

夏尔希里地区土壤盐分特征分析

王勇辉, 王瑞霞, 焦黎

(新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054)

摘要:为了探明新疆夏尔希里地区土壤盐分特征,采集了该地区绿洲、荒漠、山地 3 大系统的土壤样品,对土壤总盐, Cl^- , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$, CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} 离子等指标进行测试。分析结果显示:荒漠区、山区、绿洲区总盐含量分别为 2.29~9.45, 6.11~8.41, 2.32~7.83 g/kg。根据新疆土壤盐碱化的分级标准,3 个区域土壤属中度盐化土。夏尔希里地区土壤总盐及各离子含量变异系数均小于 1,属于中等变异。总盐含量:荒漠区>山地区>绿洲区; Cl^- , HCO_3^- , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 离子含量:山地区>绿洲区>荒漠区; CO_3^{2-} , Mg^{2+} 离子含量:荒漠区>山地区>绿洲区; SO_4^{2-} 离子含量:绿洲区>山地区>荒漠区; Ca^{2+} 离子含量:荒漠区>绿洲区>山地区。3 个区域的总盐与 Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 离子呈较显著正相关关系。

关键词:夏尔希里; 土壤; 盐分

中图分类号:S153

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)05-0138-08

Analysis on Characteristics of Soil Salt in Xarxili

WANG Yonghui, WANG Ruixia, JIAO Li

(College of Geography and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China)

Abstract: To prove up the basic characteristic of the soil in Xarxili region in Xinjiang, soil samples in three regions which are in Oasis, desert, mountain were collected, then followed by determining the contents of total salt and ions (Cl^- , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$, CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+}). The results show that the contents of total salt are 2.29~9.45 g/kg in the desert, 6.11~8.41 g/kg in the mountain, 2.32~7.83 g/kg in the oasis region. According to the classification standard of soil salinization in Xinjiang, the three regions belong to moderate soil salinization. The variation coefficient of soil total salt and eight ions in three regions of Xarxili show moderate variability. The spatial distribution show that the contents of eight ions and total salt are in the order: total salt in the desert>mountain>oasis; Cl^- , HCO_3^- , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ in the mountain>oasis>desert; CO_3^{2-} , Mg^{2+} in the desert>mountain>oasis; SO_4^{2-} in the oasis>mountain>desert; Ca^{2+} in the desert>oasis>mountain. The significant positive correlation was found between such pairs as total salt and Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$.

Keywords: Xarxili; soil; salt

土壤是覆盖地球表面具有一定肥力并能生长植物的疏松表层^[1],是由一层厚度各异的矿物质成分所组成的大自然的主体。由于受到成土母质、气候、生物、地形、时间等自然因素以及人为因素的共同作用,不同地区的土壤特性迥然不同,并且具有高度的空间变异性^[2-6]。土壤盐分是土壤提供给植物生长发育所必需的离子,是土壤组成的物质基础,是土地评价和管理的重要指标之一。土壤盐分的积累与气候条件、地形地貌、地下水等自然因素和施肥、灌溉等人类活动因素有密切的关系^[7]。土壤盐渍化是一个全球性

的生态环境问题。当土壤累积的盐分达到一定的临界值时,会阻碍作物根系吸收水分和养分,或腐蚀植物根系,从而导致作物的正常生长和发育受到危害^[8-12]。土壤盐渍化是一定的气候、地形、水文地质等自然条件共同对水盐运动产生影响的结果^[13-14]。与人类活动,尤其是农业灌溉密切相关。盐渍化主要发生在气候干旱、土壤蒸发强度大、地下水位高且含有较多水溶性盐类的区域。我国的盐渍土主要分布在西部 6 省,其中新疆是盐渍土面积最大、盐渍土种类多、分布范围最广的省区,占全国盐渍土面积的

36.8%。从新疆1:100万土壤图上量得,全疆现有盐渍化耕地126.3万 hm^2 ,占全疆耕地面积的31.1%,其中强盐渍化耕地占盐渍化耕地的18%,中度盐渍化占33%,轻度盐渍化占49%。土壤盐渍化影响了农作物的生长,直接导致了粮食减产,是农业可持续发展的重大限制条件和障碍因素。不仅破坏了资源而且还对生物圈和生态环境构成威胁^[15-16]。土壤盐渍化已经成为危及人类生存的重大资源与环境问题^[17]。改良盐渍化土壤和防止土壤次生盐渍化,以及维持和改良土地生产能力是维护干旱区土地生产能力和农业可持续发展的重要内容。

新疆夏尔希里的植被保护较好,水土流失的现象较少,只有高山草甸土在水蚀的作用下有部分的流失现象。此外,该区域的一个鲜明特点是近百年来基本无人活动活动和牲畜破坏,成土过程和演化规律保持在自然原始状态,所以可以作为很好的土壤本底值研究区域。为了深入了解夏尔希里地区土壤盐分特征,本研究选取绿洲、荒漠、山地3大系统的土壤样品,通过定量测试,分析该区域土壤盐分特性,以期弥补该区域理论研究的不足,同时也可对干旱区生态建设提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

夏尔希里位于新疆维吾尔自治区博尔塔拉蒙古自治州境内的阿拉套山北麓,西南和南面与哈日图热格林场为邻,北以阿拉套山山脊为界与哈萨克斯坦共和国接壤,东界至阿拉山口市,夏尔希里自然保护区是该区域的核心地带,地理位置为东经 $81^{\circ}43'09''$ — $82^{\circ}33'18''$,北纬 $45^{\circ}07'43''$ — $45^{\circ}23'15''$,东西长66 km,南北宽25 km,面积314 km^2 ,由西部的保尔德河区(西段)、东部的江巴斯区(东段)和联接两个区域的边境廊道(中段)3个部分组成。其中西部为中高山带,面积22 000 hm^2 ;中部为中低山区,面积3 600 hm^2 ,是连接东西两部分的天然廊道,保持着地区内自然环境的完整性;东部为低山和荒漠平原戈壁地带,总面积为5 800 hm^2 。夏尔希里位于阿拉套山南坡中东部,大陆性寒温带寒冷气候特征显著,在全球大气环流形势中处于西风带。从海陆位置看,处于亚欧大陆腹地,远离海洋,水汽来源甚少;从地形上看,阿拉山口是准噶尔盆地的主要风口,有利于西风气流进入,并抬升凝云致雨。夏尔希里保护区分布的土壤有石质土、粗骨土、灰棕漠土、灰褐色森林土、棕钙土、栗钙土、黑钙土、山地草甸土、山地沼泽土9个类型。

1.2 样品采集

依据夏尔希里地区的地理环境特征,在夏尔希里

地区的荒漠区、绿洲区和山地森林区3个区域采集样品25个。荒漠区采集样品5个,采样层次为0—20,20—40,40—60 cm;绿洲区采集样品10个,采样层次为0—10,10—20,20—30,30—40,40—50 cm;山地区采集样品10个,采样层次为0—20,20—40,40—60,60—80 cm。一般每层采样1 kg,分别装入袋中并做好标记,挑出杂物后,风干,研磨,过筛备用。

1.3 试验方法与分析方法

土壤样本的测定方法为:土壤总盐采用残渣烘干质量法; SO_4^{2-} 采用EDTA间接络合滴定法; Cl^- 采用 AgNO_3 滴定法; CO_3^{2-} , HCO_3^- 采用双指示剂滴定法; Ca^{2+} , Mg^{2+} 采用EDTA络合滴定法; K^+ , Na^+ 采用差减法计算而得。试验数据使用SPSS 17.0, Surfer 8进行处理及分析。

2 结果与分析

2.1 夏尔希里地区土壤盐分经典统计分析

由表1可见,荒漠区总盐含量为2.29~9.45 g/kg,山区土壤总盐含量为6.11~8.41 g/kg,处于中等水平,绿洲区土壤总盐含量为2.32~7.83 g/kg。根据新疆土壤盐碱化的分级标准,3个区域土壤属中度盐化土。对3个区域土壤样品各组成盐分离离子进行统计分析表明:在土壤各组成盐分离离子中,阴离子以 Cl^- , SO_4^{2-} 为主,阳离子则以 K^+ , Na^+ 为主,占总盐分含量的71.7%,说明该区土壤中的盐类物质主要是氯化物—硫酸型类土壤;极差结果显示: Cl^- , SO_4^{2-} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 极差较大,其他离子的极差均较小;各盐分离子的均值都较小。

变异系数CV值反映样点的离散程度, $\text{CV} < 0.1$ 为弱变异性; $0.1 \leq \text{CV} \leq 1$ 为中等变异性; $\text{CV} > 1$ 为强变异性。由表1可以看出,夏尔希里地区土壤总盐变异系数在3个区域都小于1,属于中等变异。3个区域土壤样品各组成盐分离子的变异系数表明:各离子的变异系数在荒漠区都小于1,属于中等变异。在山地区 CO_3^{2-} 大于1,属于强变异; SO_4^{2-} 小于0.1,属于弱变异性。在山地区其他各离子都小于1,属于中等变异。在绿洲区 CO_3^{2-} 大于1,属于强变异; SO_4^{2-} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 小于0.1,属于弱变异性;其他各离子都小于1,属于中等变异。变异系数(CV)的统计结果反映出随机变化的离散程度,也显示出该区域土壤离子的空间变异性受到外界干扰较小,空间分异不显著^[18]。

2.2 夏尔希里地区土壤盐分空间特性分析

2.2.1 土壤盐分水平分布 图1为总盐及各盐分离离子在荒漠区、绿洲区、山地区的等值线分布图(X轴为经度,Y轴为纬度)。由图1可知,在夏尔希里地区

山区和绿洲区总盐含量高,从绿洲区向荒漠区延伸依次递减; SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 从山区—绿洲区—荒漠区依次递减; CO_3^{2-} 从山区—绿洲区—荒漠区依次递增; Ca^{2+} , Mg^{2+} 在夏尔希里地区山区、绿洲区和荒漠区都均匀分布;从总体上看, Ca^{2+} , Mg^{2+} 含量最高, SO_4^{2-} 含量最少,其他离子含量差异不明显。 K^+ 含量在每个区域相对较高。这与新疆土壤钾素整体偏高的特点是一致的。

表 1 夏尔希里地区土壤盐分统计

区域	指标	最小值/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	最大值/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	均值/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	中值/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	标准差	变异 系数/%
荒漠区	总盐	2.29	9.45	5.33	4.19	3.36	63.04
	CO_3^{2-}	0.00	0.06	0.04	0.06	0.02	50.00
	HCO_3^-	0.10	0.50	0.26	0.14	0.18	69.23
	Cl^-	0.11	2.38	1.13	1.35	0.98	86.72
	SO_4^{2-}	0.54	2.04	1.22	0.88	0.66	54.09
	Ca^{2+}	0.24	1.76	0.89	0.82	0.65	73.03
	Mg^{2+}	0.11	0.94	0.35	0.20	0.34	97.14
	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	0.69	2.98	1.57	1.07	1.00	63.69
山区	总盐	6.11	8.41	7.46	7.75	0.78	10.45
	CO_3^{2-}	0.00	0.05	0.008	0.00	0.01	125.00
	HCO_3^-	0.30	0.83	0.51	0.48	0.18	35.29
	Cl^-	0.97	1.81	1.35	1.34	0.30	22.22
	SO_4^{2-}	1.60	2.11	1.88	1.87	0.14	7.44
	Ca^{2+}	0.24	1.28	0.47	0.38	0.30	63.82
	Mg^{2+}	0.23	0.54	0.34	0.32	0.10	29.41
	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	1.83	3.62	2.92	3.09	0.49	16.78
绿洲	总盐	2.32	7.83	6.78	7.16	1.59	23.45
	CO_3^{2-}	0.00	0.07	0.01	0.00	0.02	200.00
	HCO_3^-	0.36	0.54	0.44	0.42	0.07	15.90
	Cl^-	0.98	1.46	1.24	1.25	0.15	12.09
	SO_4^{2-}	1.73	1.99	1.89	1.89	0.07	3.70
	Ca^{2+}	0.19	0.47	0.32	0.33	0.09	28.12
	Mg^{2+}	0.08	0.36	0.16	0.16	0.08	50.00
	$\text{K}^+ + \text{Na}^+$	2.33	3.30	3.03	0.13	0.27	8.91

2.2.2 土壤养分垂直分布 由图 2—4 可知,荒漠区总盐含量与各离子的变化趋势基本是一致的。在绿洲区,总盐含量高且分布差异不大。在山地区,总盐含量低且分布差异不大。在荒漠区 HCO_3^- , Mg^{2+} 离子含量最低, SO_4^{2-} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 离子含量最高。在绿洲区 CO_3^{2-} , Mg^{2+} 离子含量最低, Cl^- , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 离子含量最高。在山地区, CO_3^{2-} , Ca^{2+} 离子含量最低, Cl^- , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 离子含量最高。从整体看夏尔西里地区的总盐含量呈中等水平, Cl^- , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 离子含量最高, CO_3^{2-} , HCO_3^- 离子含量较低。

2.3 夏尔希里地区土壤养分频数分析

图 5—7 为荒漠区、绿洲区、山地区 3 个区域离子的频数直方图(Y 轴为浮动频数,X 轴为含量)。由图 5 可知,荒漠区总盐含量为 2.29~4.8~9.45 g/kg 的样本占总样本数的 90%, CO_3^{2-} 为 0.006~0.018 g/kg 的样本数占 90%, HCO_3^- 为 0.10~0.20 g/kg 的占总样本数 60%, Cl^- 含量为 0~0.5 g/kg 占样本数 40%, SO_4^{2-} 含量为 0.5~1 g/kg 的占总样本数 60%, Ca^{2+} 离子含量为 0~0.5 g/kg 的占总样本数 40%, Mg^{2+} 离子

含量在 0~0.2 g/kg 的占总样本数 40%, $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 离子含量为 0.5~1.0 g/kg 的占总样本数 40%。由图 6 可知,绿洲区总盐含量为 7~8 g/kg 的占总样本数 70%, CO_3^{2-} 含量为 0~0.01 g/kg 占总样本数 80%, HCO_3^- 含量为 0.35~0.4 g/kg 的占总样本数 50%, Cl^- 含量为 1.1~1.5 g/kg 占总样本数 80%, SO_4^{2-} 含量为 1.85~1.90 g/kg 的占总样本数 40%, Ca^{2+} 离子含量为 0.26~0.32 g/kg 的占总样本数 30%, Mg^{2+} 离子含量为 0.1~0.15 g/kg 的占总样本数 30%, $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 离子含量为 3~3.25 g/kg 的占总样本数 40%。由图 7 可知,山区总盐为 7.5~8.5 g/kg 的占总样本数 60%, CO_3^{2-} 含量为 0~0.01 g/kg 占总样本数 80%, HCO_3^- 含量为 0.3~0.4 g/kg 的占总样本数 40%, Cl^- 含量为 1.1~1.5 g/kg 占总样本数的 80%, SO_4^{2-} 含量为 1.60~1.85 g/kg 的占总样本数的 50%, Ca^{2+} 离子含量为 0.25~0.35 g/kg 的占总样本数 60%, Mg^{2+} 离子含量为 0.25~0.3 g/kg 的占总样本数 30%, $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 离子含量为 3~3.5 g/kg 的占总样本数 50%。

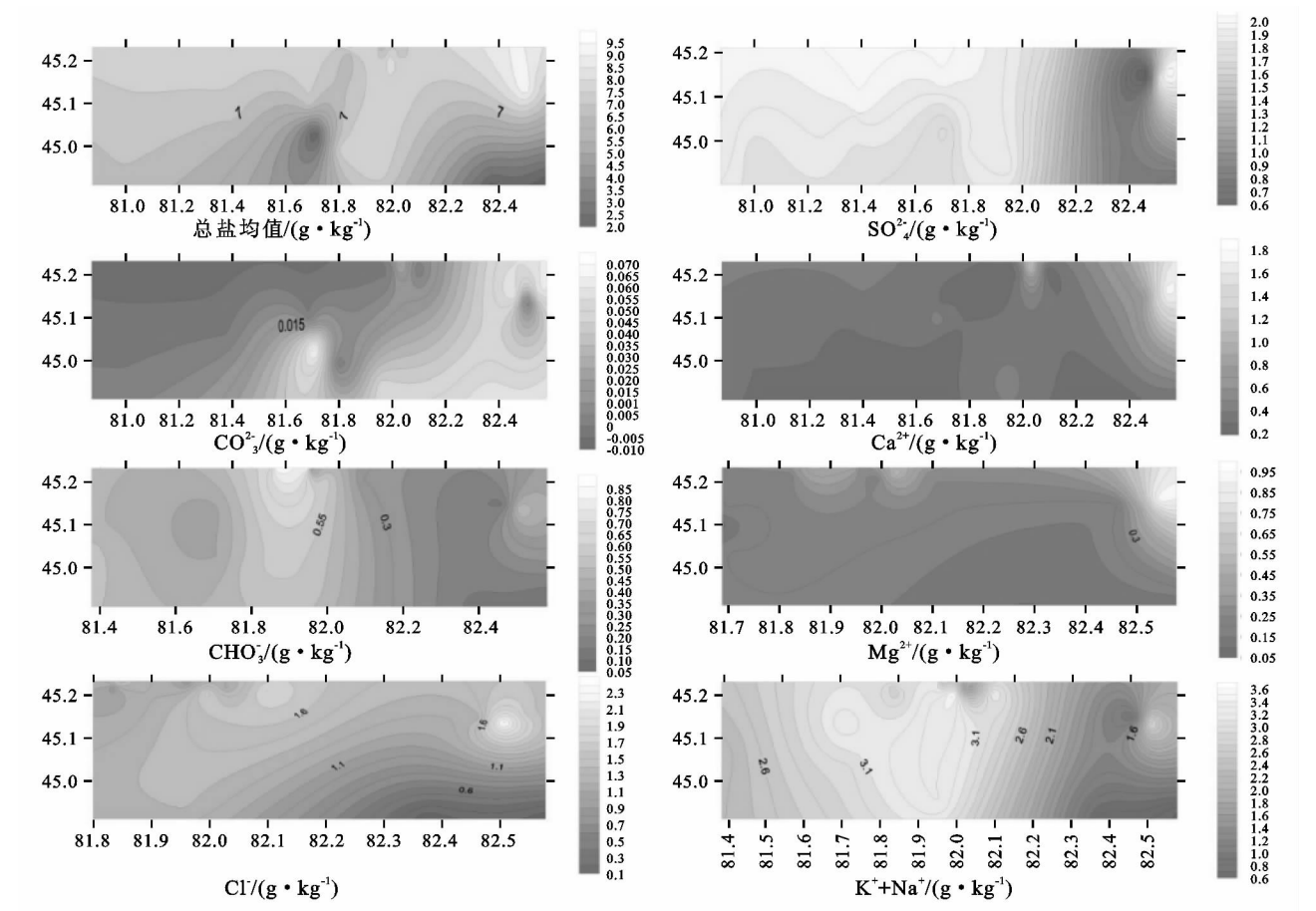


图 1 夏尔希里地区土壤盐分含量等值线

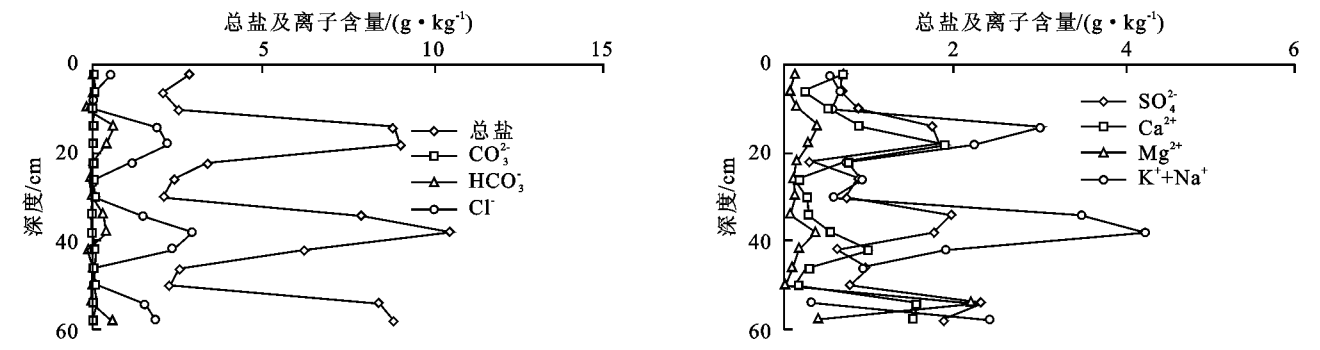


图 2 夏尔希里地区荒漠区土壤总盐及离子含量垂直分布

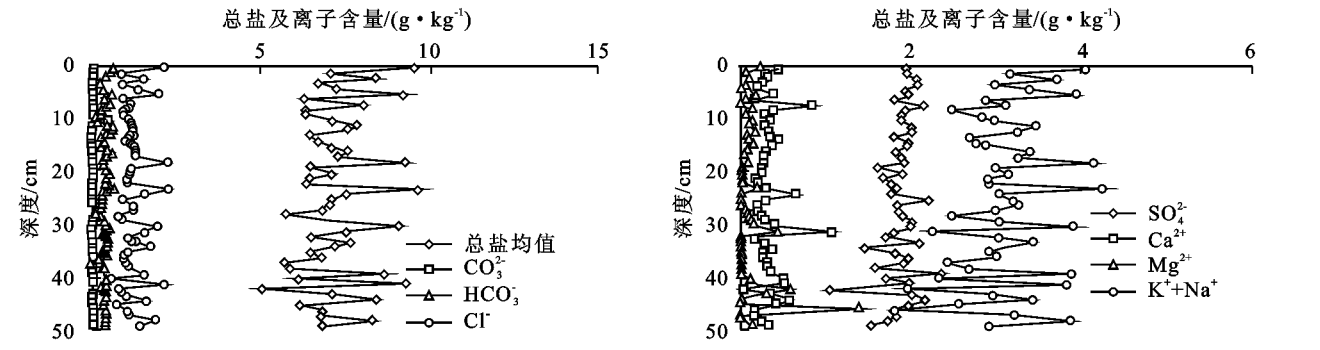


图 3 夏尔希里地区绿洲区土壤总盐及离子含量垂直分布

2.4 夏尔希里地区土壤盐分相关性分析

由表 2 可知,荒漠区土壤可溶性总盐含量与阴离子 Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} 之间的相关系数分别为 0.939, 0.981, 0.989, 即总盐与 Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} 均

达到极显著 ($p < 0.01$) 正相关;与 CO_3^{2-} 相关系数为 -0.685 , 呈现负相关关系。土壤总盐与阳离子 Ca^{2+} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 之间的相关系数分别为 0.931,

0.986,均达到极显著($p < 0.01$)正相关。总盐与 SO_4^{2-} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$, HCO_3^- , Cl^- , Ca^{2+} 的相关系数较

高,均超过了0.9,表明荒漠区土壤中含盐量的高低主要与这些离子含量水平的高低关系密切。

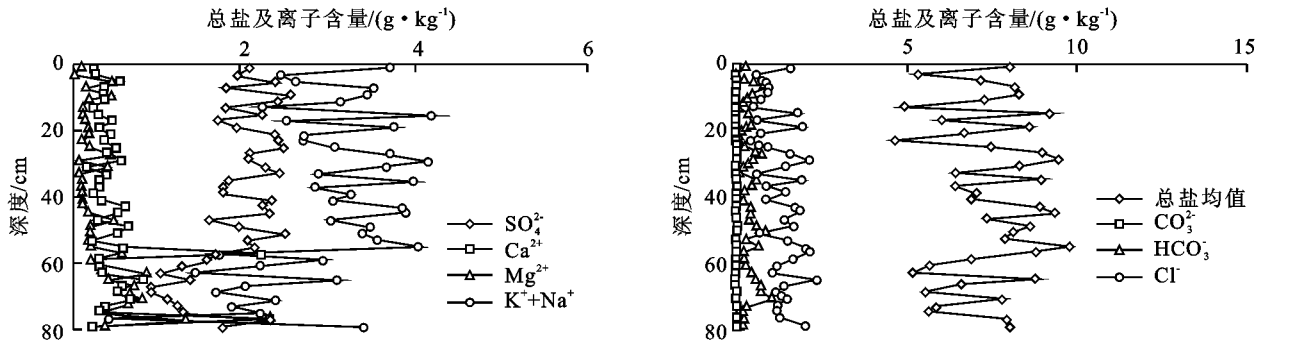


图4 夏尔希里地区山地区土壤总盐及离子含量垂直分布

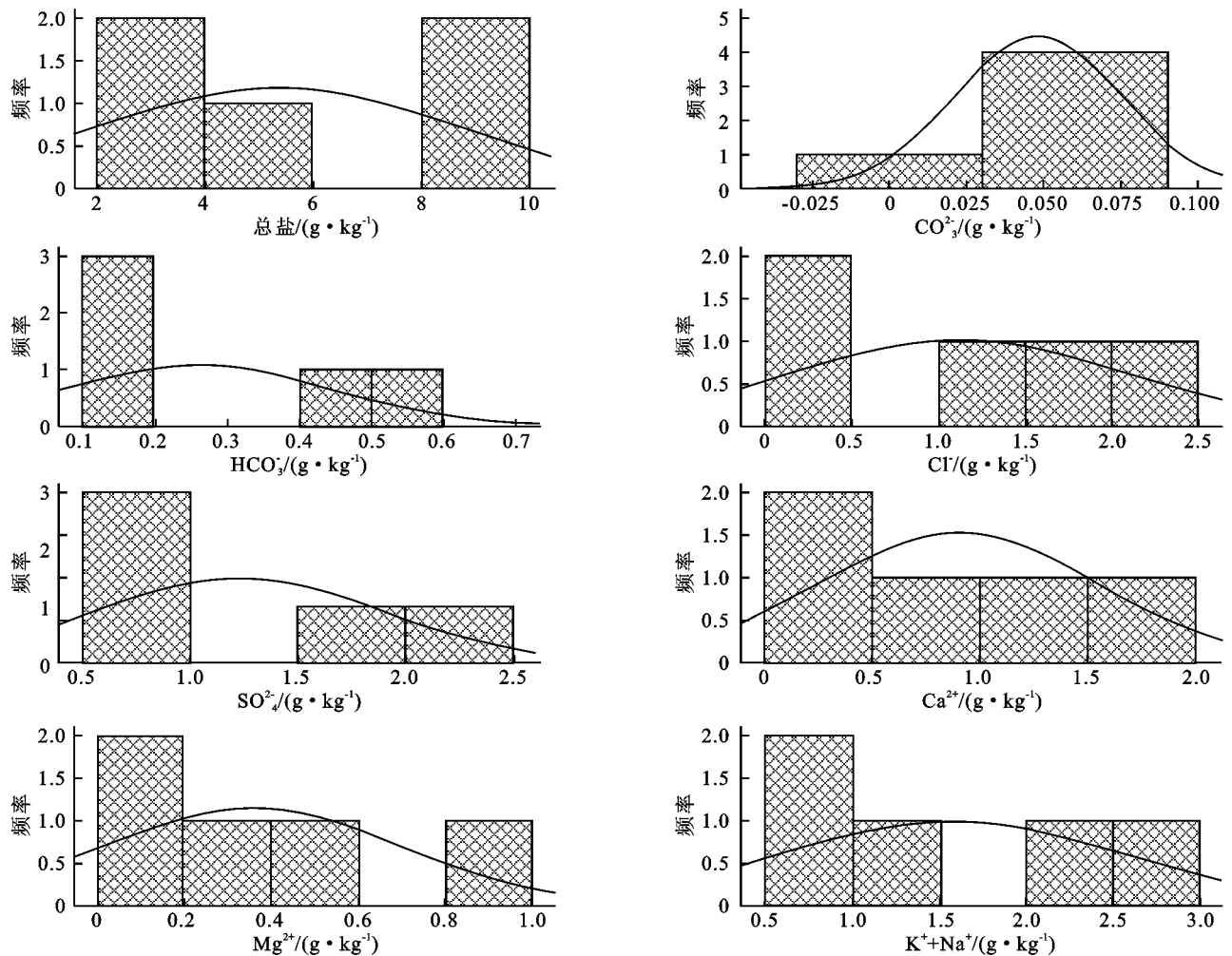


图5 夏尔希里地区荒漠区土壤总盐及离子频度直方图

由表3可知,山区土壤可溶性总盐含量与阴离子 Cl^- , HCO_3^- 之间的相关系数较高,分别为0.804, 0.570,其中总盐与 Cl^- 达到极显著($p < 0.01$)正相关。土壤总盐与阳离子 Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 之间的相关系数分别为0.096, 0.187, 0.624,数据显示总盐与 $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 相关系数最高。在夏尔希里山区土壤总盐与 Cl^- , HCO_3^- , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 的相关系数较高,表明研究区土壤中的含盐量的高低主要与这些离子含量水平的高低有关。

由表4可知,绿洲土壤可溶性总盐含量与阴离子 SO_4^{2-} , CO_3^{2-} 之间的相关系数分别为0.740, -0.728,即总盐与 SO_4^{2-} 均达到显著($p < 0.05$)相关。土壤总盐与阳离子 Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{K}^+ + \text{Na}^+$ 之间的相关系数分别为0.603, -0.165, 0.161,总盐与 Ca^{2+} 相关性较强,与其他离子相关性较弱。在夏尔希里绿洲区域总盐与 Ca^{2+} , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} 的相关系数较高,表明研究区土壤中的含盐量的高低主要与这些离子含量水平的高低有关。

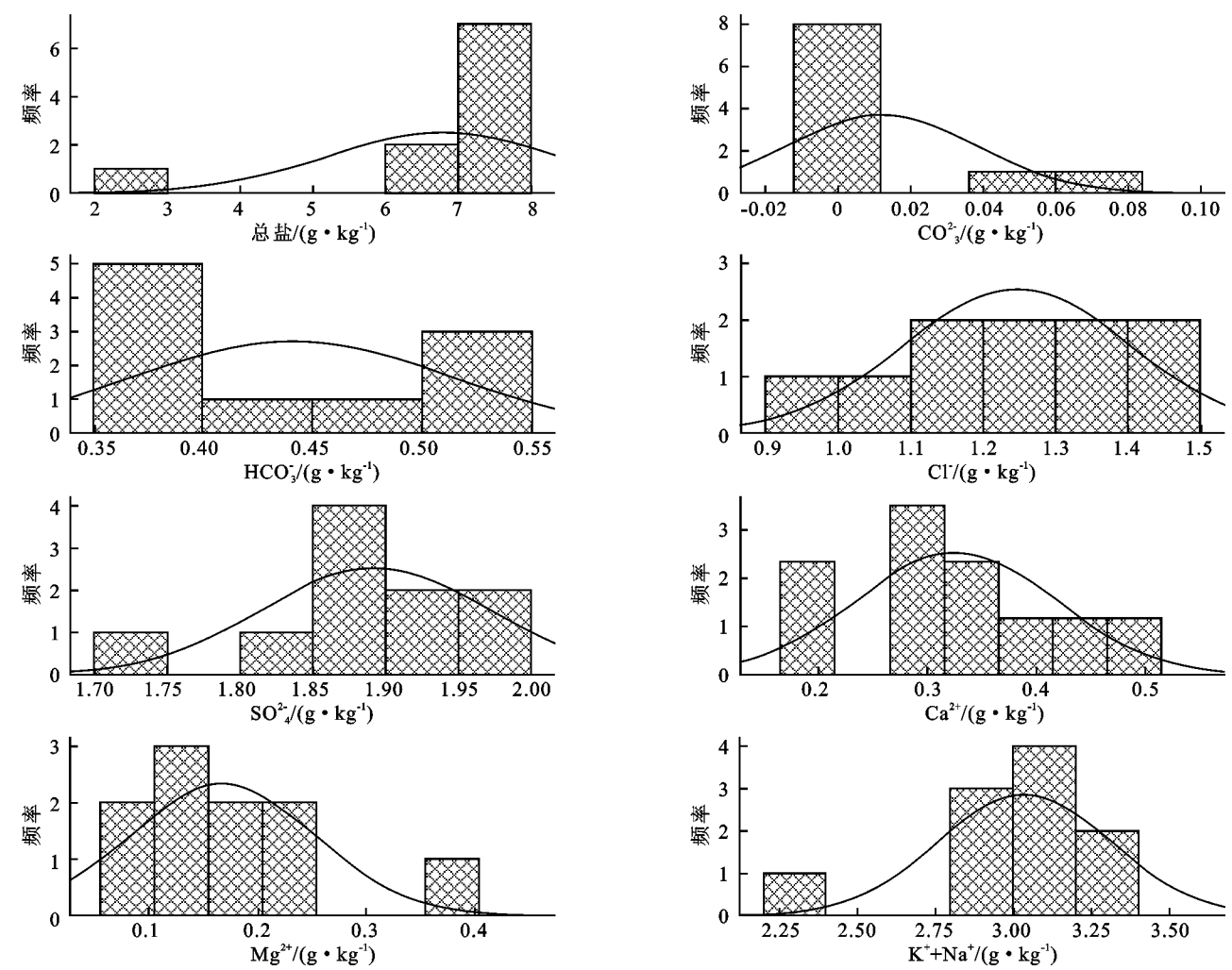


图 6 夏尔希里地区绿洲区土壤总盐及离子频度直方图

表 2 夏尔希里地区荒漠区土壤总盐及离子相关矩阵

项 目	总盐	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ + Na ⁺
总盐	1	1	1	1	1	1	1	1
CO ₃ ²⁻	-0.685	-0.723	0.870	0.679	0.850	0.919**	0.682	
HCO ₃ ⁻	0.981**	-0.712	0.939**	0.861	0.854	0.860		
Cl ⁻	0.939**	-0.514	0.875	0.593	0.891*			
SO ₄ ²⁻	0.989**	-0.379	0.743	0.914**				
Ca ²⁺	0.931**	-0.084	0.992**					
Mg ²⁺	0.766	-0.780						
K ⁺ + Na ⁺	0.986**							

注:**表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关,*表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关,下表同。

表 3 夏尔希里地区山区土壤总盐及离子相关矩阵

项 目	总盐	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ + Na ⁺
总盐	1	1	1	1	1	1	1	1
CO ₃ ²⁻	0.104	0.494	0.147	-0.307	0.111	0.748*	-0.523	
HCO ₃ ⁻	0.570	0.024	-0.204	-0.065	-0.179	-0.698*		
Cl ⁻	0.804**	-0.625	0.093	-0.123	0.007			
SO ₄ ²⁻	0.008	0.425	0.583	0.614				
Ca ²⁺	0.096	0.745*	0.284					
Mg ²⁺	0.187	-0.347						
K ⁺ + Na ⁺	0.624							

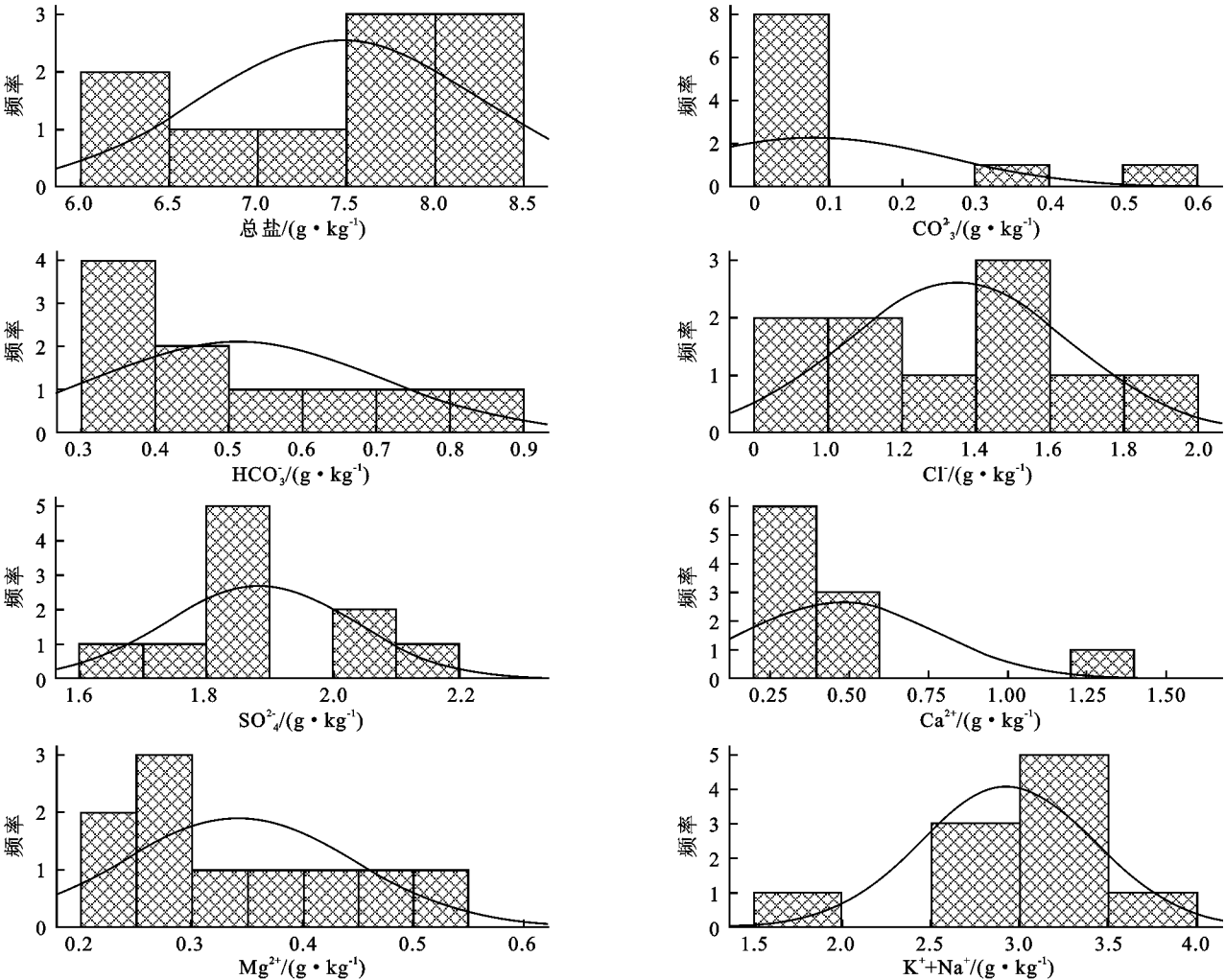


图 7 夏尔希里地区山区土壤总盐及离子频度直方图

表 4 夏尔希里地区绿洲区土壤总盐及离子相关矩阵

项 目	总盐	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ + Na ⁺
总盐	1	1	1	1	1	1	1	1
CO ₃ ²⁻	-0.728 *	0.077	0.107	0.028	0.441	-0.601	0.001	
HCO ₃ ⁻	0.247	-0.085	0.128	0.568	-0.189	0.124		
Cl ⁻	0.458	-0.568	0.014	0.040	-0.184			
SO ₄ ²⁻	0.740 *	-0.201	0.629	0.404				
Ca ²⁺	0.603	0.180	-0.112					
Mg ²⁺	-0.165	0.125						
K ⁺ + Na ⁺	0.161							

3 结 论

(1) 夏尔希里地区土壤盐分特征:荒漠区总盐含量为 2.29~9.45 g/kg,山区土壤总盐含量为 6.11~8.41 g/kg,绿洲区土壤总盐含量为 2.32~7.83 g/kg。根据新疆土壤盐碱化的分级标准,3 个区域土壤属中度盐化土。土壤总盐变异系数在 3 个区域都小于 1,属于中等变异。各离子的变异系数在荒漠区都小于 1,属于中等变异。

(2) 夏尔希里地区总盐,Cl⁻,K⁺ + Na⁺,CO₃²⁻,

HCO₃⁻,SO₄²⁻,Ca²⁺,Mg²⁺ 离子含量空间分异特征为:SO₄²⁻,HCO₃⁻,Cl⁻,K⁺ + Na⁺ 从山区—绿洲区—荒漠区依次递减;CO₃²⁻ 从山区—绿洲区—荒漠区依次递增;Ca²⁺,Mg²⁺ 在夏尔希里地区山区、绿洲区和荒漠区都均匀分布。

(3) 夏尔希里地区总盐,Cl⁻,K⁺ + Na⁺,CO₃²⁻,HCO₃⁻,SO₄²⁻,Ca²⁺,Mg²⁺ 离子的相关性分析表明:3 个区域的总盐与 Cl⁻,HCO₃⁻,SO₄²⁻,Ca²⁺,K⁺ + Na⁺ 离子呈现正相关关系,部分指标之间的相关达到显著或者极显著水平。

参考文献:

- [1] 李建辉,李晓秀,张汪寿,等. 基于地统计学的北运河下游土壤养分空间分布[J]. 地理科学, 2011, 31(8): 1001-1006.
- [2] 毋兆鹏. 博尔塔拉河、精河流域绿洲土壤异质性及其驱动力研究[J]. 土壤通报, 2010, 41(1): 81-87.
- [3] 王军,王绍明,朱宏伟,等. 玛纳斯河流域中下游土壤盐分空间变异性研究[J]. 新疆农业科学, 2012, 49(3): 542-548.
- [4] 杨红梅,徐海量,樊自立,等. 塔里木河下游表层土壤盐分空间变异和格局分析[J]. 中国沙漠, 2010, 30(3): 564-570.
- [5] 王雪梅,柴仲平,塔西甫拉提·特依拜. 干旱区绿洲土壤盐分空间异质性及人为驱动力分析[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(3): 113-115.
- [6] 阿布都热合曼·哈力克. 新疆岳普湖县土壤盐分空间变异及其分布特征研究[J]. 水土保持研究, 2011, 18(1): 98-100.
- [7] 阿依努尔·提力瓦力迪. 博尔塔拉河流域土壤盐分空间变异性及其影响因素研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学, 2013.
- [8] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培,等. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社, 1993.
- [9] 王雪梅,柴仲平,塔西甫拉提·特依拜,等. 西北干旱区典型绿洲盐渍土现状及特征分析[J]. 水土保持研究, 2009, 16(2): 88-91.
- [10] 乔木,田长彦,王新平. 新疆灌区土壤盐渍化及改良模式[M]. 乌鲁木齐:新疆科学技术出版社, 2008.
- [11] 刘永泉,王晓峰,吴颜. 艾比湖水位变化对湖滨湿地盐渍化的影响研究[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(6): 109-111.
- [12] 任云霞,李新国,王影,等. 焉耆盆地土壤盐渍化特征分析:以和静县为例[J]. 绵阳师范学院学报, 2010, 29(5): 85-88.
- [13] 朱庭芸. 灌区土壤盐渍化防治[M]. 北京:农业出版社, 1992.
- [14] Sreenivas K, Venkataratnam L, Narasinha Rao P V. Dielectric properties of salt-affected Soil[J]. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16(4): 641-649.
- [15] 崔保山,刘兴土. 黄河三角洲湿地生态特征变化及可持续性管理对策[J]. 地理科学, 2001, 21(3): 250-256.
- [16] 赵锐锋,陈亚宁,洪传勋,等. 塔里木河源流区绿洲土壤含盐量空间变异和格局分析:以岳普湖绿洲为例[J]. 地理研究, 2008, 27(1): 135-144.
- [17] 赵福庚. 植物逆境生理生态学[M]. 北京:化学工业出版社, 2004.
- [18] 姚荣江,杨劲松,刘广明,等. 黄河三角洲地区典型地块土壤盐分空间变异特征研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(6): 61-66.

~~~~~  
(上接第 137 页)

- [16] 肖晶晶,郭萍,霍炜洁,等. 反硝化微生物在污水脱氮中的研究及应用进展[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(12): 97-104.
- [17] Erich M S, Bekerie A, Duxbury J M. Activities of denitrifying enzymes in freshly sampled Soils[J]. Soil Science, 1984, 138: 25-32.
- [18] 于萍萍,张进忠,林存刚. 农田土壤  $N_2O$  排放过程影响因素研究进展[J]. 环境与可持续发展, 2006(5): 20-22.
- [19] 陈志刚,陈蕾,陈瀚翔,等. 水稻根际土壤反硝化酶活性对水分调控的响应[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(5): 21-25.
- [20] 侯爱新,陈冠雄,吴杰. 稻田  $CH_4$  和  $N_2O$  排放关系及其微生物学机理和一些影响因子[J]. 应用生态学报, 1999, 8(3): 270-274.
- [21] 焦艳,黄耀. 影响农田氧化亚氮排放过程的土壤因素[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(4): 457-466.
- [22] 聂斌,李文刚,江丽华,等. 不同灌溉方式对设施番茄土壤剖面硝态氮分布及灌溉水分效率的影响[J]. 水土保持研究, 2012, 19(3): 102-107.
- [23] Seitzinger S P. Denitrification in freshwater and coastal marine ecosystems: Ecological and geochemical significance[J]. Limnology & Oceanography, 1988, 33(4): 702-724.
- [24] 陈哲,袁红朝,吴金水,等. 长期施肥制度对稻田土壤反硝化细菌群落活性和结构的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(11): 5923-5929.
- [25] 王东启,陈振楼,王军,等. 夏季长江河口潮间带反硝化作用和  $N_2O$  的排放与吸收[J]. 地球化学, 2006, 35(2): 271-279.
- [26] 邹国元,张福锁. 根际反硝化作用与  $N_2O$  释放[J]. 中国农业大学学报, 2002, 7(1): 77-82.
- [27] Well R, Höper H, Mehranfar O, et al. Denitrification in the saturated zone of hydromorphic soils: Laboratory measurement, regulating factors and stochastic modeling[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2005, 37(10): 1822-1836.
- [28] Tiedje J M. Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium[M]// Zehnder A J B. Environmental Microbiology of Anaerobes. New York: John Wiley and Sons Ltd., 1988: 179-244.
- [29] Bakken L R. Denitrification under different cultivated plants: Effects of soil moisture tension, nitrate concentration, and photosynthetic activity[J]. Biol. Fert. Soil, 1988, 6: 271-278.