壤物理室编. 土壤物理性质测定法. 北京: 科学出版社, 1978
4. Pojasok T, Kay B D. Assessment of a combination of wet sieving and turbidimetry to characterize the structural stability of moist aggregates. Can. J. Soil Sci., 1990, 70: 33 ~ 42
5. 中国科学院南京土壤研究所土壤系统分类课题组, 中国土壤系统分类课题研究协作组著. 中国土壤系统分类(修订方案). 北京: 中国农业科技出版社, 1995
6. Rahman Barzegar A, Paul N Nelson, Malcolm Oades J, et al. Organic matter, sodicity, and clay type: influence on soil aggregation. Soil Sci. Soc. Am. J., 1997, 61: 1131 ~ 1137
7. Frenkel H, Goertzen J O, Rhoades J D. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. J., 1978, 42: 32 ~ 39
8. Gupta R K, Bhumbra D K, Abrol I P. Effects of sodicity, pH, organic matter, and calcium carbonate on the dispersion behav-

- ior of soils. *Soil Science*, 1984, 137(4):245 ~ 251
9. Giuseppina Crescimanno, Massimo Iovino, Giuseppe Provenzano. Influence of salinity and sodicity on soil structural and hydraulic characteristics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1995, 59:1701 ~ 1708
  10. Loveland P J, Hazelden J, Sturdy R G. Chemical properties of salt-affected soils in north Kent and their relationship to soil in stability. *J. Agric. Sci., Camb.*, 1987, 109:1 ~ 9
  11. Rasiah V. Equations to predict measures of structural stability at minimum strength. *Soil Science*, 1994, 158(3):170 ~ 173
  12. Rasiah V, Kay B D. Quantifying the changes in clay stabilization after the introduction of forages. *Soil Science*, 1994, 157(5):318 ~ 327
  13. Grieve I C. The magnitude and significance of soil structural stability declines under cereal cropping. *CATENA*, 1980, 7:79 ~ 85
  14. Rengasamy P, Greene R S B, Ford G W, *et al.* Identification of dispersive behavior and the management of red-brown earths. *Aust. J. Soil Res.*, 1984, 22:413 ~ 431
  15. Shainberg I, Levy G J. Physico-chemical effects of salts upon infiltration and water movement in soil. *In* Wagenet R J. ed. *Advances in Soil Science*. Boca Raton, FL: Lewis Publ., 1992. 37 ~ 93

## EFFECTS OF SALINIZATION AND ORGANIC MATTER ON SOIL STRUCTURAL STABILITY AND ATTERBERG LIMITS

Li Xiao-gang Cui Zhi-jun Wang Ling-ying

(Department of Environment and Resources, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070)

Hu Heng-jue

(Department of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070)

### Summary

Soil structural stability, as measured by water-stable aggregate rate (WSAR, the rate of > 0.25 mm water-stable aggregate's weight in 1 ~ 5 mm dry aggregate's weight) and clay dispersion rate, and Atterberg limits (ALS) were assessed with relation to salinity, sodicity and organic matter on salt-affected soil samples taken from Jingdian Irrigation Area, Gansu. The obtained results showed that soluble salts were dominated by sodium ion. As a result, soils were sodic. With increase in salinity and sodicity, aggregate stability decreased and clay dispersion increased significantly, meanwhile, there was a declining trend in ALS. This clearly implied that salinization as well as increase in sodicity was one of the factors which are responsible for soil structural degradation. With increase in organic matter (OM), aggregate stability and ALS increased and clay dispersion decreased markedly, which showed that addition in organic matter to salt-affected soils can improve structural characteristics. On the effects of OM and ESP on aggregate stability, WSAR could be predicted according to the following equation:

$$WASR = 19.4 + 0.98 OM - 1.43 ESP \quad (R^2 = 0.5741, n = 67)$$

Aggregate stability, clay dispersion, liquid limit and plastic limit significantly correlated. This illustrated that liquid limit and plastic limit could be used to characterize the structure of salt-affected soils.

**Key words** Aggregate stability, Clay dispersion, Atterberg limits, Organic matter, Salinity and sodicity