

气候变暖对宁夏引黄灌区土壤盐分及其灌水量的影响

肖国举¹, 张强², 李裕², 张峰举¹, 王润元², 罗成科¹

(1. 宁夏大学新技术应用研究开发中心, 银川 750021;

2. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 兰州 730020)

摘要: 气候变暖加剧了土壤水分蒸发, 带动土壤盐分向上移动, 引起土壤盐分增加, 导致土壤盐碱危害加剧。采用近 35 a 来的土壤盐分定位观测资料和气象资料, 研究气候变暖对宁夏引黄灌区土壤盐分变化的影响。研究结果表明: 近 35 a 随着全球变暖, 宁夏引黄灌区土壤全盐含量呈明显的增加趋势, 轻盐化土壤、中盐化土壤和重盐化土壤全盐质量分数分别增加 0.08、0.13 和 0.19 g/kg; 当温度增加 0.5~3.0℃时, 宁夏引黄灌区轻盐化土壤、中盐化土壤和重盐化土壤淋洗土壤增加盐分所需的灌水量分别增加 8.2%~9.1%、8.2%~8.7%和 8.3%~8.8%, 总灌水量增加 1.29~1.40 亿 m³。

关键词: 气候变化, 土壤, 灌溉, 土壤盐分, 盐化土壤

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2010.06.002

中图分类号: S151+.23, S152.7

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2010)-06-0007-07

肖国举, 张强, 李裕, 等. 气候变暖对宁夏引黄灌区土壤盐分及其灌水量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 7-24.

Xiao Guoju, Zhang Qiang, Li Yu, et al. Impact of climatic warming on soil salinity and irrigation amount of Yellow River irrigation areas in Ningxia Hui Autonomous Region[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(6): 7-13. (in Chinese with English abstract)

0 引言

全球气候变化是人类迄今面临的最大的环境问题, 也是 21 世纪人类面临的最复杂的挑战之一^[1]。气候变化已对全球生态系统以及社会经济系统产生了明显影响, 并将继续造成深远而巨大的影响。政府间气候变化专业委员会 (IPCC, 2007)^[2]第四次评估报告指出, 近 100 a (1906-2005 年) 全球平均地表温度上升了 0.7℃。自 1850 年以来最暖的 12 个年份中有 11 个出现在近期的 1995-2006 年, 过去 50 a 升温率几乎是过去 100 a 的 2 倍^[3]。到 21 世纪末, 全球地表平均增温 1.1~6.4℃^[4-5]。

气候变化对土壤环境带来的不良影响已经显现^[6]。气候变暖加快了土壤有机碳矿化速率, 引起一系列土壤物理、化学和生物反应的变化^[7]; 气候变暖, 导致微生物对土壤有机质的分解加快, 从而加速了土壤养分的变化, 可能造成土壤肥力下降^[8]; 降雨量的变化使土壤微生物活动发生改变, 必然引起土壤养分和水分发生变化^[9]; 气候变暖使得土壤水分蒸发加剧, 带动了土壤盐分向上移动, 引起土壤盐分增加, 导致土壤盐渍化。

全球盐碱土壤面积约为 9.6 亿 hm², 中国约有 1.0

亿 hm²^[10]。黄河河套地区有灌溉农田 100 万 hm², 但 1/3 以上存在不同程度的土壤盐渍化问题。宁夏引黄灌区有耕地 42.21 万 hm², 其中盐化土壤面积 20.96 万 hm², 占耕地总面积的 49.7%^[11]。土壤盐渍化已经严重影响和制约该地区的生态环境和农业可持续发展。目前, 有关气候变化对土壤盐渍化影响的研究报道不多。我们以宁夏引黄灌区为例, 进行气候变暖对土壤盐分及其灌水量的影响研究。

1 研究区域概况

宁夏引黄灌区地处中温带干旱区, 属大陆性气候。其气候特征是干旱少雨, 日照充足, 蒸发强烈, 风大沙多。年平均气温 9.1℃, 年平均降水量 185 mm, 降雨主要集中在 7-9 月, 占全年降水量的 70%~80%, 年平均蒸发量 1 825 mm^[12]。

宁夏引黄灌区包括青铜峡、吴忠、灵武、永宁、银川、贺兰、平罗、惠农和石嘴山 9 个市 (县), 属黄河冲积和贺兰山洪积平原, 南起青铜峡, 北至石嘴山, 南北长 165 km, 东西宽 42~60 km, 总面积 7 790 km²。地势自西南向东北微倾, 海拔高度多在 1 100~1 150 m。黄河从南部青铜峡流入, 从北部石嘴山流出 (图 1)。主要的灌溉用水来自黄河, 农作物以水稻、小麦、玉米为主。

根据 2005 年宁夏土壤盐渍化调查资料, 宁夏引黄灌区盐化土壤面积 20.96 万 hm², 占耕地总面积的 49.7%。其中轻盐化土壤面积 9.42 万 hm², 中盐化土壤面积 6.41 万 hm², 重盐化土壤面积 5.13 万 hm² (表 1)。

收稿时间: 2009-10-19 修订时间: 2009-12-11

基金项目: 国家公益性 (气象) 行业科研专项 (GYHY200806021-05); 国家科技支撑计划 (2007BAC08B01); 国家自然科学基金重点项目 (40830957)
作者简介: 肖国举 (1972-), 男, 甘肃通渭人, 博士, 副研究员, 主要从事农业生态学、环境生态学等方面的教学与研究工作。银川 宁夏大学新技术应用研究开发中心, 750021。Email: xiaoguoju1972@163.com



图1 宁夏引黄灌区区域图

Fig.1 Regional map of the Yellow River irrigation areas in Ningxia Hui Autonomous Region

表1 宁夏引黄灌区盐化土壤面积

Table 1 Area of salty soil in the Yellow River irrigation areas in Ningxia Hui Autonomous Region

	盐化土壤		轻盐化土壤/ 万 hm ²	中轻盐化 土壤/万 hm ²	重盐化土壤/ 万 hm ²
	面积/ 万 hm ²	占耕地面积/ %			
青铜峡	0.81	14.1	0.34	0.22	0.21
吴忠	1.23	37.9	0.58	0.46	0.22
灵武	1.84	56	1.04	0.48	0.33
永宁	0.69	13.1	0.35	0.16	0.18
银川	3.02	45.3	1.58	0.87	0.57
贺兰	3.97	71.7	1.41	1.26	1.31
平罗	6.25	77.3	3.17	1.70	1.37
惠安	3.15	71.7	0.95	1.26	0.94
合计	20.96	49.7	9.42	6.41	5.13

2 材料与方法

2.1 资料来源

采用1973—2008年以来的宁夏引黄灌区土壤盐分定位观测资料和气象资料,研究气候变暖对宁夏引黄灌区土壤盐分的影响。根据盐化土壤分级标准,轻盐化土壤全盐质量分数为1.0~2.0 g/kg,中盐化土壤为2.0~3.0 g/kg,重盐化土壤为>3.0 g/kg^[13]。土壤盐分定位观测点设在西大滩盐碱地改良试验站。定位观测点地下水埋深1.5 m左右,土壤耕作层(20 cm)碱化度在5.6%~15.3%之间,总碱度在0.15~0.35 cmol/kg之间,pH值在7.5~8.6之间,全盐在1.0~4.6 g/kg之间。土壤属于黏壤土。

2.2 测定方法

土壤全盐测定采取烘干法。对采集的样品在室内自然风干,过1 mm筛备用,所有的土样均制备1:5土水比浸提液测定土壤全盐质量分数^[14]。

2.3 淋洗盐分灌水量计算

根据土壤盐分与淋洗水量之间的换算关系,可以计算土壤增加盐分所需要的淋洗水量,计算方法参考《土壤物理化学》^[15]。

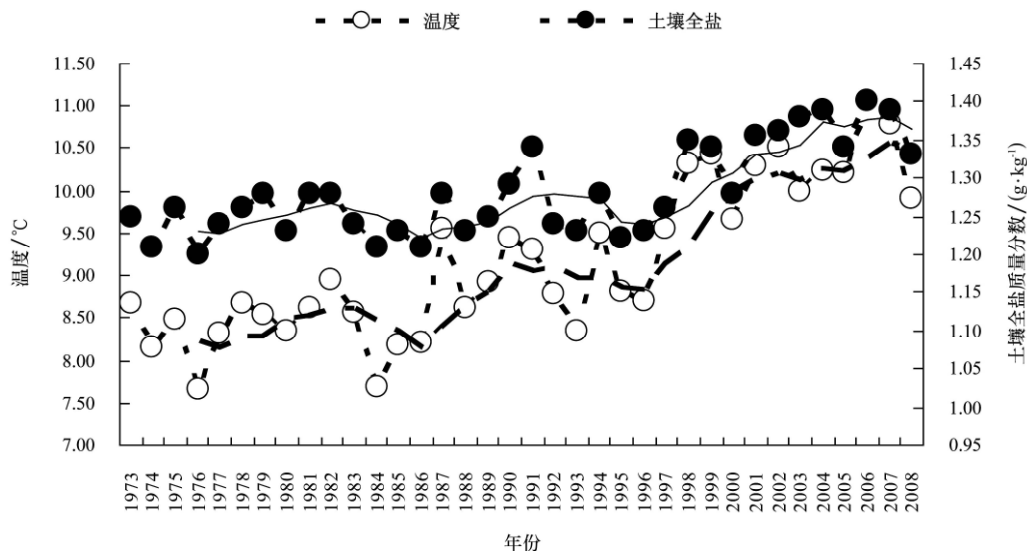
$$Dw = 100.05\lambda \cdot Ds(1 + \Delta C/Cr) \quad (1)$$

式中: Dw ——淋洗盐分灌水量, m³/hm²; Ds ——土壤改良深度,取土壤耕作层(20 cm); ΔC ——土壤增加盐分质量分数, g/kg; Cr ——初始土壤盐分质量分数, g/kg; λ ——系数,黏壤土取0.3。

3 结果与分析

3.1 温度升高与土壤盐分变化

从1973—2008年不同年份与土壤盐分和年平均温度之间的关系表明:宁夏引黄灌区在伴随年平均温度升高的同时,土壤全盐含量成明显的增加趋势(图2)。近35 a来,轻盐化土壤、中盐化土壤和重盐化土壤全盐分别增加了0.08、0.13和0.19 g/kg。



a. 轻盐化土壤

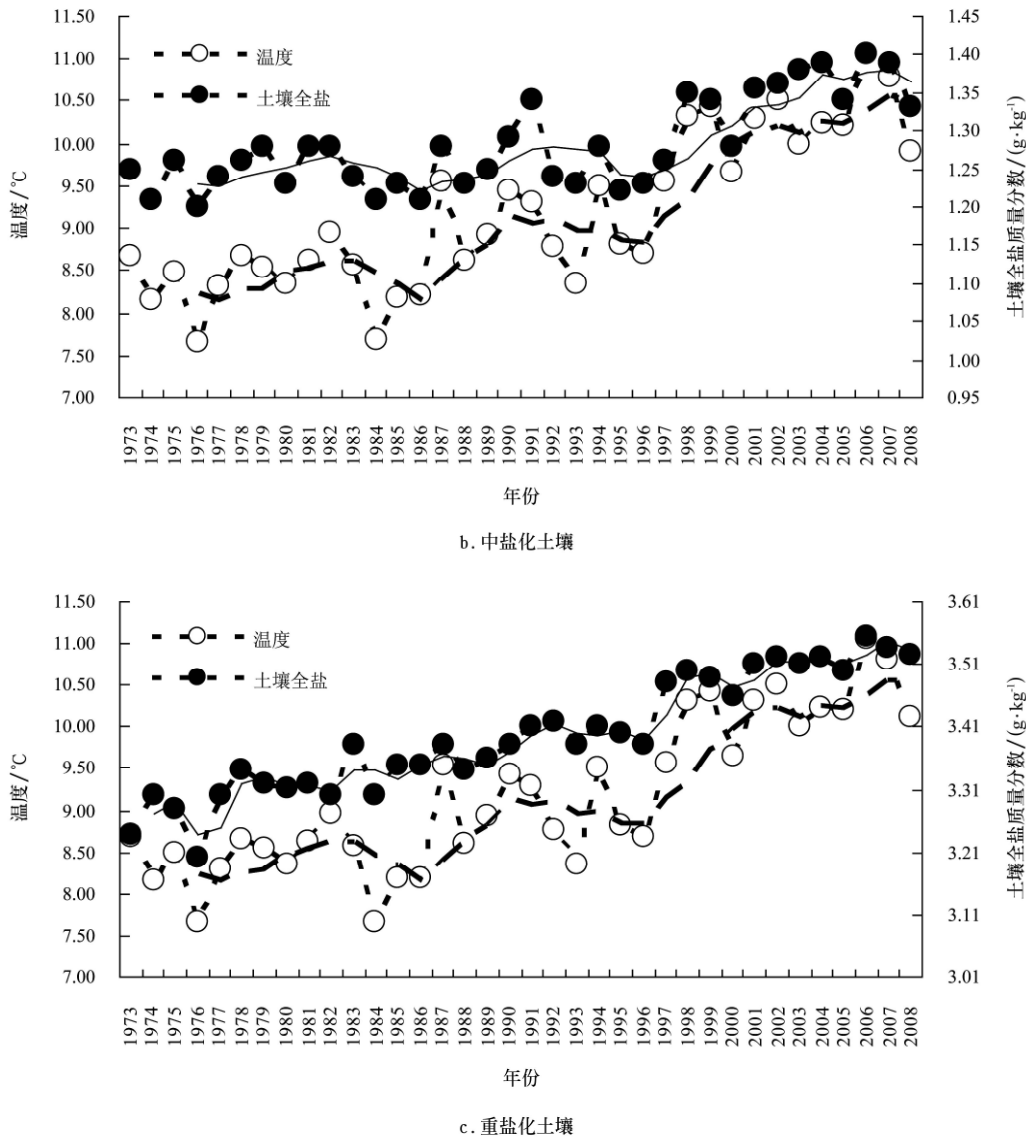


图 2 1973 - 2008 年年平均温度与轻盐化土壤、中盐化土壤和重盐化土壤全盐质量分数的变化趋势

Fig.2 Change trends of annual average temperature and total salt content of light, moderate and severe salty soil during 1973-2008

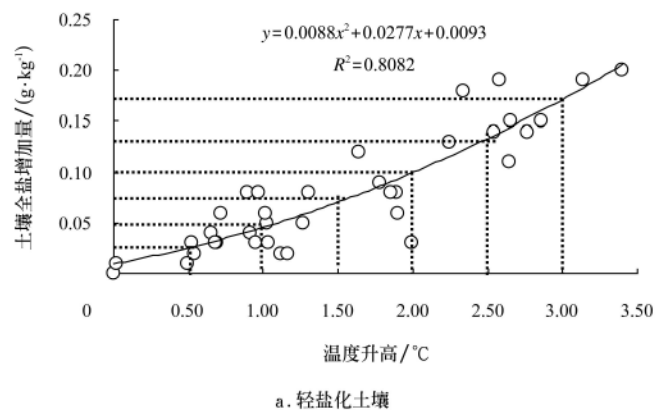
通过年平均温度升高和土壤全盐增加量之间的关系研究表明：近 35 a 来，宁夏引黄灌区盐化土壤全盐增加量随年平均温度升高的增加而增加（图 3）。轻盐化土壤，温度升高与土壤全盐增加量之间存在关系为 $Y=0.0088X^2+0.0277X+0.0093$ ($R^2=0.8082$)；中盐化土壤，温度升高与土壤全盐增加量之间存在关系为 $Y=0.0722X+0.0205$ ($R^2=0.8049$)；重盐化土壤，温度升高与土壤全盐增加量之间存在关系为 $Y=-0.0105X^2+0.1296X+0.0291$ ($R^2=0.8321$)。

通过年平均温度升高和土壤全盐增加量之间的模拟关系式，可以计算温度升高 0.5~3.0℃时，宁夏引黄灌区盐化土壤全盐增加量。当温度升高 0.5~3.0℃时，轻盐化土壤全盐增加量 0.03~0.17 g/kg、中盐化土壤全盐增加量 0.06~0.24 g/kg、重盐化土壤全盐增加量 0.09~0.32 g/kg（表 2）。

3.2 淋洗土壤增加盐分所需的灌水量

根据公式（1）计算淋洗土壤增加盐分所需的灌水量

（表 3）。结果表明：当温度增加 0.5~3.0℃时，轻盐化土壤、中盐化土壤和重盐化土壤淋洗土壤增加盐分所需的灌水量分别为 615.31~685.34、614.10~655.50 和 617.18~660.33 m³/hm²，灌水量分别增加 8.2%~9.1%、8.2%~8.7%和 8.3%~8.8%。



a. 轻盐化土壤

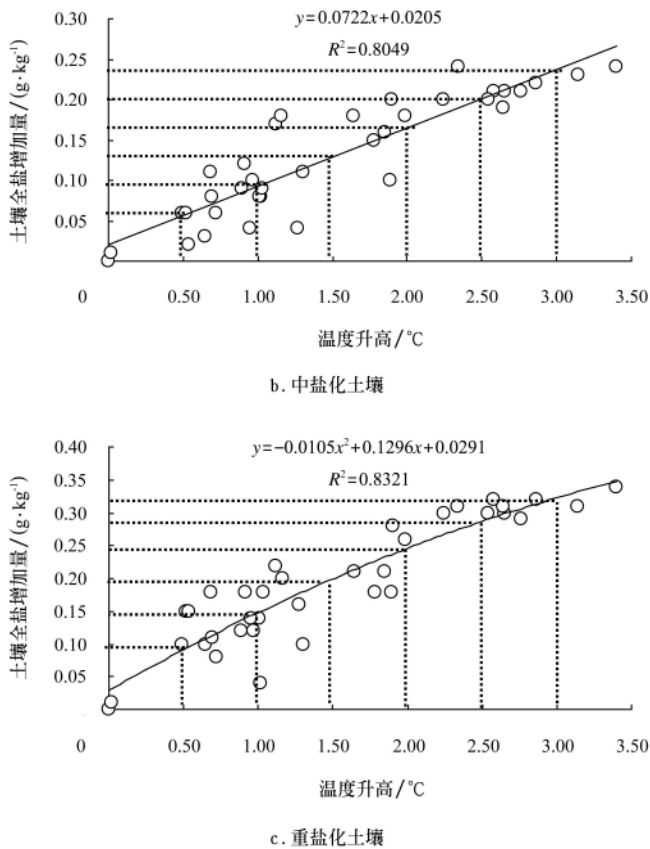


图3 温度升高与轻盐化土壤、中盐化土壤和重盐化土壤全盐增加量的关系

Fig.3 Relationship between temperature rising and the increase of total salt content of light, moderate and severe salty soil

表2 温度升高与盐化土壤全盐增加量

Table 2 Temperature rising and the increase of total salt of salty soil

温度升高/ °C	土壤全盐增加量/(g·kg ⁻¹)		
	轻盐化土壤	中盐化土壤	重盐化土壤
0.5	0.03	0.06	0.09
1.0	0.05	0.09	0.15
1.5	0.09	0.13	0.18
2.0	0.10	0.16	0.25
2.5	0.13	0.20	0.29
3.0	0.17	0.24	0.32

表3 温度升高增加土壤盐分所需的灌水量

Table 3 Irrigation amount needed soil salinity increase for temperature rising

温度 升高/ °C	轻盐化土壤		中盐化土壤		重盐化土壤	
	灌水量*/ (m ³ ·hm ⁻²)	灌水量 增加**/%	灌水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	灌水量 增加/%	灌水量/ (m ³ ·hm ⁻²)	灌水量 增加/%
0.5	615.31	8.2	614.10	8.2	617.18	8.3
1.0	625.31	8.4	621.00	8.3	628.43	8.4
1.5	645.32	8.6	630.20	8.4	634.07	8.5
2.0	650.33	8.7	637.10	8.5	647.20	8.6
2.5	665.33	8.9	643.30	8.6	654.70	8.7
3.0	685.34	9.1	655.50	8.7	660.33	8.8

注: * 1976 年年平均温度最低, 轻盐化土壤、中盐化土壤和重盐化土壤全盐质量分数最低, 分别为 1.20、2.61、3.20 g/kg, 计算淋洗盐分灌水量时可以认为初始土壤盐分浓度 (Cr); ** 参考宁夏引黄灌区种植春小麦的灌溉定额 7 500 m³/hm², 计算灌水量增加率。

根据宁夏引黄灌区盐化土壤调查资料, 轻盐化土壤、中盐化土壤和重盐化土壤面积分别为 9.42、6.41 和 5.13 万 hm²。当温度升高 0.5~3.0°C 时, 轻盐化土壤、中盐化土壤和重盐化土壤淋洗增加土壤盐份的灌水量分别为 0.58~0.64、0.39~0.42 和 0.32~0.34 亿 m³; 宁夏引黄灌区盐化土壤总的灌水量增加 1.29~1.40 亿 m³ (表 4)。

表4 宁夏引黄灌区需要淋洗温度升高引起盐分增加所需的灌水量

Table 4 Total irrigation amount needed soil salinity increase for temperature rising in Yellow river irrigation areas of Ningxia

温度 升高/ °C	轻盐化土壤		中盐化土壤		重盐化土壤		合计	
	面积/ 万 hm ²	水量/ 亿 m ³	面积/ 万 hm ²	水量/ 亿 m ³	面积/ 万 hm ²	水量/ 亿 m ³	面积/ 万 hm ²	水量/ 亿 m ³
0.5	9.42	0.58	6.41	0.39	5.13	0.32	20.96	1.29
1.0	9.42	0.59	6.41	0.40	5.13	0.32	20.96	1.31
1.5	9.42	0.61	6.41	0.40	5.13	0.33	20.96	1.34
2.0	9.42	0.61	6.41	0.41	5.13	0.33	20.96	1.35
2.5	9.42	0.63	6.41	0.41	5.13	0.34	20.96	1.38
3.0	9.42	0.64	6.41	0.42	5.13	0.34	20.96	1.40

4 讨论

温度是加速土壤有机碳矿化作用的主要驱动因子之一, 气候变暖加快了土壤有机碳矿化速率。全球气候变化不仅仅是温度的变化, 可能还伴随着降水的变化, 可能引起一系列土壤物理、化学和生物反应的变化。Alvarez 预测, 阿根廷因全球气候变化导致有机碳输入量减少而使土壤矿化速率增大, 出现土壤有机碳减少的趋势^[16]。大气 CO₂ 浓度升高对土壤有机碳矿化和积累的影响也受到关注。大气 CO₂ 浓度升高对土壤碳平衡的影响较复杂, 涉及到作物生物量的变化, 影响到进入土壤有机碳量的变化。Kwon 等^[17]研究表明, 在高 CO₂ 浓度下, 由于根系生物量增加, 且较容易为微生物利用, 土壤微生物趋向于从利用土壤有机碳向利用根系分泌有机碳转移。

在植物-土壤系统中, 土壤呼吸受植物类型、植物生长状况、植物生长阶段的影响, 土壤呼吸直接或间接地受温度和水分控制^[18]。同时, 在大气 CO₂ 浓度升高的背景下, 进行温度和水分对农田生态系统土壤呼吸控制程度的研究取得了显著的进展。农田生态系统是受人为影响最大的陆地生态系统, 稻-麦轮作是中国重要的水旱轮作农田生态系统^[19]。FACE (free air carbon dioxide enrichment) 试验研究结果表明, 土壤呼吸与基础土壤呼吸速率呈明显的季节变化, 与气温和土壤温度季节变化趋势基本一致, 呼吸速率与温度具有显著的相关性^[20]。基础土壤呼吸比作物下的土壤呼吸更易受温度影响, 土壤温度比气温能更好地解释土壤 CO₂ 排放的季节性变化。高 CO₂ 浓度环境中植物-土壤生态系统的土壤呼吸对温度增加敏感性的降低, 有利于减缓土壤碳分解损失的速度。结果有助于评价未来高 CO₂ 浓度气候变暖背景下植物-土壤系统下的农田生态系统土壤碳的固定潜力^[21]。

一般情况下, 农田生态系统的初级生产力在 CO₂ 浓度增加条件下将有所增加。同时, CO₂ 浓度升高将促进作

物光合产物流向根系, 从而提高农田生态系统地下部分对碳的固定以及植物根系对水分的吸收^[22]。地下部分碳汇潜力的加强可导致农田生态系统对大气 CO₂ 的永久固定。研究表明, 大气 CO₂ 浓度升高对农田土壤中的细菌数量有一定的影响。增加 CO₂ 浓度对土壤呼吸有促进作用, 主要是由于 CO₂ 浓度升高可促进土壤有机碳的输入, 为土壤微生物提供更多的可降解底物, 促进微生物活动, 因而增强了土壤的呼吸作用^[23-24]。

研究气候变化对土壤养分的影响是一个热点问题。有研究表明, 温度升高将促使土壤有机质分解, 导致土壤肥力迅速下降。庞奖励等^[25]通过对岐山黄土 Pb、Cu、Zn、Cd、Mn 元素含量磁化率及粒度的研究表明, 黄土母质在分化成土壤过程中, 分化程度、植被的发育程度与当地平均降雨量和气温有关。土壤温度升高和降雨量的变化使土壤微生物活动发生改变, 必然引起土壤养分发生变化。气候变暖, 将导致微生物对土壤有机质的分解加快, 从而加速了土壤养分的变化, 可能造成土壤肥力下降。但是, 高 CO₂ 浓度使土壤中碳的储存量增加, 豆科作物的固氮能力加强。对大部分分布广泛的土壤来讲, CO₂ 浓度增加对土壤的影响是积极的, 引起土壤肥力的提高和土壤物理性状的改善^[26-27]。

随着人们对气候变化和水资源短缺问题的高度关注, 目前对土壤水分的研究较为广泛。20 世纪 90 年代以后, 国内外有关土壤水分蒸发变化的研究主要集中在变化趋势与变化原因两个方面。Hulme 等^[28]认为全球气温升高将导致潜在蒸发 (PET) 增加。但全球大部地区潜在蒸发和蒸发皿观测的蒸发量都呈减少趋势, 而引起减少的原因则各不相同。如 Peterson 等^[29]指出云量增加 (即辐射减少) 造成美国和前苏联蒸发量下降。Chattopadhyay 等^[30]认为相对湿度增加和辐射减少是印度蒸发皿蒸发和潜在蒸发减少的主要因素。Roderick 等^[31-32]发现澳大利亚 1970—2002 年和新西兰自 20 世纪 70 年代以来的蒸发皿蒸发量变化与北半球相似, 即总体呈下降趋势, 并认为过去 50 a 蒸发皿蒸发下降是由于大范围云量和气溶胶浓度增加而造成的。Cohen 等^[33]发现以色列 1964—1998 年的实际蒸发是增加的, 而且出现在干燥的夏半年, 但参考作物蒸散没有明显的变化, 其原因是影响蒸发的动力因素的变化, 即水汽压差和风速增加。谢贤群等^[34]分析了中国北方近 50 a 潜在蒸发的变化, 发现潜在蒸散和蒸发皿蒸发呈波动下降趋势, 日照百分率、风速下降和湿度增加影响了蒸发的变化。

气候变暖伴随蒸发加剧, 导致北方一些地区土壤盐渍化, 西北地区由于盐碱危害加重, 至少损失耕地 $9.6 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ^[35]。盐碱土壤中的作物比非盐碱土壤中的作物需要消耗更多的能量从土壤中吸取水分或进行作物细胞内部的生物化学调整, 因此根区土壤过多的盐分总的来说会降低作物的生长速率和作物产量。盐分在土壤中的存在降低了土壤的渗透势, 从而减小了作物根系内外部的的水势差, 降低了土壤水分的可利用性。当土壤中如果某些离子浓度或活度过大, 将会引起作物营养元素的比例失调或缺乏。在许多盐碱土中, Na⁺或 Cl⁻等离子的浓度过

高, 相对于其他离子的比例相当大, 从而会导致一些低浓度营养元素的缺乏。高的 Na⁺浓度可引起钙和镁元素的缺乏, Cl⁻和 SO₄²⁻大量存在可减少作物对 NO₃⁻的吸收^[15]。

5 结 论

研究采用 35 a 来土壤盐分定位观测和气象资料, 进行气候变暖对宁夏引黄灌区土壤盐分变化及其灌水量的影响研究。结果表明: 近 35 a 来, 宁夏引黄灌区伴随年平均温度升高的同时, 土壤全盐质量分数呈明显的增加趋势。轻盐化土壤、中盐化土壤和重盐化土壤全盐质量分数分别增加了 0.08、0.13 和 0.19 g/kg; 当温度增加 0.5~3.0℃时, 轻盐化土壤、中盐化土壤和重盐化土壤淋洗土壤增加盐分所需的灌水量分别为 615.31~685.34、614.10~655.50 和 617.18~660.33 m³/hm², 灌水量分别增加 8.2%~9.1%、8.2%~8.7%和 8.3%~8.8%。宁夏引黄灌区淋洗由于温度升高 0.5~3.0℃引起土壤盐分增加所需的灌水量为 1.29~1.40 亿 m³。

[参 考 文 献]

- [1] Long S P, Elizabeth A A, Andrew D B L, et al. Food for thought: Lower-than-expected crop yield stimulation with rising CO₂ concentrations[J]. *Science*, 2006, 30: 1918—1921.
- [2] IPCC. Summary for Policymakers of Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [3] Washington D C. National Research Council of the National Academies. Surface Temperature Reconstructions for the Last 2000 Years[M]. The National Academies Press, 2006.
- [4] 林而达, 许吟隆, 蒋金荷, 等. 气候变化国家评估报告(II): 气候变化的影响与适应[J]. *气候变化研究进展*, 2006, 2(2): 51—56.
Lin Erda, Xu Yinlong, Jiang Jinhe, et al. National assessment report of climate change (II): Climate change impacts and adaptation[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2006, 2(2): 51—56. (in Chinese with English abstract)
- [5] 秦大河, 陈振林, 罗勇, 等. 气候变化科学的最新认知[J]. *气候变化研究进展*, 2007, 3(2): 63—73.
Qin Dahe, Chen Zhenlin, Luo Yong, et al. Updated understanding of climate change sciences[J]. *Advances in Climate Change Research*, 2007, 3(2): 63—73. (in Chinese with English abstract)
- [6] Tubiello F N, Amthor J S, Boote K J, et al. Crop response to elevated CO₂ and world food supply[J]. *European Journal of Agronomy*, 2007, 26: 215—223.
- [7] Wang R Y, Zhang Q. Response of corn to climate warming in arid areas in Northwest China[J]. *Acta Botanica Sinica*, 2004, 46 (12): 1387—1392.
- [8] 肖国举, 张强, 王静. 全球气候变化对农业生态系统的影响研究进展[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(8): 1877—1885.
Xiao Guoju, Zhang Qiang, Wang Jing. Impact of global climate change on agro-ecosystem: A review[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(8): 1877—1885. (in

- Chinese with English abstract)
- [9] 周涛, 史培军, 王绍强. 气候变化及人类活动对中国土壤有机碳储量的影响[J]. 地理学报, 2003, 58(5): 727-734. Zhou Tao, Shi Peijun, Wang Shaoqiang. Impacts of climate change and human activities on soil carbon storage in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(5): 727-734. (in Chinese with English abstract)
- [10] 李彬, 王志春, 孙志高. 中国盐碱地资源与可持续利用研究[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 154-158. Li Bin, Wang Zhichun, Sun Zhigao. Resources and sustainable resource exploitation of salinized land in China[J]. Agricultural Research in the Arid Areas. 2005, 23 (2): 154-158. (in Chinese with English abstract)
- [11] 张源沛, 胡克林, 李保国, 等. 银川平原土壤盐分及盐渍土的空间分布格局[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 19-24. Zhang Yuanpei, Hu Kelin, Li Baoguo, et al. Spatial distribution pattern of soil salinity and saline soil in Yinchuan plain of China[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 19-24. (in Chinese with English abstract)
- [12] 张晓煜, 韩颖娟, 张磊, 等. 基于 GIS 的宁夏酿酒葡萄种植区划[J]. 农业工程学报, 2007, 23(10): 275-278. Zhang Xiaoyu, Huan Yingjuan, Zhang Lei, et al. Planting regionalization of wine grape in Ningxia using GIS[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(10): 275-278. (in Chinese with English abstract)
- [13] 邹滨, 董明辉, 杨令宾, 等. 松嫩平原西部土地盐碱化预测研究[J]. 自然资源学报, 2009, 24(6): 1022-1029. Zou Bin, Dong Minghui, Yang Lingbin, et al. Prediction of saline-alkalized land in Western Songnen Plain[J]. Journal of Nature Sources, 2009, 24(6): 1022-1029. (in Chinese with English abstract)
- [14] 谭军利, 康跃虎, 焦艳平, 等. 不同种植年限覆膜滴灌盐碱地土壤盐分离子分布特征[J]. 农业工程学报, 2008, 24(6): 59-63. Tan Junli, Kang Yuehu, Jiao Yanping, et al. Characteristics of soil salinity and salt ions distribution in salt-affected field under mulch-drip irrigation in different planting years[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(6): 59-63. (in Chinese with English abstract)
- [15] 李法虎. 土壤物理化学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [16] 刘玉学, 刘微, 吴伟祥, 等. 土壤生物质炭环境行为与环境效应[J]. 应用生态学报, 2009, 20(4): 977-982. Liu Yuxue, Liu Wei, Wu Weixiang, et al. Environmental behavior and effect of biomass-derived black carbon in soil: A review[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(4): 977-982. (in Chinese with English abstract)
- [17] Kwon S, Pignatello J J. Effect of natural organic substances on the surface and adsorptive properties of environmental black carbon (char): Pseudo pore blockage by model lipid components and its implications for N₂-probed surface properties of natural sorbents[J]. Environmental Science and Technology, 2005, 39: 7932-7939.
- [18] Keith H, Jacobsen L, Raison R J. Effects of soil phosphorous availability, temperature and moisture on soil respiration in Eucalyptus pauciflora forest[J]. Plant and Soil, 1997, 190(1): 127-141.
- [19] 黄建晔, 杨洪建, 杨连新. CO₂ 浓度增加(FACE)对水稻产量形成的影响及其与氮的互作效应[J]. 中国农业科学, 2004, 37(12): 1824-1830. Huang Jianye, Yang Hongjian, Yang Lianxin, et al. Effects of free-air CO₂ enrichment (FACE) on yield formation of rice (*Oryza sativa* L.) and its interaction with nitrogen[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(12): 1824-1830. (in Chinese with English abstract)
- [20] 潘根兴, 李恋卿, 郑聚锋, 等. 土壤碳循环研究及中国稻田土壤固碳研究的进展与问题[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 901-914. Pan Genxing, Li Lianqing, Zheng Jufeng, et al. Perspectives on cycling and sequestration of organic carbon in paddy soils of China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2008, 45(5): 901-914. (in Chinese with English abstract)
- [21] 寇太记, 苗艳芳, 庞静, 等. 农田土壤呼吸对大气 CO₂ 浓度升高的响应[J]. 生态环境, 2008, 17(4): 1667-1673. Kou Taiji, Miao Yanfang, Pang Jing, et al. Response of soil respiration in cropland to elevated atmospheric CO₂ concentration[J]. Ecology and Environment, 2008, 17(4): 1667-1673. (in Chinese with English abstract)
- [22] Jones C, McConnell C, Coleman K, et al. Global climate change and soil carbon stocks; predictions from two contrasting models for the turnover of organic carbon in soil[J]. Global Change Biology, 2005, 11: 154-166.
- [23] 刘天明, 李翠菊. 全球变暖对我国农田生态系统的影响初探[J]. 资源环境与发展, 2008, 9(4): 12-14. Liu Tianming, Li Chuiju. Impact of the global warming on the impact of China's agro-ecosystem[J]. Resources Environment and Development, 2008, 9(4): 12-14. (in Chinese with English abstract)
- [24] 徐小锋, 田汉勤, 万师强. 气候变暖对陆地生态系统碳循环的影响[J]. 植物生态学报, 2007, 31(2): 175-188. Xu Xiaofeng, Tian Hanqin, Wan Shiqiang. Climate warming impacts on carbon cycling in terrestrial ecosystems[J]. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(2): 175-188. (in Chinese with English abstract)
- [25] 庞奖励, 黄春长, 张治平. 陕西五里铺黄土微量元素组成与全新世气候不稳定性研究[J]. 中国沙漠, 2001, 21(2): 151-156. Pang Jiangli, Huang Chunchang, Zhang Zhangping. Trace elements and climatic change in the Loess-Paleosol Profile at Wulibu, Shaanxi Province[J]. Journal of Desert Research, 2001, 21(2): 151-156. (in Chinese with English abstract)
- [26] Xiao Guoju, Zhang Qiang, Xiong Youcai, et al. Effects of temperature increase on water use and total yields of crops in a pea-spring wheat-potato rotation system in semiarid regions of China[J]. Agric. Water Manage, 2007, 91: 86-91.
- [27] West T O, Six J. Considering the influence of sequestration duration and carbon saturation on estimates of soil carbon capacity[J]. Climatic Change, 2007, 80: 25-41.
- [28] Hulme M, Zhao Z C, Jiang T. Recent and future climate change in East Asia[J]. Int. J. Climato.1, 1994, 14: 637-658.

- [29] Peterson T C, Golubev V S, Groisman P Y. Evaporation losing its strength[J]. *Nature*, 1995, 377: 687 - 688.
- [30] Chattopadhyay N, Hulme M. Evaporation and potential evapotranspiration in India under conditions of recent and future climate change[J]. *Agri. For. Meteo*, 1997, 87: 55 - 73.
- [31] Roderick M L, Farquhar G D. Changes in Australian pan evaporation from 1970 to 2002[J]. *Int J Climatol*, 2004, 24: 1077 - 1090.
- [32] Roderick M L, Farquhar G D. Changes in New Zealand pan evaporation since the 1970s[J]. *Int J Climatol*, 2005, 25: 2031 - 2039.
- [33] Cohen S, Ianetz A, Stanhill G. Evaporative climate changes at Bet Dagen, Israel 1964-1998[J]. *Agri For Meteo*, 2002, 111: 83 - 91.
- [34] 谢贤群, 王菱. 中国北方近 50 年潜在蒸发的变化[J]. *自然资源学报*, 2007, 22(5): 683-691.
Xie Xianqun, Wang Ling. Changes of potential evaporation in Northern China over the past 50 years[J]. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(5): 683-691. (in Chinese with English abstract)
- [35] 宋秋洪, 千怀遂, 赖纯佳. 农业气候变化脆弱性评价研究进展[J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(24): 9646-9649.
Song Qiuhong, Qian Huishui, Lai Chunjia. Research progress on the vulnerability evaluation of agricultural climate changes[J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2008, 36(24): 9646-9649. (in Chinese with English abstract)

Impact of climatic warming on soil salinity and irrigation amount of Yellow River irrigation areas in Ningxia Hui Autonomous Region

Xiao Guoju¹, Zhang Qiang², Li Yu², Zhang Fengju¹, Wang Runyuan², Luo Chengke¹

(1. *New Technology Application Research and Development Center of Ningxia University, Yinchuan 750021;*

2. *Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Gansu Key Laboratory of Arid Climate Changes and Disaster Reduction, Lanzhou 730020, China*)

Abstract: Climatic warming has intensified soil moisture evaporation and led the soil salinity moving upward, which results in salinity increase and aggravated the harm of saline and alkaline of the soil. This paper has, on the basis of location observational data of soil salinity and meteorological data in the recent 35 years, researched the influence of climatic warming on soil salinity change of Yellow River irrigation areas in Ningxia Hui Autonomous Region. The result shows that the total soil salt content has been an increasing trend because of global climatic warming in the recent 35 years, and total salt content of light, moderate and severe salty soil has increased by 0.08 g/kg, 0.13 g/kg and 0.19 g/kg, respectively, in Yellow River irrigation areas in Ningxia Hui Autonomous Region. When the temperature increased by 0.5-3.0°C, the irrigation amount of light, moderate and severe salty soil has increased by 8.2%-9.1%, 8.2%-8.7% and 8.3-8.8%, respectively, and the total irrigation amount has been increased by 129-140 million m³.

Key words: climate change, soils, irrigation, soil salinity, salty soil