

基于盐(碱)生植被盖度的 土壤碱化分级*

张 芳^{1,3} 熊黑钢^{2,3†} 安放舟^{1,3} 夏倩柔^{1,3}

(1 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046)

(2 北京联合大学应用文理学院, 北京 100083)

(3 教育部新疆绿洲生态重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘 要 以土壤大面积碱化的新疆奇台绿洲为研究区,探讨了盐(碱)生植被盖度与土壤碱化指标 pH、碱化度(ESP)、钠吸附比(SAR)、残余碳酸钠(RSC)、总碱度(TA)的关系。研究表明:研究区土壤存在大量的可代换性钠,碱化强烈。植被盖度与各土壤碱化指标均呈极显著的负相关关系,其与 pH 的相关系数最高,达 0.810,其次为 ESP,植被盖度主要受土壤碱化程度的影响。以盐(碱)生植被盖度为主要依据并结合多种土壤碱化指标对研究区碱化土壤进行分级:植被盖度 50% 左右, $\text{pH} < 8.0$, $\text{ESP} < 3\%$, $\text{SAR} < 3$, 为非碱化土; 植被盖度 10%~40%, $\text{pH} 8.0 \sim 9.5$, $\text{ESP} 3\% \sim 35\%$, $\text{SAR} 3 \sim 40$, 为碱化土; 植被盖度 $< 10\%$, $\text{pH} > 9.5$, $\text{ESP} > 35\%$, $\text{SAR} > 40$, 为碱土。以植被盖度对碱化土壤的响应为依据建立的土壤碱化分级标准既拓宽了碱化土壤分级的研究视角,也符合研究区的实际情况。

关键词 盐(碱)生植被盖度;土壤碱化指标;土壤碱化分级

中图分类号 S153.4 **文献标识码** A

土壤盐碱化问题是干旱区环境改善和可持续发展的战略问题,因此,土壤盐碱化研究一直是干旱区绿洲可持续发展的热点领域。在气候、地形条件较为一致的情况下,土壤环境是影响植物生长分布的重要因素,植物物种组成及生长状况随着土壤环境的改变而发生变化^[1]。针对新疆盐碱化土壤对植物生长的胁迫作用,前人的研究多集中在不同程度盐化耕地对小麦、棉花生长发育的影响^[2-4]以及土壤盐分与盐生植物群落组成、结构、生理生化机制、分布特点的关系^[5-10]。碱化土壤的高 pH 会使许多微量元素形成难溶性化合物而被固定,导致微量元素缺乏,对植物生长发育造成危害^[11-13]。

新疆北疆地区土壤碱化造成板结,通透性差,使得植物难以生长,因此土壤碱化是该地区土地退化的主要原因之一^[14]。土壤碱化程度的分级对碱化土壤的改良利用意义重大,但是土壤碱化程度的划分是个很复杂的问题,不同的区域、气候、环境背景以及不同的观察角度使得碱化土壤的分级很难有一个完善的标准^[15]。20 世纪 80 年代以来,国内

外许多学者对此进行了深入研究,主要从土壤理化性质对碱化土进行了分级。但由于学者们各自研究的区域不同,因而得出的分级标准并不一致^[16-19]。基于前人研究中土壤碱化对植物生长存在明显胁迫性的共识,本文以分布有大面积碱化土壤的奇台绿洲为研究区,依据不同碱化程度土壤上的植物生长疏密状况,尝试建立基于盐(碱)生植被盖度的土壤碱化分级标准,以拓展土壤碱化分级的研究视角。

1 数据来源与方法

1.1 研究区概况

本文以奇台绿洲中部平原区为研究区域,范围为 $43^{\circ}56'56'' \sim 44^{\circ}13'24''\text{N}$, $89^{\circ}20'46'' \sim 90^{\circ}3'43''\text{E}$, 位于新疆维吾尔自治区东北部,天山山脉东段,博格达山北麓,准噶尔盆地东南缘。年平均气温为 5°C 左右,年均降水 176 mm,年均蒸发势 2 141 mm,属温带大陆性干旱半干旱气候。该区域无地表径

* 国家自然科学基金项目(41171165)、北京市属高等学校人才强教计划(PHR200906125)、新疆大学博士启动项目(BS110124)资助

† 通讯作者:熊黑钢(1956—),男,湖南湘乡人,教授,博士,主要从事干旱区研究。E-mail: xhg1956@sohu.com

作者简介:张 芳(1969—),女,山东嘉祥人,博士,讲师,主要研究方向为遥感应用及干旱区环境研究。E-mail: zhangf602@sohu.com

收稿日期:2011-08-22;收到修改稿日期:2012-04-09

流,由于长期超采,2005年地下水位平均埋深已达到19.12 m^[20]。研究区的地质地貌特征、气候、生物类型等在新疆天山北坡、准噶尔盆地南缘区域具有一定的代表性。

盐(碱)生植物指能够适应盐碱化土壤环境、具有耐盐碱生理机制的植物。研究区荒地中的植物均为盐(碱)生植物,主要有芨芨草(*Achnatherum splendens*(Trin.) Nevski)、苦豆子(*Sophora alopecuroides* L.)、樟味藜(*Camphorosma monspeliaca* L. subsp. *lessingii*(L.) Aellen.)、骆驼刺(*Alhagi sparsifolia* shap.)、骆驼蓬(*Peganum harmala* L.)、补血草(*Limonium gmelinii*(Willd) O. Kuntze.)、怪柳(*Tamarix ramosissima* Ledeb.)、盐爪爪(*Kalidium foliatum*(Pall.) Moq.)、盐节木(*Halocnemum strobilaceum*(Pall.) Bieb.)、猪毛菜(*Salsola brachiata* Pall.)等。

1.2 样本采集及处理

野外样本采集于2009年6月9日至23日进行,此时为研究区植物生长繁盛季节。参考2009年5月15日TM影像,采用GPS定位技术在研究区未开垦荒地布点60个,样点尽可能规则地遍及所有荒地类型。样点选择时保持采样点周围土壤性质、成因相对一致,环境因子类似,异质性较小。研究区荒地植被以草本、半灌木、灌木的盐(碱)生植物为主,根据植物类型,利用最小样方法确定样方大小为10 m × 10 m,在样方内测量植物种类、植株高度、冠幅、多度,并根据植物冠幅计算植被盖度。同时每样点用四分法采集土壤植物根系主要活动层(0~20 cm)土样,取部分土样封入铝盒,采用烘干法测定土壤水分。其余的土壤样本在实验室内自然晾干,磨碎,过1 mm筛,按水土比5:1配置土壤浸提液,供测试用。分析测试项目包括:pH、八大离子。pH使用数字式酸度计测定,K⁺、Na⁺采用原子吸收分光光度法测定,HCO₃⁻、CO₃²⁺采用双指示剂-中和滴定法测定,Cl⁻采用硝酸银滴定法测定,Ca²⁺、Mg²⁺、SO₄²⁻采用EDTA滴定法测定。

1.3 土壤碱化指标计算

衡量土壤碱化程度的定量指标主要有pH、钠吸附比(Sodium adsorption ratio, SAR)、碱化度(Exchangeable sodium percentage, ESP)、残余碳酸钠(Residual sodium carbonate, RSC)、总碱度(Total alkalinity, TA)等。传统的ESP通过实验室测定土壤阳离子代换量(Cation exchange capacity, CEC)和代换性钠(Na_x)后计算得到,对实验条件要求较高,测定方法繁琐冗长,十分不便并且容易产生误差。因此,国外一般采用其他较易测得的指标如SAR来计算ESP^[21]。本文碱化指标的计算方法如下(离子单位:mmol L⁻¹):

$$TA = CO_3^{2-} + HCO_3^{-} \quad [14]$$

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^{-}) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \quad [14]$$

$$SAR = Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+})^{1/2} \quad [22]$$

$$ESP = 100 \times (-0.0126 + 0.1475 \times SAR) / [1 + (-0.0126 + 0.01475 \times SAR)] \quad [22]$$

1.4 数据分析

采用数理统计方法对土壤各离子与pH之间的关系、土壤各碱化指标与植被盖度之间的关系进行分析,以讨论研究区土壤碱化指标的分级。计算过程采用SPSS15.0完成。

2 结果与分析

2.1 土壤碱化特征

HCO₃⁻的存在是土壤碱化的前提,其次是存在大量的可代换性Na⁺。经计算研究区Na⁺含量在阳离子总量中占据绝对优势,接近81%(表1);其次是Ca²⁺和Mg²⁺,分别为14%和3%。阴离子中的中性离子SO₄²⁻、Cl⁻占阴离子总量的90.5%。所有样点HCO₃⁻占阴离子比率均大于0.05%,约96.7%的样点该比率值大于1%,属于苏打碱化土,而苏打对植物的毒害很大,当该比率值达0.1%左右时,就有抑制作物生长的作用^[23]。CO₃²⁻主要出现在pH>9.0的样点上,在其他多数样点上为0~微量。

表1 土壤中阳离子与阴离子含量分布¹⁾

Table 1 Distribution of cations and anions in soil

土壤 Soil	阳离子含量分布 Cation distribution (%)				阴离子含量分布 Anion distribution (%)			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻
碱化土 Alkaline soil	14.0	3.1	2.1	80.8	2.6	6.9	30.7	59.8

1) n = 60

2.2 土壤理化性质相关性分析

将测定的各土壤盐、碱离子与各土壤碱化指标进行相关性分析(表2)。pH 与 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 高度正相关,其与 CO_3^{2-} 的相关系数绝对值与 HCO_3^- 相比略高一些。这可能是由于随着碱化程度的加剧,一部分 HCO_3^- 也会转换成 CO_3^{2-} ,因而使它们与 HCO_3^- 相关系数略有下降。由于 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 可以置换土壤胶

体上的代换性 Na^+ ,使得碱度降低^[14],所以 pH 与 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 分别呈极显著负相关和显著负相关。在本研究区,土壤中 Ca^{2+} 的含量远高于 Mg^{2+} ,因此 Ca^{2+} 对 pH 的影响作用更大(表2)。pH 与中性离子 Cl^- 无显著相关关系,但是与中性离子 SO_4^{2-} 呈极显著的负相关,这可能是由于植物根系对 SO_4^{2-} 的吸收作用引起的。

表2 土壤理化特性相关性分析

Table 2 Matrix of the correlation coefficients of soil physical and chemical properties

	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	CO_3^{2-}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	pH	TA ¹⁾	SAR ²⁾	RSC ³⁾	ESP ⁴⁾
Ca^{2+}	1												
Mg^{2+}	0.507 **	1											
K^+	0.256 *	-0.080	1										
Na^+	0.240	0.312 *	0.140	1									
CO_3^{2-}	-0.429 **	0.191	-0.076	0.183	1								
HCO_3^-	-0.443 **	-0.197	-0.094	0.162	0.883 **	1							
Cl^-	0.283 *	0.569 **	-0.164	0.663 **	0.018	0.102	1						
SO_4^{2-}	0.745 **	0.467 **	0.346 **	0.689 **	-0.390 **	-0.410 **	0.311 *	1					
pH	-0.635 **	-0.328 *	0.020	0.297 *	0.791 **	0.719 **	0.075	-0.332 **	1				
TA ¹⁾	-0.450 **	-0.200	-0.090	0.174	0.952 **	0.985 **	0.107	-0.414 **	0.766 **	1			
SAR ²⁾	-0.470 **	-0.228	-0.080	0.341 **	0.735 **	0.867 **	0.285 *	-0.314 *	0.753 **	0.842 **	1		
RSC ³⁾	-0.448 **	0.210	-0.100	0.164	0.941 **	0.987 **	0.119	-0.429 **	0.764 **	0.998 **	0.853 **	1	
ESP ⁴⁾	-0.543 **	-0.249	-0.056	0.470 **	0.696 **	0.747 **	0.320 *	-0.230	0.867 **	0.749 **	0.917 **	0.755 **	1

注: * 表示显著性水平为 0.05, ** 表示显著性水平为 0.01 Note: * indicates significance at 0.05 level, and ** level at 0.01 level. 1)TA: 总碱度 Total alkalinity; 2)SAR: 钠吸附比 Sodium adsorption ratio; 3)RSC: 残余碳酸钠 Residual sodium carbonate; 4)ESP: 碱化度 Exchangeable sodium percentage. 下同 The same below

残余碳酸钠 RSC 的存在说明水浸液中有游离的碱性盐 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 存在,使得土壤呈强碱性反应。虽然 RSC 和总碱度 TA 也与 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 的正相关程度非常高,相关系数分别达 0.941 和 0.987。但与 pH 情况不同的是,它们与 HCO_3^- 的相关系数绝对值与 CO_3^{2-} 相比略高一些。造成这种差异的原因可能是:一方面 HCO_3^- 的浓度要较 CO_3^{2-} 高得多(表1),另一方面, Ca^{2+} 的离子交换选择次序优先于 Na^+ , Ca^{2+} 与 CO_3^{2-} 结合形成 CaCO_3 沉淀,不易溶解,从而导致土壤中游离的 NaHCO_3 含量较高,因此,该指标与 HCO_3^- 的关系较为密切。RSC 与 TA 存在线性数学关系^[22],相关系数达 0.998,这两个指标对各离子及其他指标的作用也基本一致。

SAR 是从离子浓度方面考察钠危害的,SAR 越高,则钠危害越严重。ESP 反映了 Na^+ 的代换能力。SAR 和 ESP 与 Na^+ 呈极显著的正相关关系,同时也与 HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 呈极显著的正相关关系,与 Ca^{2+} 呈

极显著的负相关关系(表2)。

各土壤碱化指标间均呈极显著的正相关关系,并且相关系数均超过 0.75。ESP 与 SAR 的相关系数最高,为 0.917,其次为 pH、RSC 和 TA。

2.3 土壤碱化指标与植被盖度的关系

研究区未受人类影响的荒地上生长的植被均为盐(碱)生植物,每种盐(碱)生植物均具有其特殊的代谢过程和不同的环境适应特性。由于不同的盐(碱)生植物具有不同的耐盐、碱机制,其种类、株高、冠幅、多度等指标难以作为一个统一的标准来划分土壤碱化程度。经野外实地调查,在不同碱化程度土壤上,植被生长疏密状况差异明显,因此选择盐(碱)生植被盖度(Halophyte coverage)来探讨土壤碱化分级更具有意义。

对植被盖度与土壤碱化各指标的关系进行分析(表3)。各碱化指标与植被盖度均呈极显著负相关关系,其中植被盖度与 pH 相关系数最高,达

0.810,其次是 ESP 为 0.662,而 RSC、SAR、TA 三个指标与植被盖度的相关系数则十分接近。这表明在研究区地形、土壤、气候条件较为一致,且脱离地

下水影响多年、无地表径流的情况下,植被盖度主要受土壤碱化程度的影响。

表 3 土壤碱化指标与植被盖度的相关性

Table 3 Correlation between halophyte coverage and soil alkalization indices

指标 Indice	pH	SAR	RSC	ESP	TA
植被盖度 Halophyte coverage	-0.810 **	-0.572 **	-0.569 **	-0.662 **	-0.568 **

研究区的碱化土壤具有高 Na^+ 害特征, Na^+ 具有强渗透性和毒性,可以使植物根系生长受阻,破坏离子吸收平衡,妨害对其他营养元素的吸收^[24]。此外,土壤代换性钠遇水强烈水解,形成对植物生长毒性更强的 Na_2CO_3 、 NaHCO_3 和高 pH,而且土壤代换性钠的存在使胶体周围形成扩散双电层,其相互排斥力使胶体分散,土壤板结,通透性下降,造成种子难以萌发,幼苗枯萎死亡。

对样点植被盖度在 pH 区间上的分布做辅助线(图 1)。pH < 8.0 样点的植被盖度大多在 50% 以上;pH 8.0 ~ 8.5 的样点盖度基本位于 40% 以上;pH 8.5 ~ 9.5 的样点盖度则大多介于 20% ~ 40% 之间。pH > 9.5 的样点植被盖度除了位于 pH = 9.5 边界上的两个点盖度稍高外,超过 1/2 样点盖度位于 5% 之下。pH > 10 的样点基本为光板地。当 pH > 8.0 时,植被盖度呈明显降低趋势,而 pH > 9.5 时,植物生长受到明显的抑制作用。

土壤 pH 与植被盖度之间存在着线性的关系,根据图 1 建立二者的线性回归方程:

$$Y = -0.1596x + 1.72 \quad (1)$$

式中, Y 为盐(碱)生植被盖度, x 为土壤 pH。根据方程可以看出,随着 pH 的增加,植被盖度以近似于 0.16 倍的速率逐步下降。

表 4 不同区间段各碱化指标与植被盖度的对应关系

Table 4 Relationships between halophyte coverage and soil alkalization indices as affected by soil pH

区间 Intervals	样本数 Sample number	pH	SAR (mmol L^{-1}) ^{1/2}	RSC (mmol L^{-1})	TA (mmol L^{-1})	ESP (%)	植被盖度 Halophyte coverage (%)
pH < 8.0	4	7.69	4.319	0.043	0.711	4.518	51.25
pH = 8.0 ~ 8.5	14	8.24	5.311	0.018	0.801	5.996	39.29
pH = 8.5 ~ 9.0	21	8.72	13.93	0.179	0.935	15.76	33.19
pH = 9.0 ~ 9.5	10	9.16	33.72	0.590	1.419	30.92	24.00
pH > 9.5	11	10.19	71.40	10.46	10.96	45.04	12.09

注:表中数据为平均值 Note: The figures in the table are means

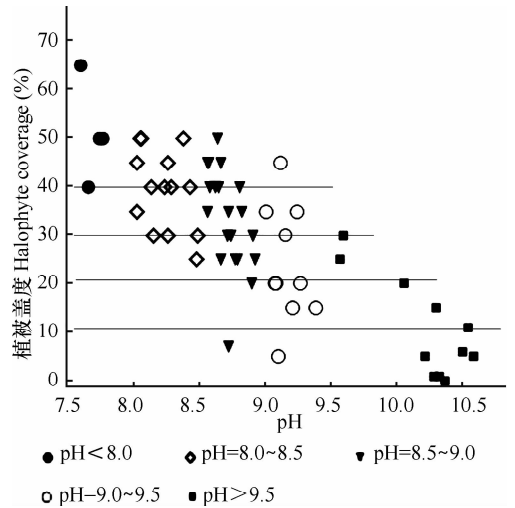


图 1 植被盖度与土壤 pH 的对应关系

Fig. 1 Relationships between halophyte coverage and soil pH

采集的 60 个样本中,除了 4 个样本的 pH < 8.0,其余样本的 pH 分布在 8.0 ~ 10.58 之间。按照 0.5 个 pH 单位对其进行区间划分(表 4),观察各个区间内碱化指标的对应关系:植被盖度均值在 pH < 8 时最大,为 51.25%,然后逐区间降低,在 pH > 9.5 时盖度均值下降至不足原来的 1/4。在 pH = 8.0 ~ 9.5 范围内,盖度的下降速度稍缓。

虽然 RSC、SAR、ESP 是从不同角度对钠危害程度的表述,但 SAR 和 ESP 的均值在各区间段差异明显,可以较好地地区分土壤的不同碱化程度。而 RSC 以及 TA 区分效果不佳。因此,

本文土壤碱化分级将采用前两者作为分级指标。

ESP、SAR 与 pH 具有较一致的区间对应关系(图 2)。

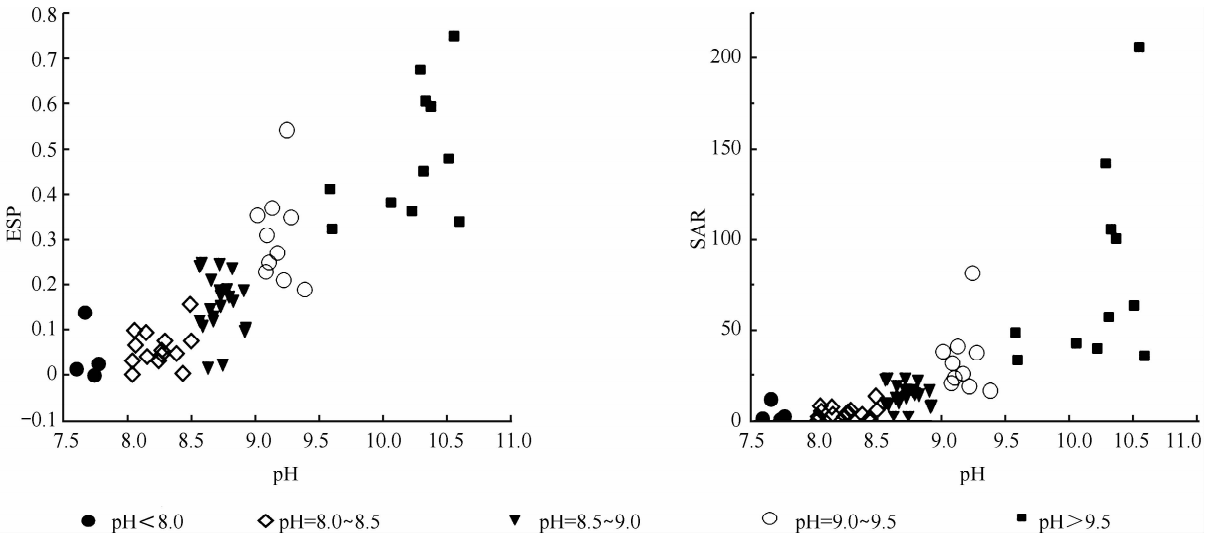


图 2 pH 与 ESP、SAR 的对应关系

Fig. 2 Relationships of pH with ESP and SAR

2.4 基于盐(碱)生植被盖度的土壤碱化分级

pH 和 ESP 不仅对植被盖度的影响最为显著,而且也是目前通常结合使用的土壤碱化分级指标。针对土壤碱化分级,中外学者进行了深入研究并建立了相应的分级标准。不同研究得出的 pH 分级标准较为接近,ESP 标准则差异很大^[21]。可见 pH 用作土壤碱化分级标准相对稳定,仍然具有其独特优势。ESP 指标则带有明显的区域性特点。

由于土壤中可交换性钠含量和土壤阳离子代换量的测定相对繁琐且实验方法缺陷较大,目前有采用 SAR 指标代替 ESP 指标来表示土壤碱度的趋势^[25]。参照前人成果,通过统计分析建立研究区以盐(碱)生植被盖度为主要依据并与土壤碱化指标相结合的土壤碱化分级标准,同时与匈牙利、澳大利亚和万洪富、俞仁培等建立的中国黄淮海平原碱化土壤分级标准进行对比(表 5)。本文建立的土

表 5 不同碱化土壤分级标准对比

Table 5 Different classification standards for alkalinized soil

分级 Classification	澳大利亚标准 Australian		匈牙利标准 Hungarian		黄淮海平原标准 Huang-Huai-Hai Plain		本文标准 Standard in this study			植被盖度 Haophyte coverage (%)
	pH	ESP (%)	pH	ESP (%)	pH	ESP (%)	pH	ESP (%)	SAR (mmol L ⁻¹) ^{1/2}	
非碱化土 Non-alkaline soil	< 8.0	< 6					< 8.0	< 3	< 3	50
弱碱化土 Slight-alkaline soil			7.5 ~ 8.4	< 5	8.8 ~ 9.1	4 ~ 13	8.0 ~ 8.5	3 ~ 10	3 ~ 8	40
中度碱化土 Medium-alkaline soil	8.0 ~ 9.5	6 ~ 14	8.5 ~ 9.0	10 ~ 15	9.1 ~ 9.3	13 ~ 22	8.5 ~ 9.0	10 ~ 20	8 ~ 18	30
强碱化土 Strong-alkaline soil			9.0 ~ 9.5	25 ~ 30	9.3 ~ 9.6	22 ~ 40	9.0 ~ 9.5	20 ~ 35	18 ~ 40	20
碱土 Solonetz	> 9.5	> 15	9.5 ~ 10	> 50	> 9.6	> 40	> 9.5	> 35	> 40	10

壤碱化分级标准为:植被盖度为 50% 左右, $\text{pH} < 8.0$ 、 $\text{ESP} < 3\%$ 、 $\text{SAR} < 3$ 为非碱化土;植被盖度 $< 10\%$, $\text{pH} > 9.5$ 、 $\text{ESP} > 35\%$ 、 $\text{SAR} > 40$ 为碱土。介于二者之间的分别为弱、中、强碱化土。其中,植被盖度 40% 左右, $\text{pH} 8.0 \sim 8.5$ 、 $\text{ESP} 3\% \sim 10\%$ 、 $\text{SAR} 3 \sim 8$ 的弱碱化土,由于代换性钠含量较少,易于改良利用。本文建立的 pH 指标分级标准与澳大利亚标准较为一致, ESP 指标分级标准与匈牙利、黄淮海平原标准相近。而澳大利亚的 ESP 标准较低,说明该地区的钠危害相对较轻。

3 结 论

1) 奇台绿洲土壤含有大量的代换性钠和 HCO_3^- 离子,碱化严重。由于高 pH 导致土壤物理性状恶化,钠毒害造成植物离子吸收失衡,使得植被生长状况主要受土壤碱化程度的影响。

2) 植被盖度作为一个统一的标准来探讨研究区土壤碱化程度较为适合。植被盖度与各碱化指标均有极显著的负相关关系,其与 pH 的相关系数最高为 0.810,其次与 ESP 的相关系数为 0.662。

3) 土壤碱化指标 pH 、 ESP 、 SAR 、 RSC 、 TA 之间均呈极显著的正相关关系。 pH 作为酸碱度的最基本标识对土壤碱化进行分级,稳定性较好。 ESP 从钠危害角度考察土壤碱化则具有地域性特点。由于 RSC 在碱化区间上的分布不连续,与植被盖度的对应性较差,因此未被选作分级指标。

4) 经过统计分析,确立研究区基于盐(碱)生植被盖度的土壤碱化分级标准:非碱化土——植被盖度为 50% 左右, $\text{pH} < 8.0$, $\text{ESP} < 3\%$, $\text{SAR} < 3$;碱化土——植被盖度 10% ~ 40%, $\text{pH} 8.0 \sim 9.5$, $\text{ESP} 3\% \sim 35\%$, $\text{SAR} 3 \sim 40$;碱土——植被盖度 $< 10\%$, $\text{pH} > 9.5$, $\text{ESP} > 35\%$, $\text{SAR} > 40$ 。该标准与国内外其他碱化土壤分级标准具有良好的对应性。以植被盖度对碱化土壤的响应为依据制定的土壤碱化分级标准既拓宽了碱化土壤分级的研究视角,也符合研究区的实际情况。

参 考 文 献

[1] 欧芷阳,苏志尧,叶永昌,等. 东莞地表植被对表层土壤化学特性的指示作用. 生态学报, 2009, 29(2): 984—992. Ou Z Y, Su Z Y, Ye Y C, et al. Ground vegetation as indicators of topsoil chemical properties in Dongguan, South China (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 984—992

[2] 罗廷彬,任崴. 新疆盐渍化土地种植耐盐小麦效应分析. 中国

生态农业学报, 2001, 9(4): 102—103. Luo T B, Ren W. Effect on planting salt-tolerant wheat in salinized fields in Xinjiang (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 9(4): 102—103

- [3] 王芳,朱军,布如力,等. 盐胁迫对新疆两个小麦品种种子发芽及幼苗生长的影响. 新疆农业大学学报, 2007, 30(1): 1—5. Wang F, Zhu J, Buruli, et al. Effect of salt stress on seed germination and seedling growth of the two wheat varieties in Xinjiang (In Chinese). *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2007, 30(1): 1—5
- [4] 郑重,张凤荣,马富裕,等. 基于棉花-水-盐生产函数的耕地盐碱化分级与评价. 灌溉排水学报, 2010, 29(1): 47—49. Zheng Z, Zhang F R, Ma F Y, et al. Grade and evaluation of arable land salinization based on cotton-water-salt production function (In Chinese). *Journal of Irrigation and Drainage*, 2010, 29(1): 47—49
- [5] 赵振勇,王让会,尹传华,等. 天山南麓山前平原土壤盐分空间异质性对植物群落组成及结构的影响. 干旱区地理, 2007, 30(6): 839—845. Zhao Z Y, Wang R H, Yin C H, et al. Influence of spatial heterogeneity of soil salinity on plant community structure and composition of plain at south piedmont of Tianshan Mountains (In Chinese). *Arid Land Geography*, 2007, 30(6): 839—845
- [6] 郗金标,张福锁,毛达如,等. 新疆盐生植物群落物种多样性及其分布规律的初步研究. 林业科学, 2006, 42(10): 6—12. Xi J B, Zhang F S, Mao D R, et al. Species diversity and distribution of halophytic vegetation in Xinjiang (In Chinese). *Scientia Silvae Sinicae*, 2006, 42(10): 6—12
- [7] 李从娟,马健,李彦. 五种沙生植物根际土壤的盐分状况. 生态学报, 2009, 29(9): 4 649—4 655. Li C J, Ma J, Li Y. Salt content in the rhizosphere of five psammophytes (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 4 649—4 655
- [8] 何雪芬,高翔,吕光辉,等. 艾比湖湿地自然保护区植物群落多样性对土壤理化因子的响应. 新疆农业科学, 2010, 47(5): 1 018—1 024. He X F, Gao X, Lü G H, et al. Response of vegetation community diversity to soil physical and chemical factors in natural reserve of the Ebinur Lake wetland (In Chinese). *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2010, 47(5): 1 018—1 024
- [9] 顾峰雪,张远东,潘晓玲,等. 阜康绿洲土壤盐渍化与植物群落多样性的相关性分析. 资源科学, 2002, 24(3): 42—48. Gu F X, Zhang Y D, Pan X L, et al. Correlation between soil salinization and community diversity: The case of Fukang oasis (In Chinese). *Resources Science*, 2002, 24(3): 42—48
- [10] 张飞,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽,等. 干旱区土壤盐渍化及其对生态环境的损害评估——以新疆沙雅县为例. 自然灾害学报, 2009, 18(4): 55—62. Zhang F, Tashpolat · Tiyip, Ding J L, et al. Soil salinization in arid area and its economic loss evaluation of eco-environmental damages: A case of Shaya County in Xinjiang (In Chinese). *Journal of Natural Disasters*, 2009, 18(4): 55—62
- [11] 赵彦坤,张文胜,王幼宁,等. 高 pH 对植物生长发育的影响及其分子生物学研究进展. 中国生态农业学报, 2008, 16(3):

- 783—787. Zhao Y K, Zhang W S, Wang Y N, et al. Research progress in physiology and molecular biology of plant responses to high pH (In Chinese). Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(3): 783—787
- [12] 黄立华, 梁正伟, 马红媛. 移栽羊草在不同 pH 土壤上的生长反应及主要生理变化. 中国草地学报, 2008, 30(3): 42—47. Huang L H, Liang Z W, Ma H Y. Growth response and physiological change of *leymus chinensis* seedling transplanted in soil of various pH (In Chinese). Chinese Journal of Grassland, 2008, 30(3): 42—47
- [13] 马红媛, 梁正伟. 不同 pH 值土壤及其浸提液对羊草种子萌发和幼苗生长的影响. 植物学通报, 2007, 24(2): 181—188. Ma H Y, Liang Z W. Effects of different soil pH and soil extracts on the germination and seedling growth of *Leymus chinensis* (In Chinese). Chinese Bulletin of Botany, 2007, 24(2): 181—188
- [14] 李述刚, 王周琼. 荒漠碱土. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1988. Li S G, Wang Z Q. Desert alkaline soil (In Chinese). Urumqi: Xinjiang People Press, 1988
- [15] 王遵亲, 等. 中国盐渍土. 北京: 科学出版社, 1993: 9—10. Wang Z Q, et al. Salt-affected soils of China (In Chinese). Beijing: Science Press, 1993: 9—10
- [16] 李子熙. 干旱地区盐土和碱土分级分类指标的研究. 土壤, 1990, 22(3): 157—158. Li Z X. Study on degree indices of alkalized soil and salinized soil in arid region (In Chinese). Soils, 1990, 22(3): 157—158
- [17] 杨道平, 俞仁培. 土壤物理性状与碱化土壤分级. 土壤通报, 1998, 29(2): 54—57. Yang D P, Yu R P. Soil physical character and the degree of soil alkalization (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1998, 29(2): 54—57
- [18] 万洪富, 俞仁培, 王遵亲. 黄淮海平原土壤碱化分级的初步研究. 土壤学报, 1983, 20(2): 129—139. Wan H F, Yu R P, Wang Z Q. A primary study on subdivision of degree of soil alkalization in Huang-Huai-Hai Plain (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1983, 20(2): 129—139
- [19] 王周琼, 李述刚. 准噶尔盆地温带荒漠土壤碱化分级的初步研究. 土壤学报, 1990, 27(4): 438—444. Wang Z Q, Li S G. A study on division of alkalization of temperate desert soils in Zhunger basin (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1990, 27(4): 438—444
- [20] 于堃, 熊黑钢, 陆殿梅. 新疆奇台绿洲地下水与生态景观关系研究. 第四纪研究, 2007, 27(5): 880—888. Yu K, Xiong H G, Lu D M. Study on connection between groundwater and landscape ecology in Qitai Oasis of Xinjiang (In Chinese). Quaternary Sciences, 2007, 27(5): 880—888
- [21] 万洪富, 杨劲松, 俞仁培. 黄淮海平原土壤碱化度计算方法的探讨. 土壤, 1991, 23(6): 319—325. Wan H F, Yang J S, Yu R P. Study of soil ESP calculation in Huang-Huai-Hai Plain (In Chinese). Soils, 1991, 23(6): 319—325
- [22] 赵秀芳, 杨劲松, 姚荣江. 基于典范对应分析的苏北滩涂土壤春季盐渍化特征研究. 土壤学报, 2010, 47(3): 422—428. Zhao X F, Yang J S, Yao R J. Characteristics of soil salinization in mudflat of North Jiangsu Province based on canonical correspondence analysis (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(3): 422—428
- [23] 中国科学院新疆综合考察队. 新疆土壤地理. 北京: 科学出版社, 1965. Xinjiang Comprehensive Fields Party of Academy of Sciences. Xinjiang soil geography (In Chinese). Beijing: Science Press, 1965
- [24] 高志方. 荒漠碱土代换性钠对小麦苗期生长的影响. 干旱区研究, 1989, 6(1): 50—55. Gao Z F. Effects of Exchangeable sodium on the seedling stage of wheat in desert alkali soil (In Chinese). Arid Zone Research, 1989, 6(1): 50—55
- [25] 李法虎. 土壤物理化学. 北京: 化学工业出版社, 2006: 216. Li F H. Physical chemistry of soil (In Chinese). Beijing: Chemical Industry Press, 2006: 216

CLASSIFICATION OF SOIL ALKALIZATION BASED ON HALOPHYTE COVERAGE

Zhang Fang^{1,3} Xiong Heigang^{2,3†} An Fangzhou^{1,3} Xia Qianrou^{1,3}

(1 College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

(2 College of Art and Science, Beijing Union University, Beijing 100083, China)

(3 Key Laboratory of Oasis Ecology (Xinjiang University) Ministry of Education, Urumqi 830046, China)

Abstract Qitai Oasis in Xinjiang has a large tract of sodic alkali soil and was hence selected as a study zone to explore relationships of halophyte coverage with soil alkalization indices (pH, exchangeable sodium percentage (ESP), sodium adsorption ratio (SAR), residual sodium carbonate (RSC), total alkalinity (TA)). It was found that in the soil of the study zone, existed large volumes of exchangeable sodium, strongly alkalizing the soil. Halophyte coverage was negatively related to all the soil alkalization indices to an extremely significant extent, especially to soil pH, being the highest (0.810), which was followed by ESP. Soil alkalization was the major factor affecting halophyte coverage, which could, therefore, be used as a good indicator of the former. Based on halophyte coverage as the major index in combination with some soil alkalization indices, such as pH and ESP, alkalized soil in the study zone was classified. Soils 50% or so in hal-

ophyte coverage, < 8.0 in pH, < 3% in ESP and < 3 in SAR were classified as non-alkaline soil, those 10% ~ 40% in halophyte coverage, 8.0 ~ 9.5 in pH, 3% ~ 35% in ESP and 3 ~ 40 in SAR as alkaline soil, and those < 10% in halophyte coverage, > 9.5 in pH, > 35% in ESP and > 40 in SAR as Solonetz. Such classification not only broadens the look angle of the study on grading of alkalized soils, but also tallies with the local practical situation.

Key words Halophyte coverage; Soil alkalization indices; Classification of alkalized soils