

# 管理调控措施对土壤盐分分布和作物体内 盐分离子吸收的作用\*

刘春卿 杨劲松<sup>†</sup> 陈德明

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要** 通过盆栽试验,研究了不同管理调控措施包括施肥、灌溉、应用化学改良剂对盐渍土壤盐分分布和作物体内盐分离子吸收和分布的作用机制。结果表明,施用化学肥料可增大土壤电导率;灌溉量增加可降低土壤电导率;施用改良剂  $\text{CaSO}_4$  早期可引起土壤表层电导率升高,但到作物生长中、后期已与不施改良剂的相近。施肥、灌溉改善了作物生长条件,提高了作物的抗盐害能力。灌溉总量 375 mm、三天一次的灌溉方式在降低土体盐分浓度、抑制土壤碱化方面优于两天一次的灌溉方式。大麦具有将  $\text{Na}^+$  截留在茎中,从而减少  $\text{Na}^+$  对叶片伤害的功能。大麦茎和叶中的  $\text{Cl}^-$  含量都高于  $\text{K}^+$  和  $\text{Na}^+$  含量,显示较多的  $\text{Cl}^-$  通过根部向地上部运输。在增加植株中  $\text{K}^+$  含量、降低  $\text{Na}^+$  含量,减轻植株盐分离子胁迫方面改良剂表现出良好的调控效果。

**关键词** 盐渍土; 调控; 电导率; 离子吸收

中图分类号 S157.2 文献标识码 A

世界上存在着约占陆地面积 1/10 的盐渍土,并且多达一半的灌溉土地或多或少受到次生盐化和碱化的影响,严重地影响着现代农业的发展<sup>[1,2]</sup>。改良和利用大面积的盐渍土地资源,是解决当前粮食问题的重要措施。各种调控措施的应用可以通过对土体的水盐运移产生影响,改变土壤盐分的垂直分布特征,进而对作物生长产生影响,因此研究土壤盐分在不同调控措施下的迁移与分布特征和作物对盐分离子吸收具有重要的理论和现实意义。本试验采用温室盆栽试验,研究了不同的管理调控措施如

施肥、灌溉、应用化学改良剂对土壤盐分的动态和垂直分布规律的影响以及作物对盐分离子的吸收,为通过农业综合调控措施对土壤盐分进行调控、充分利用盐渍土资源、促进农业可持续性发展提供依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 供试土壤与作物

土壤采自江苏省东台县沿海滩涂垦区,为滨海潮土,质地是砂质壤土。其基本理化性质见表 1。供试作物为大麦。

表 1 供试土壤盐分离子组成

Table 1 Ion component of tested soil

pH	电导率 Electric conductivity ( $\text{dS m}^{-1}$ )	全盐量 Total salt ( $\text{g kg}^{-1}$ )	土壤盐分离子组成 Chemical composition of soil ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )							
			$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$
8.89	0.13	0.41	—	0.35	0.18	0.05	0.28	0.15	0.02	0.07

### 1.2 试验设计

本试验在中国科学院南京土壤研究所温室进行。采用内径 15 cm、高 18 cm 的瓷钵,土壤经自然风干、磨碎过 2 mm 筛,据试验要求加入  $\text{NaCl}$ 、化学

肥料和  $\text{CaSO}_4$ , 混匀装盆。每盆加蒸馏水使土壤含水量达田间持水量的 75%, 静置。

试验为完全方案设计。每个处理重复 3 次。每盆加入  $\text{NaCl}$  使土壤含盐量达到  $3.5 \text{ g kg}^{-1}$ 。试验处理如表 2。

\* 国家重点基础研究发展规划项目(G1999011803)资助

<sup>†</sup> 通讯作者

作者简介: 刘春卿(1970~),女,硕士生,主要从事土壤水盐动态及作物耐盐性研究

收稿日期: 2003-01-16; 收到修改稿日期: 2003-11-11

表 2 试验处理  
Table 2 Treatments of the experiment

处理编号 Treatment code	尿素 Urea (g pot <sup>-1</sup> )	磷酸二氢铵 Ammonium phosphate monobasic (g pot <sup>-1</sup> )	灌溉总量 Total quantity of irrigation (mm)	灌溉频度 Irrigation interval (d)	改良剂 CaSO <sub>4</sub> Amendment (g pot <sup>-1</sup> )
1	0	0	225	2	0
2	0	0	375	2	0
3	0	0	375	3	0
4	0	0	225	2	18.97
5	0	0	375	2	18.97
6	0	0	375	3	18.97
7	0.35	0.25	225	2	0
8	0.35	0.25	375	2	0
9	0.35	0.25	375	3	0
10	0.35	0.25	225	2	18.97
11	0.35	0.25	375	2	18.97
12	0.35	0.25	375	3	18.97
13	0.70	0.50	225	2	0
14	0.70	0.50	375	2	0
15	0.70	0.50	375	3	0
16	0.70	0.50	225	2	18.97
17	0.70	0.50	375	2	18.97
18	0.70	0.50	375	3	18.97

### 1.3 土壤盐分动态的监测与剖面盐分分布的测定

在试验盆钵中距土表 5 cm 深度处理设盐分传感器, 2~3 d 测定一次, 对试验期间瓷钵中土壤表层盐分的动态变化进行原位监测。大麦收获后, 随即分 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm 三层采土样, 风干, 混匀, 过 2 mm 筛, 用去除 CO<sub>2</sub> 的蒸馏水制备土壤浸提液(土水比 1:5), 震荡 5 min 后离心, 然后用电导仪和 pH 计测量。

### 1.4 植株样品分析方法

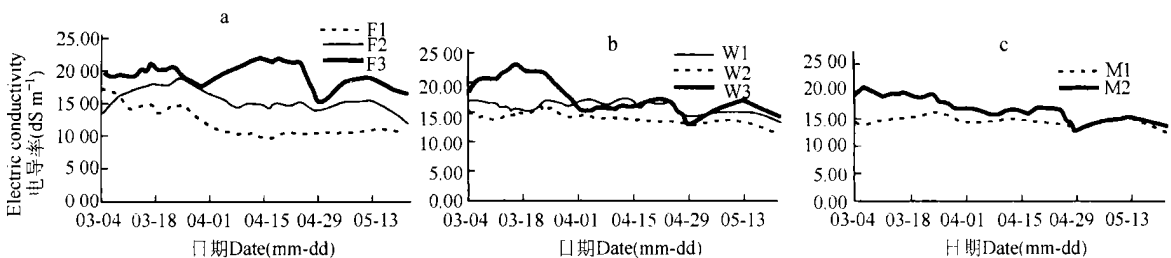
植株样品经烘干, 磨碎, 过筛。称取 0.5 g 加去离子水 50 ml 于沸水中煮沸 2 h, 冷却后定容, 搅拌, 过滤。用火焰光度计测定 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>; 用选择电极电

位法测定 Cl<sup>-</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同调控措施下土壤表层盐分的动态变化

土壤表层是作物根系分布生长的重要区域, 土壤表层盐分含量及其动态变化将对作物的生长产生重要影响。土壤水溶盐是强电解质, 其水溶液具有导电作用。导电能力的强弱, 可用电导率表示。在一定浓度范围内, 溶液的含盐量与电导率呈正相关: 含盐量愈高, 溶液的渗透压愈大, 电导率愈大, 如图 1。



a: 施肥处理 Fertilization; b: 灌溉处理 Irrigation; c: 改良剂处理 Soil amendment; F1: 不施肥 No fertilization; F2: 每盆施尿素 0.35 g、磷酸二氢铵 0.25 g Urea 0.35 g pot<sup>-1</sup> and ammonium phosphate monobasic 0.25 g pot<sup>-1</sup>; F3: 每盆施尿素 0.7 g、磷酸二氢铵 0.5 g Urea 0.7 g pot<sup>-1</sup> and ammonium phosphate monobasic 0.5 g pot<sup>-1</sup>; W1: 灌水总量 225 mm, 两天一次 Irrigation once every two days, 225 mm in total quantity; W2: 灌水总量 375 mm, 两天一次 Irrigation once every two days, 375 mm in total quantity; W3: 灌水总量 375 mm, 三天一次 Irrigation once every three days, 375 mm in total quantity; M1: 不施改良剂 No soil amendment; M2: 每盆施改良剂 18.97 g 18.97 g pot<sup>-1</sup> soil amendment

图 1 调控措施对土壤表层电导率的影响

Fig. 1 Effect of different treatments on electric conductivity of the surface soil layer

图1显示,无机肥用量的增加增大了土壤表层电导率。在作物的整个生长期,高肥(F3)处理组的电导率始终较其它两个处理组高。其原因是通过施肥加入土壤中的养分离子提高了土壤电解质浓度,在同等条件下,通过对流扩散或水动力弥散进入表层的盐离子较多,增加了土壤表层的电导率<sup>[3]</sup>。改良剂早期引起表层电导率的升高,到作物生长中、后期已与不施改良剂的相近。施用石膏的初期,土壤中的盐分浓度显著增加,导致表层电导率升高,随后,石膏中的钙离子逐渐置换土壤胶体表面吸附的钠离子<sup>[4,5]</sup>,同时钙离子可能逐渐为土壤颗粒吸附或固定,从而降低了土壤溶液中的钙离子浓度,表现为施用改良剂的土壤表层电导率逐渐与不施改良剂

的相近。

从不同灌溉处理的表层电导率曲线可以看到,灌水稀释了土壤盐分浓度,大量的灌水较之少量的灌水降低了表层电导率。在温室试验中,高量低频(W3)和高量高频(W2)的灌溉方式相比,高量低频的灌溉方式引起了土壤盐分更强烈的移动,导致表层电导率变化剧烈,使高量低频的灌溉方式对表层电导率的影响与低量高频(W1)相近。高量高频的灌溉方式因其频繁的灌溉促进了土壤表层盐分的下移,使表层电导率始终较另外两种灌溉方式低且平缓。

### 2.2 不同调控措施对土壤剖面盐分分布的影响

2.2.1 对土壤剖面电导率的影响 通过对各层土样的分析,得到土壤剖面盐分分布的规律如图2。

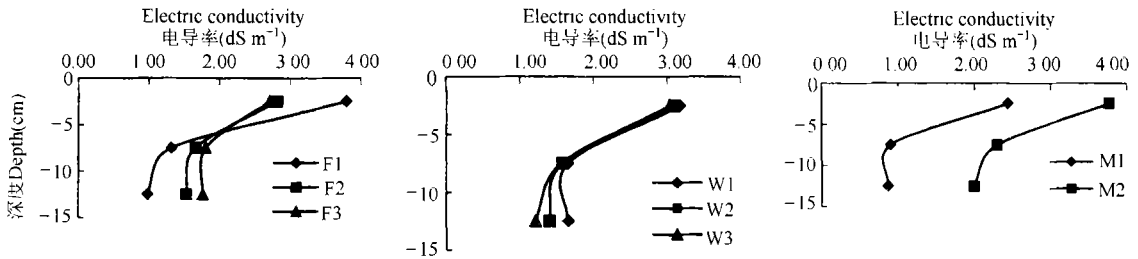


图2 调控措施对土壤剖面电导率的影响

Fig.2 Effect of different treatments on electric conductivity of soil profile

图2显示,尽管试验初期,无机肥用量的增加增大了土壤表层电导率,但试验结束时,无肥(F1)处理的0~5cm电导率反而高于低肥(F2)和高肥(F3),这是因为一定的覆盖度可以减少水分蒸发,而不施肥导致作物生长不良,地表覆盖度低,地表蒸发强烈,土体盐分向土表积聚明显,结果土壤0~5cm的盐分含量反而高于低肥和高肥处理,对作物的危害更大,又反过来不利于作物的生长。施肥虽然导致土壤表层电导率测值增加(图1a),但施肥促进了作物的生长,有利于抑制盐害。从灌溉处理看,不同的灌溉处理对试验土壤上层电导率的影响差别并不显著,下层土体的电导率依次是高量低频<高量高

频<低量高频。灌溉稀释了土体盐分浓度,降低了土体电导率。研究发现同样灌水量情况下,在降低土体盐分浓度方面,高量低频的灌溉方式优于高量高频的灌溉方式。对于改良剂调控,图2显示,改良剂的加入增加了整个土体的电导率。这主要是部分尚未作用完的石膏在制备浸提液震荡过程中溶于土壤水浸出液,引起电导率升高造成的。

2.2.2 对土壤剖面pH值的影响 土壤pH是影响作物生长的一个重要指标,大多数作物不能在强碱性土壤中生存,各种调控措施对土壤pH的影响是我们关心的一个问题。如图3。

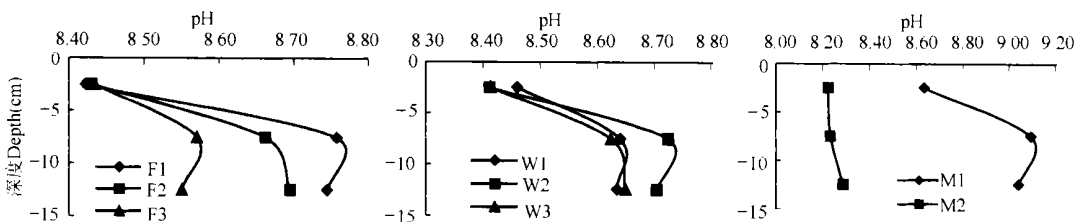


图3 调控措施对土壤剖面pH的作用

Fig.3 Effect of different treatments on pH of soil profile

图3显示, 施肥的增加降低了土壤的 pH。尿素是中速速效肥料, 磷酸二氢铵溶于水后呈酸性, 这些化学肥料的施入起到了增加土壤中中性盐分离子含量、中和土壤碱性的作用, 降低了土壤 pH。施肥量大, 土壤 pH 降低就多。对于灌溉处理, 频繁的干湿交替将促进土壤的碱化, 高量高频(W2)的灌溉方式由于灌水量大且频繁导致土壤碱化明显超过了其它处理。高量低频(W3)的灌溉方式因其灌溉频度低, 起到了一定的抑制碱化的作用。可见灌溉频度显著影响土壤的碱化。对于添加改良剂调控, CaSO<sub>4</sub> 的加入可显著降低土壤 pH。CaSO<sub>4</sub> 在降低土壤的 pH、改良碱土结构功能等方面的作用已为大量试验所证明<sup>[6]</sup>。

盐土的 pH 值一般小于 8.3, 碱土的 pH 值一般是 8.5~11。从测得的 pH 值看, 土壤 pH 值均在 8.0 以上, 试验土壤有碱化的倾向, 未加 CaSO<sub>4</sub> 的土壤

pH 值都超过了 8.5, 已经出现了碱化, 而加 CaSO<sub>4</sub> 的土壤 pH 值都小于 8.3, 显示了 CaSO<sub>4</sub> 抑制碱化的作用, 改善了土壤的通透性。

当今不良的灌溉方式和农田管理已经使多达一半的灌溉土地受到次生盐碱化的影响, 这一严重的问题应该引起人们足够的重视。

### 2.3 不同调控措施对植株体 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup> 的吸收与分布的作用

表3显示了植株对盐分离子的吸收与分布特征。由表3可见, 各处理大麦茎中的 Na<sup>+</sup> 浓度都高于叶中 Na<sup>+</sup> 浓度, 显示大麦将 Na<sup>+</sup> 截留在茎中, 从而减少对叶片的伤害, 保护叶片正常功能的作用。叶片中 K<sup>+</sup> 浓度和茎中 K<sup>+</sup> 浓度基本相当。K<sup>+</sup> 和 Na<sup>+</sup> 是两个互为竞争性的元素, 耐盐作物往往通过选择性吸收 K<sup>+</sup>, 提高 K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> 比来提高作物的抗盐性。

表3 植株体 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup> 的含量与分布

Table 3 K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> content and distribution in barley (mmol g<sup>-1</sup>)

处理编号 Treatment code	茎 Stem			叶 Leaf		
	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
1	0.26	0.91	1.31	0.24	0.80	1.83
2	0.26	1.14	1.51	0.35	0.89	1.88
3	0.24	1.25	1.63	0.30	0.93	1.92
4	0.27	1.08	1.25	0.26	0.71	1.78
5	0.31	1.06	1.42	0.47	0.73	1.68
6	0.35	1.05	1.34	0.41	0.73	1.78
7	0.45	0.84	1.25	0.44	0.62	1.85
8	0.50	0.81	1.36	0.56	0.63	1.87
9	0.50	0.86	1.23	0.53	0.74	1.99
10	0.40	0.85	1.21	0.40	0.73	1.96
11	0.61	0.57	1.05	0.56	0.50	1.57
12	0.75	0.76	1.34	0.65	0.56	1.76
13	0.44	1.04	1.50	0.48	0.81	1.74
14	0.49	0.95	1.36	0.46	0.68	1.71
15	0.61	0.99	1.60	0.53	0.68	1.63
16	0.56	0.96	1.58	0.49	0.65	1.64
17	0.75	0.93	1.62	0.63	0.56	1.78
18	0.86	0.73	1.44	0.65	0.48	1.64

各处理大麦叶中的 Cl<sup>-</sup> 含量均高于茎中的含量, 且茎和叶中的 Cl<sup>-</sup> 含量都高于 K<sup>+</sup> 和 Na<sup>+</sup> 含量, 显示较多的 Cl<sup>-</sup> 通过根部向地上部运输。

盐胁迫下叶肉阻力增加, 叶肉阻力增加的主要原因是离子浓度增加。盐胁迫下叶片中 Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>

浓度过高, 虽然 K<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 含量下降, 但阳离子总量明显升高。过量的 Cl<sup>-</sup> 渗入细胞后, 使原生质凝聚、叶绿素破坏, Cl<sup>-</sup> 浓度与光合抑制的相关关系 R<sup>2</sup>=0.926<sup>[7]</sup>, 因而减少盐离子特别是 Cl<sup>-</sup> 在光合细胞中积累, 有利于提高作物耐盐性。

表 4 不同管理调控措施对植株体 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup> 含量与分布作用的方差分析

Table 4 Effect of different regulatory measures on ion content and distribution in barley as is analyzed by the General Linear Model

方差来源 Source	平方和 Sum of squares			自由度 df			均方 Mean square			F 值 <sup>1)</sup> F value		
	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>
茎 Stem												
施肥 Fertilization	1.095	0.789	0.71	2	2	2	0.548	0.395	0.355	138.158**	50.481**	28.148**
灌溉 Irrigation	0.206	0.016	0.058	2	2	2	0.103	0.0078	0.029	25.975**	0.996	2.292
改良剂 Soil amendment	0.207	0.106	0.041	1	1	1	0.207	0.106	0.041	52.129**	13.533**	3.248
施肥 × 灌溉 Fertilization × Irrigation	0.0695	0.204	0.127	4	4	4	0.0174	0.0509	0.032	4.386**	6.517*	2.514
施肥 × 改良剂 Fertilization × Soil amendment	0.0559	0.0182	0.099	2	2	2	0.0280	0.0091	0.050	7.052**	1.167	3.934*
灌溉 × 改良剂 Irrigation × Soil amendment	0.0731	0.105	0.028	2	2	2	0.0366	0.0524	0.014	9.228**	6.705**	1.103
施肥 × 灌溉 × 改良剂 Fertilization × Irrigation × Soil amendment	0.0222	0.0862	0.290	4	4	4	0.0056	0.0216	0.072	1.402	2.757*	5.745**
误差 Error	0.143	0.281	0.454	36	36	36	0.0040	0.0078	0.013			
叶 Leaf												
施肥 Fertilization	0.452	0.312	0.21	2	2	2	0.226	0.156	0.105	53.092**	27.582**	3.558*
灌溉 Irrigation	0.190	0.0281	0.026	2	2	2	0.0949	0.0140	0.013	22.261**	2.483	0.448
改良剂 Soil amendment	0.0690	0.212	0.106	1	1	1	0.0690	0.212	0.106	16.188**	37.42**	3.595
施肥 × 灌溉 Fertilization × Irrigation	0.0277	0.0999	0.164	4	4	4	0.0069	0.0250	0.037	1.624	4.419**	1.239
施肥 × 改良剂 Fertilization × Soil amendment	0.0146	0.0232	0.048	2	2	2	0.0073	0.0116	0.024	1.718	2.048	0.818
灌溉 × 改良剂 Irrigation × Soil amendment	0.0341	0.0482	0.044	2	2	2	0.0171	0.0241	0.022	4.006*	4.267*	0.736
施肥 × 灌溉 × 改良剂 Fertilization × Irrigation × Soil amendment	0.0132	0.0405	0.143	4	4	4	0.0033	0.0101	0.036	0.774	1.792	1.209
误差 Error	0.153	0.204	1.064	36	36	36	0.0043	0.00565	0.030			

1) \*  $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$

由表 4 可见, 施肥、灌溉、应用改良剂都极显著地影响大麦茎和叶中的 K<sup>+</sup> 含量, 同时施肥 × 灌溉、施肥 × 改良剂、灌溉 × 改良剂的交互作用极显著地影响茎中的 K<sup>+</sup> 含量。施肥、改良剂、施肥 × 灌溉极显著地影响大麦茎和叶中的 Na<sup>+</sup> 含量, 而灌溉 × 改良剂极显著地影响茎中的 Na<sup>+</sup> 含量, 显著地影响叶

中的 Na<sup>+</sup> 含量, 施肥 × 灌溉 × 改良剂显著地影响茎中的 Na<sup>+</sup> 含量。

施肥和施肥 × 灌溉 × 改良剂极显著地影响大麦茎中的 Cl<sup>-</sup> 含量, 施肥 × 改良剂显著地影响大麦茎中的 Cl<sup>-</sup> 含量。仅施肥显著地影响叶中的 Cl<sup>-</sup> 含量。

表 5 不同管理调控措施对植株中  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Cl^-$  含量与分布作用的多重比较<sup>1)</sup>Table 5 Effect of different regulatory measures on ion content and distribution in barley as is analyzed by Duncan method( $mmol\ g^{-1}$ )

因素 Factor	茎 Stem			叶 Leaf		
	$K^+$	$Na^+$	$Cl^-$	$K^+$	$Na^+$	$Cl^-$
F3	0.618 aA	0.934 bB	1.516 aA	0.539 aA	0.644 bB	1.691 bA
F2	0.535 bB	0.784 cC	1.238 cC	0.527 aA	0.631 bB	1.832 aA
F1	0.283 cC	1.081 aA	1.411 bB	0.339 bB	0.798 aA	1.812 aA
W3	0.550 aA	0.942 aA	1.430 aA	0.514 aA	0.688 abA	1.786 aA
W2	0.487 bB	0.909 aA	1.386 abA	0.507 aA	0.665 bA	1.748 aA
W1	0.399 cC	0.948 aA	1.350 bA	0.385 bB	0.721 aA	1.801 aA

1) 不同小写字母表示差异达 5% 显著水平, 不同大写字母表示差异达 1% 显著水平 a, b, c are significantly different at the 5% level; A, B, C are significantly different at the 1% level

由表 5 可见, 不同施肥、灌溉处理显著影响大麦体内的  $K^+$ 、 $Na^+$  的含量和分布, 随施肥量的增加, 大麦茎中的  $K^+$  含量增加。  $K^+$  含量增加有助于交换茎中的  $Na^+$ , 减轻  $Na^+$  对作物的离子伤害, 有利于作物的生长。 F3 和 F2 处理比 F1 处理叶中的  $K^+$  含量增加, 但 F2 和 F3 两水平间并无显著差异。 作物体内过量地积累  $Na^+$  是盐渍土地上作物受害、甚至无法生长的主要原因, 因此降低作物体内的  $Na^+$  含量, 使之保持在一定范围是作物正常生长的重要前提。 施肥减少了大麦体内的  $Na^+$  含量, 其中 F2 处理使茎中的  $Na^+$  含量最少, 而在叶中 F2 和 F3 两个施肥水平间并无显著差异。

对灌溉处理, W3 处理茎和叶中  $K^+$  含量最多, W1 处理最少。 在茎中,  $K^+$  含量依次为  $W3 > W2 > W1$ , 在叶中 W3 和 W2 处理并无显著差别。 对于大麦体内的  $Na^+$  含量, 3 种灌溉处理的大麦茎中的  $Na^+$  含量并无显著差异。 叶中以 W1 处理  $Na^+$  含量最多, W2 处理最少。 显示灌水量增加有利于积累  $K^+$ 、降低作物体内  $Na^+$  的含量。

不添加改良剂时茎中  $K^+$ 、 $Na^+$  和叶中  $K^+$ 、 $Na^+$  含量分别为 0.42、0.98、0.43、0.75  $mmol\ g^{-1}$ ; 添加改良剂时分别为 0.54、0.89、0.50、0.63  $mmol\ g^{-1}$ 。 表现出良好的增加植株中  $K^+$  含量、降低  $Na^+$  含量, 减轻植株离子胁迫的调控效果。

施肥极显著地影响茎中的  $Cl^-$  含量, F3 处理的茎中含  $Cl^-$  最多, 叶中最少。 F2 处理的茎中含  $Cl^-$  最少, 叶中最多。 F1 处理的茎中含  $Cl^-$  介于 F2 和 F3 之间, 叶中与 F2 处理的  $Cl^-$  含量没有显著的差别, 含量较高。 显示 F3 处理有利于降低大麦叶片中的  $Cl^-$  含量。 这对光合系统的保护将起到积极的作用。

灌溉对茎中  $Cl^-$  含量有显著影响, W3 处理的大

麦茎中  $Cl^-$  含量最多, W1 处理的最少。 不同灌溉处理下叶中  $Cl^-$  含量没有显著差异。

不添加改良剂时, 茎和叶中  $Cl^-$  含量分别为 1.42  $mmol\ g^{-1}$  和 1.82  $mmol\ g^{-1}$ ; 添加改良剂时茎和叶中  $Cl^-$  含量分别为 1.36  $mmol\ g^{-1}$  和 1.73  $mmol\ g^{-1}$ , 分别减少了 4.2%、4.9%, 显示了改良剂对减少  $Cl^-$  吸收具有一定作用。

### 3 小 结

1) 施用化学肥料促进了作物的生长, 减少了地面蒸发, 因而有利于抑制盐害。 灌溉对盐分在土体中的分布具有良好的调控效果。 在降低土体盐分浓度、抑制土壤碱化方面, 灌溉总量 375 mm、三天一次的灌溉方式优于灌溉总量 375 mm、两天一次的灌溉方式。 改良剂施用早期引起土壤表层电导率的升高, 到作物生长的中、后期已与不施改良剂的相近。

2) 施肥显著降低了大麦体内的  $Na^+$  含量, 改良剂表现出良好的增加植株中  $K^+$  含量、降低  $Na^+$  含量, 减轻植株离子胁迫的调控效果。

3) 大麦具有将  $Na^+$  截留在茎中, 从而减少  $Na^+$  对叶片的伤害的功能。 大麦茎和叶中的  $Cl^-$  含量都高于  $K^+$  和  $Na^+$  含量, 显示较多的  $Cl^-$  通过根部向地上部运输。 改良剂对减少  $Cl^-$  吸收具有一定作用。

4) 施肥显著地影响大麦对  $K^+$ 、 $Na^+$ 、 $Cl^-$  的吸收, 灌溉显著地影响  $K^+$  的吸收, 改良剂对  $K^+$ 、 $Na^+$  的吸收也有显著影响。 各种调控措施的交互作用对大麦体内盐离子含量的影响各异。

### 参 考 文 献

- [1] Redouane C, Clive V, Atef H. Halophytes and Biosaline Agriculture. New York: Marcel Dekker, Inc., 1995
- [2] 陈德明, 杨劲松. 土壤盐渍环境与养分管理. 土壤学进展,

- 1995, 23(5): 7~ 15. Chen D M, Yang J S. Saline soil environment and nutrition management (In Chinese). Progress in Soil Science, 1995, 23(5): 7~ 15
- [ 3 ] 雷志栋, 杨诗秀, 谢森传. 土壤水动力学. 北京: 清华大学出版社, 1998. Lei Z D, Yang S X, Xie S C. Soil Hydraulics (In Chinese). Beijing: Qinghua University Press, 1998
- [ 4 ] 石万普. 不同物料改良碱化土壤作用的比较. 土壤学报, 1997, 34(2): 221~ 224. Shi W P. Comparison of the effects of different materials on the improvement of alkaline soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1997, 34(2): 221~ 224
- [ 5 ] 李焕珍, 张平原. 磷石灰改良盐渍土效果的研究. 土壤通报, 1994, 25(6): 248~ 251. Li H Z, Zhang P Y. Effects of calcium phosphate for the improvement of saline soil (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1994, 25(6): 248~ 251
- [ 6 ] 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. Yu R P, Yang D P, Shi W P, *et al.* Soil Alkalinization and Its Prevention and Control (In Chinese). Beijing: Chinese Agriculture Press, 1984
- [ 7 ] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学. 北京: 中国农业出版社, 1994. Liu Z Q, Zhang S C. Plant Resistance Physiology (In Chinese). Beijing: Chinese Agriculture Press, 1994

## EFFECT OF REGULATORY MEASURES ON DISTRIBUTION OF SOIL SALT AND IONIC UPTAKE BY CROP

Liu Chunqing Yang Jinsong Chen Deming

(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China)

**Abstract** Potexperiments were conducted in greenhouse on effects of regulatory measures including fertilization, irrigation, chemical soil amendment on distribution of soil salt and ionic uptake by crop. The results showed that fertilization increased electric conductivity of the surface soil. On the whole, electric conductivity of the surface soil in the treatment with high application rate of fertilizer was higher. Irrigation decreased electric conductivity of the surface soil layer. In the treatment with soil amendment  $\text{CaSO}_4$  electric conductivity of the surface soil layer increased at the early stage, but came back again at the middle and later stages. Fertilization and irrigation improved the growing environment for barley and enhanced its salt resistance. When the total quantity of irrigation was maintained at 375 mm, the treatment of irrigation once every three days was superior to the treatment of irrigation once every two days in reducing salt concentration and restraining soil alkalinization.  $\text{Na}^+$  content in barley stem was higher than that in leaves demonstrating the function of barley retaining  $\text{Na}^+$  in the stem thus mitigating  $\text{Na}^+$  damage to the leaves.  $\text{Cl}^-$  content in barley's leaves and stems was higher than  $\text{K}^+$  and  $\text{Na}^+$  content, suggesting that more  $\text{Cl}^-$  was transported through roots to the above ground part. Modifier showed the good result of increasing  $\text{K}^+$  content and decreasing  $\text{Na}^+$  content in crop. The soil amendment showed positive effect in increasing K uptake, decreasing  $\text{Na}^+$  content in the plant and alleviating stress of the plant from salt ions.

**Key words** Salt-affected soil; Regulatory measures; Electric conductivity; Ionic uptake