

DOI: 10.11766/trxb201405120229

# 滨海盐渍化土壤理化性质与小麦生产间的关系\*

谢文军<sup>1</sup> 张衍鹏<sup>1</sup> 张淼<sup>1,2</sup> 李蕊<sup>1,2</sup> 武兰芳<sup>3</sup> 欧阳竹<sup>3</sup>

(1 滨州学院分析测试中心, 山东滨州 256603)

(2 中国矿业大学(北京)恢复生态研究所, 北京 100083)

(3 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要** 为促进滨海区域粮食生产,以盐渍化麦田为研究对象,在测定土壤(0~20 cm)基本性质及小麦产量、生物量基础上,分析土壤肥力特征与小麦生产能力间的关系。结果表明,土壤含盐量与小麦产量、地上部生物量(生物量)呈极显著负相关( $p < 0.01$ ),其关系符合三次函数方程。若以 $4\ 500\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ 作为最低目标产量,土壤含盐量应在 $3.1\ \text{g}\ \text{kg}^{-1}$ 以下。土壤有机质含量与土壤含盐量呈显著负相关( $p < 0.05$ ),与小麦产量、生物量呈极显著正相关( $p < 0.01$ )。土壤有机质含量增加能够降低盐渍化程度,促进小麦生产。将直接相连的下层( $> 10\sim 20\ \text{cm}$ )与上(表)层( $0\sim 10\ \text{cm}$ )土壤含盐量比值作为抑盐效率( $E$ ),来评价有机质的抑盐作用,表层土壤有机质含量与 $E$ 符合二次函数方程,有机质含量超过 $19.1\ \text{g}\ \text{kg}^{-1}$ 时,抑盐效果显著,可以作为土壤肥力培育目标值。此外,提高土壤速效钾含量对小麦生产也具有显著促进作用。研究结果对研究区域及相似地区进行土壤肥力培育和粮食生产具有重要意义。

**关键词** 盐渍化土壤;小麦;含盐量;有机质;抑盐效率

**中图分类号** S141.4;S156.4 **文献标识码** A

随着中国人口增加,对粮食需求越来越大,粮食增产一直是举国上下十分关注的问题。当前,粮食单产处于缓慢增长时期,挖掘中低产田增产能力,扩大粮食种植面积,对于保障中国粮食总产持续稳定增长具有十分重要的意义<sup>[1]</sup>。利用盐渍(碱)化土壤进行小麦生产已有报道<sup>[2-4]</sup>,与种植其他作物相比,具有较好的经济效益和社会效益<sup>[3]</sup>。环渤海地区盐渍化土地资源丰富,现多为棉田或处于荒芜状态,有巨大的粮食生产潜能。在滨海盐渍化地区进行粮食生产,由于地下水埋浅,矿化度高,土壤盐渍化严重<sup>[5-6]</sup>,一方面要有抗逆耐盐的品种<sup>[7]</sup>,同时,又要培育相应的土壤肥力,以支撑作物生产能力<sup>[8-11]</sup>。盐渍化土壤特性已有较多报道<sup>[12-14]</sup>,但围绕小麦等重要粮食作物高效稳定生产的研究较少,如何进行盐渍化土壤培肥应是今后重点关注的问题。为此,以黄河三角洲地区典型滨海盐渍化麦田为研究对象,在分析盐渍化土壤特性基础上,探索土壤肥力特征与小麦生产能力之间的关

系,旨在为盐渍化区域小麦高效生产技术体系构建提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

以环渤海地区无棣、沾化县盐渍化麦田种植示范区为研究对象。该区域属温暖带潮湿大陆季风性气候,年平均降水量约 $600\ \text{mm}$ ,年蒸发量 $1\ 800\sim 2\ 000\ \text{mm}$ ,年平均气温 $12.5\ ^\circ\text{C}$ 。示范区总面积 $600\ \text{hm}^2$ ,地下水埋深 $0.8\sim 1.7\ \text{m}$ ,土壤质地属粉砂壤土,2012年以前为棉田,已进行棉花秸秆还田2年。小麦种植抗逆性强小偃60、小偃81、临麦2号等品种。10月中旬播种前,施用磷酸二铵 $600\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ ,微生物有机肥 $3\ 000\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ ,次年2月下旬、4月中旬,各施用尿素 $150\ \text{kg}\ \text{hm}^{-2}$ 一次。生长期间浇灌越冬水、拔节水、灌浆水各一次,并进行化学除草和病虫害防治。

\* 国家“十二五”科技支撑计划项目(2013BAD05B03)资助

作者简介:谢文军(1972—),男,山东滨州人,博士,副教授,主要从事土壤生态、盐渍化土壤改良方面的研究工作, E-mail: xwjeric@163.com

收稿日期: 2014-05-12; 收到修改稿日期: 2014-08-22

## 1.2 取样方法

2013年6月中旬,小麦收获前,结合地块的形状及大小,采用棋盘式采样的方法在无棣县盐渍化麦田种植示范区内选取29个点,沾化县示范区内选取12个点,共计41个采样点进行土壤主要理化性质及小麦生长情况分析。每个采样点取0~20 cm土壤,风干过筛,测定土壤含盐量(可溶盐总量)、pH、容重、有机质、速效氮、有效磷、速效钾含量;同时,在每个取样点,按0~10、>10~20 cm分层取样,测定不同土层土壤含盐量及有机质含量。对应土壤取样点,设1 m<sup>2</sup>样方,测定小麦产量、地上部生物量,用以估算研究区域小麦产量及生物量。

## 1.3 测定方法

土壤pH用水土比5:1( $w_{\text{水}}:w_{\text{土}}$ )溶液测定;土壤含盐量采用重量法测定;土壤容重采用环刀法测定;有机质采用重铬酸钾氧化-容量法测定;有效磷、速效钾分别采用钼蓝比色法和醋酸铵法测定<sup>[15]</sup>,速效氮采用2 mol L<sup>-1</sup>氯化钾提取,采用流动注射分析仪(AA3,德国SEAL公司)分析<sup>[16]</sup>。

## 1.4 数据处理

文中土壤理化性质是指0~20 cm土壤的基本性质,小麦生物量为小麦地上部生物量。根据土壤盐渍化状况和小麦生长表现,将土壤盐渍化程度分为5级:<2.0 g kg<sup>-1</sup>(I级)、≥2.0~3.0 g kg<sup>-1</sup>(II级)、≥3.0~3.5 g kg<sup>-1</sup>(III级)、≥3.5~4.0 g kg<sup>-1</sup>(IV级)、≥4.0 g kg<sup>-1</sup>(V级)。结合不同土壤层土壤含盐量变化,将土壤有机质分为4级:<15.0 g kg<sup>-1</sup>(I级)、≥15.0~17.0 g kg<sup>-1</sup>(II级)、≥17.0~

19.0 g kg<sup>-1</sup>(III级)、≥19.0 g kg<sup>-1</sup>(IV级)。为克服不同采样点土壤含盐量及地下水状况的差异,以抑盐效率 $E$ (其值为直接相连下层(>10~20 cm)与上(表)层(0~10 cm)土壤含盐量比值)来评价土壤有机质的抑盐效果。利用SPSS13.0软件进行数据统计处理。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤理化性质及小麦生长情况

研究区域土壤主要性质及小麦产量、生物量见表1。土壤含盐量为1.34~4.72 g kg<sup>-1</sup>,涵盖了不同盐渍化程度。有机质、速效氮平均含量分别为13.9 g kg<sup>-1</sup>和72.4 mg kg<sup>-1</sup>,中值分别为14.4 g kg<sup>-1</sup>和53.6 mg kg<sup>-1</sup>;土壤容重偏高,速效磷含量偏低;速效钾含量较高,这主要和滨海地区受海水入侵影响有关,符合滨海盐土土壤特征<sup>[17]</sup>。

小麦平均产量、生物量分别为4 650 kg hm<sup>-2</sup>和10.0 t hm<sup>-2</sup>,说明小麦品种有较好的耐盐能力。但随土壤盐渍化程度升高,小麦产量及生物量显著降低,最低产量、生物量分别为450和1 380 kg hm<sup>-2</sup>。总体看来,在滨海地区适宜的地块进行小麦生产能够取得较高的产量。

### 2.2 土壤理化性质与小麦生产能力的关系

相关分析表明(表2),土壤有机质含量与土壤含盐量呈显著负相关( $p < 0.05$ ),与土壤容重呈极显著负相关( $p < 0.01$ ),与小麦产量及生物量呈极显著正相关( $p < 0.01$ )。这表明土壤有机质含量增

表1 研究区域土壤理化性质、小麦产量及生物量

Table 1 Physicochemical properties of saline soil and wheat yield and biomass in the study area

	pH ( $w_{\text{水}}:w_{\text{土}}=1:5$ )	容重 Bulk density (g cm <sup>-3</sup> )	含盐量 Salinity (g kg <sup>-1</sup> )	有机质 Organic matter (g kg <sup>-1</sup> )	速效氮 Readily available N (mg kg <sup>-1</sup> )	有效磷 Available P (mg kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Readily available K (mg kg <sup>-1</sup> )	产量 Yield (kg hm <sup>-2</sup> )	生物量 Biomass (t hm <sup>-2</sup> )
平均值 Mean	8.47	1.31	2.69	13.9	72.4	21.6	681	4 650	10.0
中值 Median	8.47	1.28	2.54	14.4	53.6	19.5	671	4 905	9.84
最小值 Minimum	8.06	1.16	1.34	7.5	29.0	0.86	268	450	1.38
最大值 Maximum	8.88	1.51	4.72	20.2	301.0	120.7	1 974	7 140	21.34

加能够显著降低土壤含盐量、容重<sup>[18-20]</sup>,增加小麦产量、生物量,在提高盐渍化土壤生产能力方面发挥重要作用<sup>[21-24]</sup>。土壤速效钾含量与有机质含量呈极显著正相关( $p < 0.01$ ),主要由于研究区域土壤有机质提高主要源于秸秆还田,秸秆还田在提高土壤有机质同时,也显著增加了土壤速效钾含量<sup>[25]</sup>。土壤含盐量与小麦产量、生物量呈极显著负相关( $p < 0.01$ ),表明土壤盐渍化程度是限制小麦高效生产的主要因素<sup>[7,23]</sup>。同时,土壤速效氮含量与含盐量呈显著正相关( $p < 0.05$ ),与小麦产量、生物量呈显著负相关( $p < 0.05$ ),这可能由于土壤含盐量过高,小麦生长受到抑制,导致施用的氮素在

土壤中累积所致。速效钾含量与小麦产量、生物量呈极显著正相关( $p < 0.01$ ),通径分析表明,速效钾对产量的影响有 24% 是通过有机质来实现的,此外,钾本身能够降低钠毒害作用,增强作物的耐盐能力<sup>[9,23]</sup>,提高土壤速效钾含量对于盐渍化区域小麦增产具有显著促进作用。

土壤盐渍化是限制小麦生产的主要因素。当前生产条件下,在滨海盐渍化区域进行小麦生产应探索适宜的土壤盐渍化程度。不同盐渍化土壤小麦产量、生物量见图 1。由图 1 可以看出,土壤含盐量超过  $3.5 \text{ g kg}^{-1}$  时,小麦产量、生物量大幅下降,低于 I 级 ( $< 2.0 \text{ g kg}^{-1}$ ) 水平的 46% 和 41%。

表 2 土壤理化性质小麦产量及生物量间相关分析

Table 2 Correlation analysis of soil physicochemical properties with wheat yield and biomass

	pH	容重 Bulk density	含盐量 Salinity	有机质 Organic matter	速效氮 Readily available N	有效磷 Available P	速效钾 Readily available K	产量 Yield
容重 Bulk density	-0.043							
含盐量 Salinity	-0.158	0.262						
有机质 Organic matter	-0.088	-0.766 **	-0.339 *					
速效氮 Readily available N	-0.267	0.063	0.461 *	-0.170				
有效磷 Available P	-0.272	-0.286	-0.102	0.199	0.368 *			
速效钾 Readily available K	0.195	-0.636 **	-0.369 *	0.632 **	-0.237	0.183		
产量 Yield	0.257	-0.652 **	-0.529 **	0.698 **	-0.309 *	0.158	0.798 **	
生物量 Biomass	0.293	-0.588 **	-0.531 **	0.637 **	-0.316 *	0.123	0.762 **	0.989 **

注: \* 显著水平( $p < 0.05$ ), \*\* 极显著水平( $p < 0.01$ ) Note: \* significant level at  $p < 0.05$ , \*\* significant level at  $p < 0.01$

经回归分析发现,小麦产量与土壤含盐量符合三次函数方程:

$$Y = 5590 + 291.2X^2 - 130.6X^3 \quad (R^2 = 0.979) \quad (1)$$

式中, $Y$  为小麦产量,  $\text{kg hm}^{-2}$ ;  $X$  为土壤含盐量,  $\text{g kg}^{-1}$ 。关于作物生产与土壤盐渍化程度的模型较多<sup>[21,23,26]</sup>,Tripathi 和 Pal 响应模型<sup>[27]</sup>认为灌溉水盐度与谷类产量符合一元二次方程,与本文研究结果相近。但影响作物产量因素很多,应用该方程时,应综合考虑作物耐盐能力、环境条件等因素<sup>[23]</sup>。若以  $4500 \text{ kg hm}^{-2}$  作为小麦在盐渍化区域的最低目标产量,在研究区域生产条件下,土壤含盐量应在  $3.1 \text{ g kg}^{-1}$  以下。因此,现有生产条件下,土壤含盐量为  $3.1 \text{ g kg}^{-1}$  可作为在盐渍化区域进行小麦生产的临界值。

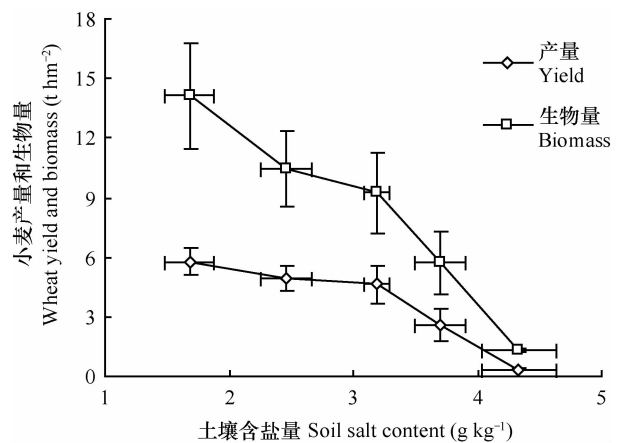


图 1 不同盐渍化土壤小麦产量和生物量

Fig. 1 Wheat yield and biomass in soils different in salinity

### 2.3 土壤有机质抑盐效率分析

滨海地区,地下水埋深浅,洗盐与返盐过程反复进行,盐渍化土壤改良难度大,通过培育土壤肥力降低耕层土壤含盐量,是一种可行的盐渍化土壤改良途径<sup>[11,28]</sup>。土壤有机质与土壤容重和毛管空隙等紧密相关,是肥力抑盐作用的核心<sup>[11,18,20,28]</sup>。其抑盐的机理是土壤有机质含量增加,土壤容重降低,非毛管空隙增加,而毛管空隙降低,当地下水随毛管引力上升至有机质含量高的土层时,毛管断裂,水只能以气态形式向上运行,而可溶性盐分则滞留在液态水部位,进而减少了盐在表层的聚集<sup>[18,20]</sup>。此外,有机质还能通过协调激素平衡来降低盐胁迫给植物带来的伤害,提高耐盐能力<sup>[24]</sup>。

有机质抑盐效果随含量的增加而增加,但滨海盐渍化地区有机质抑盐的具体有效值至今未见报道。刘思义和魏由庆<sup>[18]</sup>通过室内试验认为有机质显著发挥作用的临界值应为  $15 \text{ g kg}^{-1}$ 。经相关分析发现, $E$  与表层土壤有机质含量呈极显著正相关 ( $r = 0.607, p < 0.01$ ),其与  $E$  间关系见图 2。

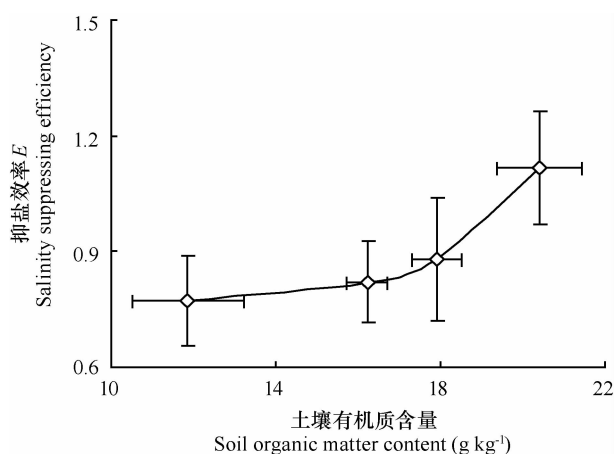


图2 土壤有机质含量对抑盐效率的影响  
Fig. 2 Effect of soil organic matter on soil salinity

回归分析表明, $E$  与表层土壤有机质间关系符合二次函数方程:

$$E = 2.163 - 0.208Z + 0.0077Z^2 \quad (R^2 = 0.992) \quad (2)$$

式中, $E$  为抑盐效率; $Z$  为表层土壤有机质含量,  $\text{g kg}^{-1}$ 。当  $E = 1$  时,表明土壤下层盐分没有向表层聚集,此时,有机质含量为  $19.1 \text{ g kg}^{-1}$ 。因而,在田间条件下,表层土壤有机质含量超过  $19.1 \text{ g kg}^{-1}$  时,能够很好抑制下层土壤盐分向表层积聚。采用肥力抑盐的方法促进滨海区域小麦生产,应研发土壤有机质含量快速增加的方法,尽快使其提升至

$19.1 \text{ g kg}^{-1}$  以上,以发挥抑盐作用。但有机质抑盐作用的发挥与土壤质地、地下水埋深等有密切关系<sup>[18,29-30]</sup>,本研究所得到的有机质含量临界值在不同质地、地下水埋深的盐渍化区域会有所改变,但在研究区域及相似区域可以作为土壤肥力调控的目标值,具有重要的指导意义。

### 3 结 论

在滨海盐渍化地区进行小麦生产,研究结果表明主要限制因子是土壤盐渍化程度,土壤 N、P 养分不是影响产量的首要因子,速效钾含量对小麦增产具有极显著作用。若小麦最低目标产量为  $4500 \text{ kg hm}^{-2}$ ,在现有生产技术条件下,土壤含盐量应控制在  $3.1 \text{ g kg}^{-1}$  以下。增加土壤有机质含量能够显著降低土壤含盐量,是滨海盐渍化地区进行粮食生产的重要措施;抑盐效率是评价有机质抑盐能力的有效指标,研究区域表层土壤有机质含量超过  $19.1 \text{ g kg}^{-1}$  时,抑盐作用显著,可以作为土壤肥力调控的目标值。

### 参 考 文 献

- [1] 李振声, 欧阳竹, 刘小京, 等. 建设“渤海粮仓”的科学依据——需求、潜力和途径. 中国科学院院刊, 2011, 26(4): 371—374. Li Z S, Ouyang Z, Liu X J, et al. Scientific basis for constructing the “Bohai Sea Granary”: Demands, potential and approaches (In Chinese). Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2011, 26(4): 371—374
- [2] 乔玉辉, 宇振荣. 河北省曲周盐渍化地区微咸水灌溉对土壤环境效应的影响. 农业工程学报, 2003, 19(2): 75—79. Qiao Y H, Yu Z R. Effect of brackish water on soil environment in saline area of Quzhou of Hebei Province (In Chinese). Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2003, 19(2): 75—79
- [3] 罗廷彬, 任崑. 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
- [4] 马洪波, 宁运旺, 陈杰, 等. 不同基因型小麦品种(系)的耐盐性评价. 麦类作物学报, 2012, 32(6): 1049—1054. Ma H B, Ning Y W, Chen J, et al. Evaluation on salt tolerance of different genotypes of wheat cultivars (strains) (In Chinese). Journal of Triticeae Crops, 2012, 32(6): 1049—1054
- [5] 管孝艳, 王少丽, 高占义, 等. 盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系. 生态学报, 2012, 32(4): 1202—1210. Guan X Y, Wang S L, Gao Z Y, et al. Spatio-temporal variability of soil salinity and its relationship with the depth to groundwater in salinization irrigation district (In Chi-

- nese). *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(4): 1202—1210
- [ 6 ] 潘玉英, 付腾飞, 赵战坤, 等. 海水入侵-地下水位变化-土壤盐渍化自动监测实验研究. *土壤通报*, 2012, 43(3): 571—576. Pan Y Y, Fu T F, Zhao Z K, et al. Automatic monitoring for seawater intrusion-groundwater level changes-soil salinization (In Chinese). *Chinese Journal of Soil Science*, 2012, 43(3): 571—576
- [ 7 ] 陈德明, 俞仁培, 杨劲松. 盐渍条件下小麦抗盐性的隶属函数值法评价. *土壤学报*, 2002, 39(3): 368—374. Chen D M, Yu R P, Yang J S. Evaluation of salt resistance of wheat with subordinate function value method (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 2002, 39(3): 368—374
- [ 8 ] 杨莉琳, 李金海. 我国盐渍化土壤的营养与施肥效应研究进展. *中国生态农业学报*, 2001, 9(2): 79—81. Yang L L, Li J H. Nutrition and fertilizer effect of saline soil in China (In Chinese). *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2001, 9(2): 79—81
- [ 9 ] Grattana S R, Grieve C M. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Horticulturae*, 1998, 78(1/4): 127—157
- [ 10 ] 李建国, 濮励杰, 朱明, 等. 土壤盐渍化研究现状及未来研究热点. *地理学报*, 2012, 67(9): 1233—1245. Li J G, Pu L J, Zhu M, et al. The present situation and hot issues in the salt-affected soil research (In Chinese). *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(9): 1233—1245
- [ 11 ] Tejada M, Garcia C, Gonzalez J L, et al. Use of organic amendment as a strategy for saline soil remediation: Influence on the physical, chemical and biological properties of soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38(6): 1413—1421
- [ 12 ] 姚荣江, 杨劲松, 陈小兵, 等. 苏北海涂围垦区土壤质量模糊综合评价. *中国农业科学*, 2009, 42(6): 2019—2027. Yao R J, Yang J S, Chen X B, et al. Fuzzy synthetic evaluation of soil quality in coastal reclamation region of North Jiangsu Province (In Chinese). *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(6): 2019—2027
- [ 13 ] 张余良, 王正祥, 廉晓娟, 等. 滨海盐土灌水脱盐动态的土壤质地和水质差异性研究. *农业环境科学学报*, 2010, 29(3): 515—520. Zhang Y L, Wang Z X, Lian X J, et al. Desalting dynamic state diversity of coastal solonchak soils differed in soil texture and irrigated with varied water quality (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(3): 515—520
- [ 14 ] Yu J B, Li Y Z, Han G X, et al. The spatial distribution characteristics of soil salinity in coastal zone of the Yellow River Delta. *Environmental Earth Sciences*, 2013, DOI: 10.1007/s12665-013-2980-0
- [ 15 ] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. Lu R K. *Analytical methods for soil and agro-chemistry* (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000
- [ 16 ] 余冬立, 王凯荣, 谢小立, 等. 基于稻草还田的氮肥优化管理研究. *农业环境科学学报*, 2006, 25(6): 1547—1553. She D L, Wang K R, Xie X L, et al. Optimized fertilizer N management based on rice straw incorporation (In Chinese). *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25(6): 1547—1553
- [ 17 ] 山东省土壤肥料工作站. *山东土壤*. 北京: 中国农业出版社, 1994. Soil & Fertilizer Work Station of Shandong Province. *Soils of Shandong Province* (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1994
- [ 18 ] 刘思义, 魏由庆. 马颊河流域影响土壤盐渍化的几个因素的研究. *土壤学报*, 1988, 25(2): 110—118. Liu S Y, Wei Y Q. Study on the factors affecting salinization of soils in the Majia River Valley (In Chinese). *Acta Pedologica Sinica*, 1988, 25(2): 110—118
- [ 19 ] 王婧, 逢焕成, 任天志, 等. 地膜覆盖与秸秆深埋对河套灌区盐渍土水盐运动的影响. *农业工程学报*, 2012, 28(15): 52—59. Wang J, Pang H C, Ren T Z, et al. Effect of plastic film mulching and straw buried on soil water-salt dynamic in Hetao Plain (In Chinese). *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2012, 28(15): 52—59
- [ 20 ] 张锐, 严慧峻, 魏由庆, 等. 有机肥在改良盐渍土中的作用. *土壤肥料*, 1997(4): 11—14. Zhang R, Yan H J, Wei Y Q, et al. The role of organic fertilizer in saline soil improvement (In Chinese). *Soil and Fertilizer Sciences*, 1997(4): 11—14
- [ 21 ] Katerjia N, van Hoornb J W, Hamdyc A, et al. Salinity effect on crop development and yield, analysis of salt tolerance according to several classification methods. *Agricultural Water Management*, 2003, 62(1): 37—66
- [ 22 ] 许建新, 孙文彦, 李燕青, 等. 秸秆还田对微咸水补灌的土壤盐分抑制及作物产量的影响. *中国土壤与肥料*, 2012(6): 29—33. Xu J X, Sun W Y, Li Y Q, et al. The effect of supplementary irrigation with slight salt water and straw returned to field on soil salt content dynamic and grain yield (In Chinese). *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2012(6): 29—33
- [ 23 ] 陈德明. 盐渍环境中的植物耐盐性及其影响因素. *土壤学进展*, 1994, 22(5): 22—29. Chen D M. Plant salt tolerance in saline condition and its influence factors (In Chinese). *Progress in Soil Science*, 1994, 22(5): 22—29
- [ 24 ] 刘海英, 崔长海, 赵倩, 等. 施用有机肥环境下盐胁迫小麦幼苗长势和内源激素的变化. *生态学报*, 2011, 31(15): 4215—4224. Liu H Y, Cui C H, Zhao Q, et al. Effects of organic fertilizer on growth and endogenous hormone contents of wheat seedlings under salt stress (In Chinese). *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(15): 4215—4224
- [ 25 ] 张亚丽, 吕家珑, 金继运, 等. 施肥和秸秆还田对土壤肥力质量及春小麦品质的影响. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(2): 307—314. Zhang Y L, Lü J L, Jin J Y, et al. Effects of chemical fertilizer and straw return on soil fertility and spring wheat quality (In Chinese). *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2012, 18(2): 307—314
- [ 26 ] Vermue E, Metselaar K, Zee S E A T M van der. Modeling of soil salinity and halophyte crop production. *Environmental and Experimental Botany*, 2013, 92: 186—196
- [ 27 ] Tripathi B R, Pal B. The quality of irrigation water and its effect on soil characteristics and on the performance of wheat. *Internation-*

- tional Symposium on Salt Affected Soils. Karnal: Central Soil Salinity Research Institute, 1980: 376—381
- [28] 严慧峻, 魏由庆, 刘继芳, 等. 洼涝盐渍土“淡化肥沃层”的培育与功能的研究. 土壤学报, 1994, 31(4): 413—421. Yan H J, Wei Y Q, Liu J F et al. Study on establishment and function of “desalinized fertile layers” in waterlogged and salt-affected soils (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1994, 31(4): 413—421
- [29] 孟繁华, 肖振华, 尤文瑞. 山东打渔张灌区粉砂壤土水盐动态的研究. 土壤肥料, 1992(5): 43—46. Meng F H, Xiao Z H, You W R. Water-salt dynamic analysis of Dayuzhang irrigation area in Shandong Province (In Chinese). Soil and Fertilizer Sciences, 1992(5): 43—46
- [30] 刘庆生, 刘高焕, 赵军. 土壤类型、质地和土地类型对土壤盐渍化水平的指示. 中国农学通报, 2008, 24(1): 297—300. Liu Q S, Liu G H, Zhao J. The indication function of soil type and soil texture and land type to soil salinization levels (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(1): 297—300

## RELATIONSHIPS BETWEEN SOIL PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES AND WHEAT PRODUCTION IN COASTAL SALINE SOIL

Xie Wenjun<sup>1</sup> Zhang Yanpeng<sup>1</sup> Zhang Miao<sup>1,2</sup> Li Rui<sup>1,2</sup> Wu Lanfang<sup>3</sup> Ouyang Zhu<sup>3</sup>

(1 Instrumental Analysis & Research Centre, Binzhou University, Binzhou, Shandong 256603, China)

(2 Institute of Restoration Ecology, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China)

(3 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract** To boost food production in coastal regions, a study was carried out to analyze relationships between soil properties and wheat production. For that end, soil samples were collected in the soil layer (0 ~ 20cm) of salinized wheat fields for determination of soil physicochemical properties, and wheat yield and biomass of the sampling sites were monitored. Results show that yield and biomass of wheat was significantly and negatively related to soil salt content ( $p < 0.01$ ), and the relationship fitted a cubic equation well. If 4 500 kg hm<sup>-2</sup> was set as the minimum target yield, salt content in the soil should be lowered below 3.1 g kg<sup>-1</sup>. Soil salt content was significantly and negatively related to organic matter content in the soil, while yield and biomass of the wheat crop was significantly and positively related to that ( $p < 0.01$ ), which suggests that increasing soil organic matter content can reduce soil salt content and boost wheat production. To evaluate of effect of soil organic matter suppressing soil salinity, ratio of soil salt content in the sub-surface soil layer (>10 ~ 20 cm) to that in the surface layer (0 ~ 10 cm) was used as salinity suppressing efficiency ( $E$ ). The relationship between  $E$  and organic matter content in the surface soil fitted a quadratic functional equation well. The effect of organic matter on suppressing soil salinity became obvious, when soil organic matter content in the surface soil was increased up to or higher than 19.1 g kg<sup>-1</sup>, which can, therefore, be set as a target value for soil fertility building of saline soil. Besides, increasing soil readily available K content can significantly boost wheat production, too, in saline soil. In a word, the findings of this study are of great significance to soil building and grain production in the studied and similar regions.

**Key words** Saline soil; Wheat; Salt content; Organic matter; Salinity suppressing efficiency

(责任编辑:汪枫生)