

# 两种不同耐盐大麦根际中离子的分布特征\*

沈其荣

王建林\*\*

(南京农业大学土壤农化系, 210014) (中国科学院南京土壤研究所, 210008)

邱春祥 刘兆普

(南京农业大学土壤农化系, 210014)

## 摘 要

选用耐盐性较强的大麦淮引5号(T)和盐敏感大麦CT16(S), 用根袋法研究了大麦根际中各种盐分离子的分布特征及动态变化。T大麦土体的pH高于S大麦, 根际则相反。与非根际比较, T大麦根际土壤中除 $K^+$ 离子亏缺外,  $Na^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $Cl^-$ 及 $HCO_3^-$ 离子均富集; 而S大麦根际土壤中 $K^+$ 和 $Na^+$ 离子亏缺, 其它离子则不同程度地富集, 但除 $HCO_3^-$ 离子外, 亏缺或富集的程度均不及T大麦显著。土壤中本身的含盐量和生育期会影响离子的分布, 并与大麦对盐分离子的吸收有关。

**关键词** 大麦, 分布特征, 离子, 根际, 耐盐性

世界上约有9.6亿公顷的盐渍土, 我国约有2700万公顷, 这些土壤中盐分胁迫是作物生产的重要限制因素之一。充分利用这些土壤资源, 对我国的农业向“两高一优”持续发展将起较大的推动作用。因此, 研究盐分逆境中植物的适应机制、植物耐盐性的调控等均有重要的理论和实践意义。

不同耐盐大麦品种对于离子的吸收有其特殊性, 同时也反映在土壤的养分变化上, 特别是在根际微域环境中<sup>[2]</sup>。以往的研究表明, 大豆在盐分胁迫下, 根际中总盐量高于土体<sup>[3]</sup>, 根际中有 $HCO_3^-$ 积累, pH值也较高<sup>[4]</sup>。但迄今为止, 对大麦在盐胁迫下根际中离子的分布特征及其与大麦耐盐性的关系则鲜见报道。而这方面的研究有利于进一步阐明大麦的耐盐机制, 以及寻求某些人工措施改善大麦的根际环境, 从而提高大麦对盐分逆境的适应性。

本工作选用两种不同耐盐性的大麦品种, 以自制根袋进行盆栽试验, 研究其在盐分逆境下根-土界面上盐分离子的动态变化, 及其与大麦生长和离子吸收的关系, 试图从理论上揭示不同大麦品种对盐离子吸收、运输的差异, 进而探讨大麦的耐盐机制, 为提高盐渍土上大麦的生产力提供科学依据。

\* 本文承蒙刘芷宇教授斧正, 谨致谢意。国家自然科学基金资助项目。

\*\* 通讯联系人。

## 一、材料和方法

### (一) 供试土壤和作物

土壤为滨海盐土, 采自南京农业大学在江苏省大丰县王港试验站, 基本性质见表 1。供试作物选用耐盐性较强的大麦淮引 5 号(T)和耐盐性较弱的大麦 CT16(S)<sup>[6]</sup>。

表 1 供试土壤的基本性质

Table 1 Basic properties of the soil tested

pH	有机质 O. M. (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
			mg/kg						
8.31	4.50	0.30	38.0	460	67.5	75.5	820	365	186

### (二) 试验方法

将土样风干, 磨细过 40 目筛。每公斤土分别加入 1.0g, 2.5g NaCl, 并设对照共三个处理, 每个处理设 6 个重复, 随机排列。土壤中分别以化学纯尿素和 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 加入养分, 以满足大麦的正常生长需要, 其中含 N100、P100 和 K126mg/kg 土。

试验用自制根袋在温室中进行。试验装置如图 1 所示。盆中根外土为 1.0 kg, 根际土为 100g, 每个盆的根袋中播入已催芽的大麦种子, 确保最后有 8 株大麦苗。每天加入蒸馏水使土壤达到田间持水量。

生长约 40 天后, 每个处理取三个重复收获, 55 天后, 收获剩下的三个重复。将植株分成根和地上部, 洗净烘干, 称量后备用; 根袋中的土为根际土, 根袋外的土为非根际土, 采用多点取样混匀。土样风干后, 磨细过 20 目筛备用。

### (三) 分析方法

将土样以 5:1 的水土比浸提<sup>[1]</sup>。用日产岛津 AA-640-13 型原子吸收光谱仪测定 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 的量, 用水土比为 1:1 的土浆, 贝克曼电位计测定 pH 值; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 用标准 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 双指示剂法滴定, Cl<sup>-</sup> 用标准 AgNO<sub>3</sub> 滴定; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 用 EDTA 络合滴定法测定。

植株样品烘干、磨细、混匀后, 称取一定量, 干灰化后用 1.2 mol/L HCl 溶解残渣, 原子吸收光谱仪测定其中的 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 量<sup>[1]</sup>。

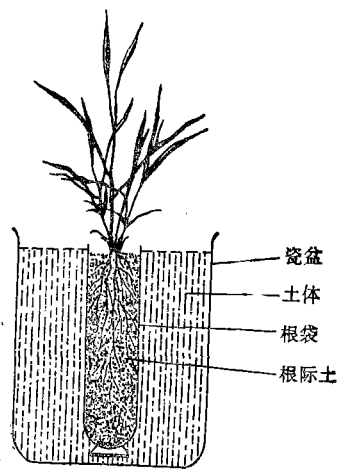


图 1 根际试验装置示意图

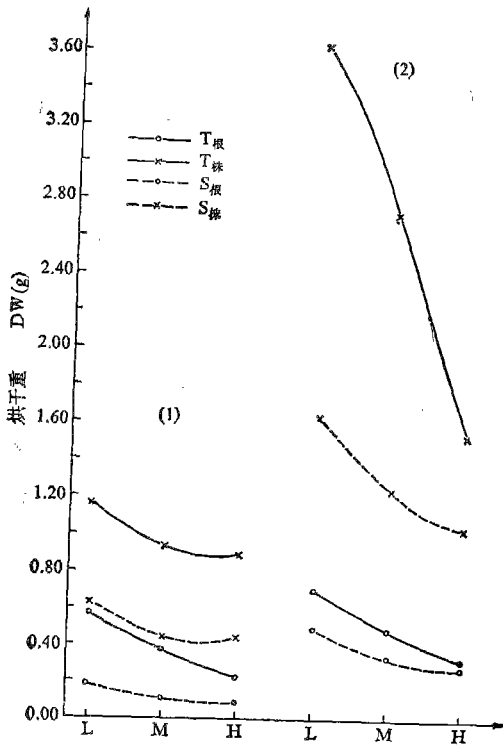
Fig. 1 Apparatus diagram of the rhizosphere experiment

## 二、结果和讨论

### (一) 盐分对大麦生物量的影响

结果表明(图 2), 无论生长前期还是中期, T 大麦的干物重均大于 S 大麦, 地上部和根的趋势相同, 而且在低盐浓度下, 这种差异更为显著, 经成对数据比较分析达极显著水

平。表明供试的两个大麦品种对盐分胁迫的敏感性差异显著。



(1) 第一批样; (2) 第二批样; T: 滩引5号; S: CT16; R: 根际土; NR: 非根际土; L: 低盐; M: 中盐; H: 高盐

图2 大麦品种间干物重比较

Fig. 2 Dry weights of two barley varieties

大麦体内  $K^+$  的含量结果表明(图5), 在生长前期, T大麦地上部  $K^+$  浓度高于S大麦, 而后逐渐逆转。看来T大麦吸收更多的  $K^+$  是其耐盐性的生理特征之一; 至中期由于T大麦体内  $K^+$  离子再循环较强, 而S大麦要维持其生长, 就要从土壤中吸收更多的

(二) 大麦根际盐分离子的分布特征

1. pH 值和  $HCO_3^-$  离子 图3表明, 同一大麦品种在三种盐分水平胁迫下, 根际pH值均大于土体, 而且两者间的pH差异随大麦生长而增大; 品种间比较, T大麦的pH值在土体中高于S大麦, 而根际中则相反。这可能是由于大麦吸收的阴离子多于阳离子, 促使根系分泌  $HCO_3^-$  (或  $OH^-$ ) 离子<sup>[2,4]</sup>, 而T大麦土体pH高于S大麦的原因尚待研究。

表2结果则进一步说明, 两种大麦根际中  $HCO_3^-$  富集, 这与上述根际pH值较高是一致的, 与前人的结果也是吻合的<sup>[4,5]</sup>。

2.  $K^+$  离子 植物的耐盐性较大程度上取决于植物对各种盐分离子选择吸收的特征。大麦在NaCl胁迫下能吸收较多的  $K^+$ , 是其耐盐性的重要机理之一<sup>[3,6]</sup>。本试验结果表明(图4), 无论土壤含盐量多少, 两种大麦的根际  $K^+$  均出现亏缺, 同时T大麦根际与土体  $K^+$  的含量均低于S大麦。这说明在相同盐分水平下, 耐盐大麦比盐敏感大麦吸收更多的  $K^+$ , 从而使土壤中总的有效  $K^+$  含量明显降低。

表2 不同处理下  $HCO_3^-$  在土壤中的分布 ( $mg/kg \times 10^2$ )

Table 2 Distribution of  $HCO_3^-$  in soils of different treatments

生长时间(天) Growth time (Days)	40			55		
盐分处理 Salt treatment	L	M	H	L	M	H
品 种 Varieties	T S	T S	T S	T S	T S	T S
土 体 Bulk soil	- 1.65	- 1.86	- 1.55	- 1.86	2.17 1.96	1.86 1.65
根 际 土 Rhizosphere soil	- 1.96	- 2.17	- 1.86	- 2.06	2.48 2.27	2.17 2.37

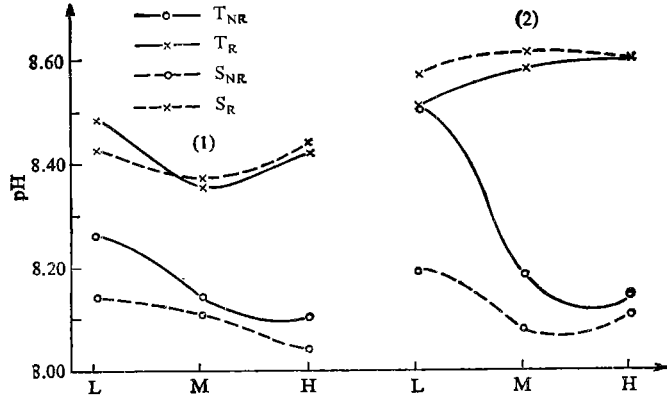


图 3 两种大麦土壤 pH 值的变化

Fig. 3 pH changes of rhizosphere and nonrhizosphere soils for two barley varieties

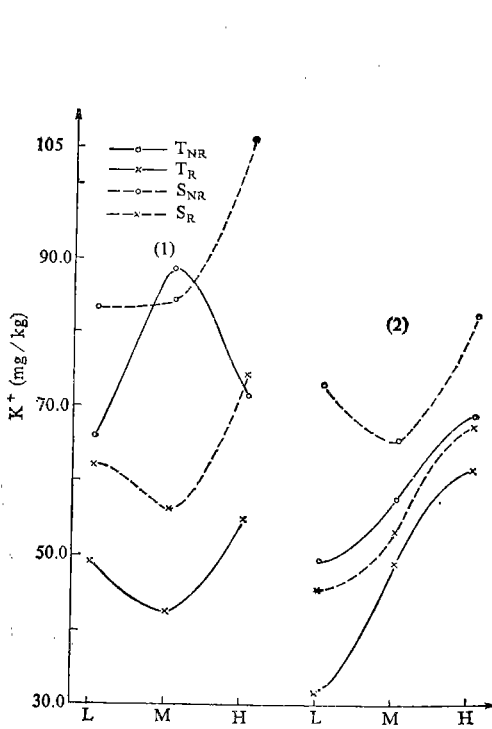


图 4 大麦根际与非根际土中 K<sup>+</sup> 浓度变化

Fig. 4 K<sup>+</sup> ion concentration variations in the rhizosphere and non-rhizosphere of two barley varieties

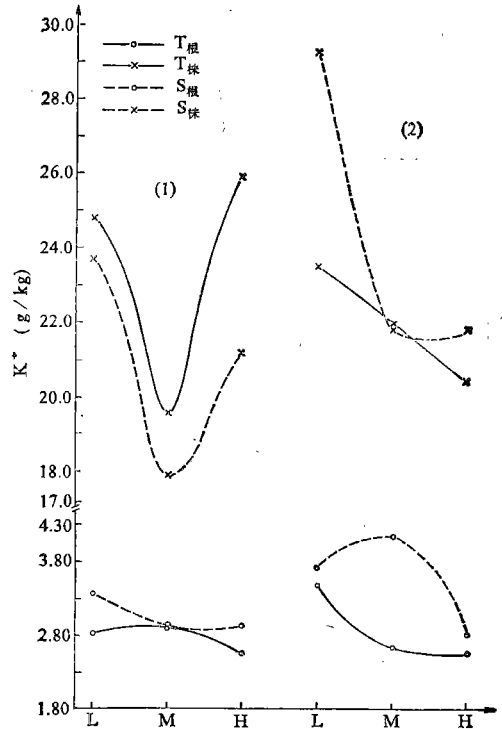


图 5 两种大麦对 K<sup>+</sup> 的吸收量

Fig. 5 K<sup>+</sup> absorption of two barley plants

K<sup>+</sup> 离子，因而体内 K<sup>+</sup> 浓度表现为 S 大麦大于 T 大麦。这还可能与 T 大麦中期生长较旺盛而产生了“稀释效应”有关。

图 5 还表明,无论在何种盐分水平下或处于什么生育期, S 大麦根中  $K^+$  离子含量均比 T 大麦高,且随生长推进,这种差异更为显著。表明在耐盐大麦的排盐机制中, S 大麦更多地依靠  $K^+$  的作用。

3.  $Na^+$  和  $Cl^-$  离子 以往试验表明,在土壤含盐量  $< 4g/kg$  的情况下,盐分对大麦的胁迫主要是过多的  $Na^+$  离子减少了大麦对  $K^+$  离子的吸收<sup>[6]</sup>;以及过多的  $Cl^-$  离子造成光合作用下降的缘故<sup>1)</sup>。T 大麦能将  $Na^+$  和  $Cl^-$  离子相对地排除在体外,这是其耐盐性较强的另一机理<sup>[6],1)</sup>。本试验的结果表明(表 3), T 大麦根际的  $Na^+$  和  $Cl^-$  富集,且其量和富集程度大于 S 大麦。可以认为这是由于 T 大麦能将一部分  $Na^+$  排除到根外,而 S 大麦的这种能力明显较低,并随土壤含盐量的增加及大麦生育期的延迟, T 大麦排除  $Na^+$  和  $Cl^-$  离子的能力有所增强,这是该品种耐盐能力较强的重要生理特征。

两种大麦体内  $Na^+$  的含量见图 6。在生长前期,大麦地上部  $Na^+$  离子的浓度是 T 大麦略大于 S 大麦;而至中期, T 大麦的  $Na^+$  离子浓度明显地低于 S 大麦,并且中期 T 大麦中  $Na^+$  浓度低于前期。根中  $Na^+$  含量在不同生长期及三种盐分水平下, T 大麦均高于

表 3 不同处理下  $Na^+$ 、 $Cl^-$  在土壤中的分布 (mg/kg)

Table 3 Distribution of  $Na^+$  and  $Cl^-$  in soils of different treatments

生长时间 Growth time (Days)	40						55					
	L		M		H		L		M		H	
盐分处理 Salt treatment												
品 种 Varieties	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S
非根际土 $Na^+$	3.31	4.06	6.84	6.84	8.90	13.0	2.69	5.08	8.13	10.7	8.37	8.75
根际土 $Na^+$	5.84	3.93	6.98	6.41	12.5	10.6	7.21	4.64	8.48	7.30	14.2	—
非根际土 $Cl^-$	5.87	6.65	10.9	—	13.7	—	3.66	6.54	—	—	13.5	14.3
根际土 $Cl^-$	9.75	7.98	11.0	10.4	21.3	18.2	11.3	9.23	12.6	11.5	22.4	17.6

表 4 不同处理下  $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$  在土壤中的分布 (mg/kg  $\times 10^2$ )

Table 4 Distribution of  $Ca^{2+}$  and  $Mg^{2+}$  in soils of different treatments

生长时间 Growth time (Days)	40						55					
	L		M		H		L		M		H	
盐分处理 Salt treatment												
品 种 Varieties	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S
非根际土 $Ca^{2+}$	69.5	75.5	77.5	83.0	83.3	163	49.5	65.5	—	—	77.3	99.0
根际土 $Ca^{2+}$	97.5	129	83.5	81.8	94.0	101	85.8	92.8	76.5	38.8	104	77.8
非根际土 $Mg^{2+}$	47.8	62.0	67.5	65.0	73.0	—	28.8	53.3	—	—	57.0	74.7
根际土 $Mg^{2+}$	108	94.5	86.5	81.7	108	102	112	103	81.2	77.5	141	86.7

1) 沈其荣等, 1990。基质盐浓度对大麦全生育期的盐分离子的吸收与分配的影响(未刊稿)。

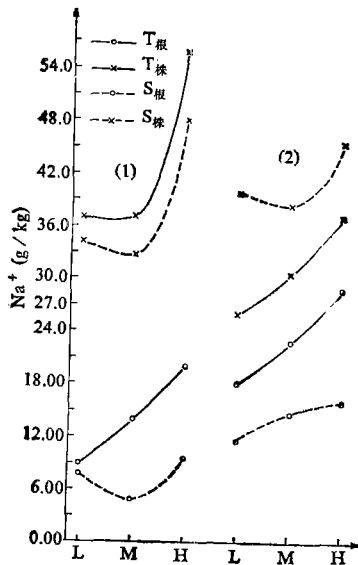


图 6 两种大麦体内 Na<sup>+</sup> 的吸收

Fig. 6 Na<sup>+</sup> absorption of two barley plants

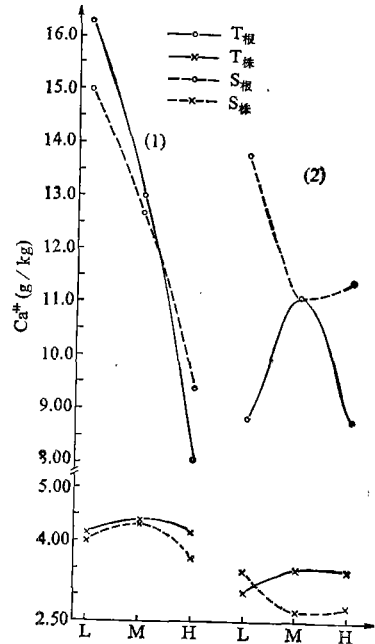


图 7 两种大麦的 Ca<sup>2+</sup> 吸收量

Fig. 7 Ca<sup>2+</sup> absorption of two barley plants

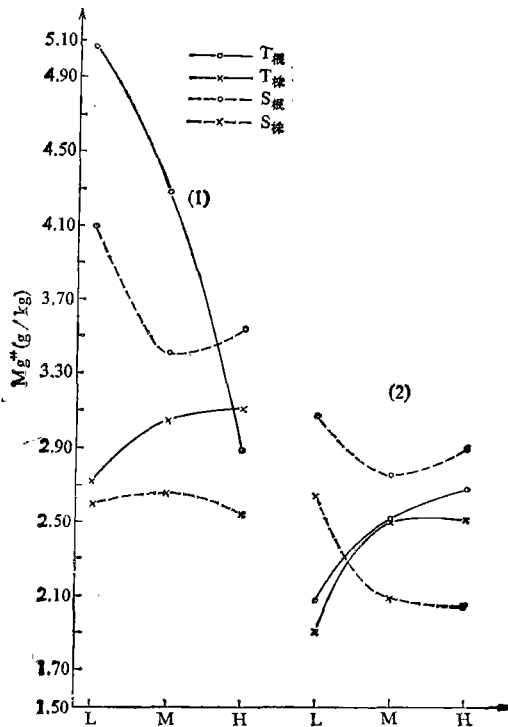


图 8 两种大麦对 Mg<sup>2+</sup> 的吸收量

Fig. 8 Mg<sup>2+</sup> absorption of two barley plants

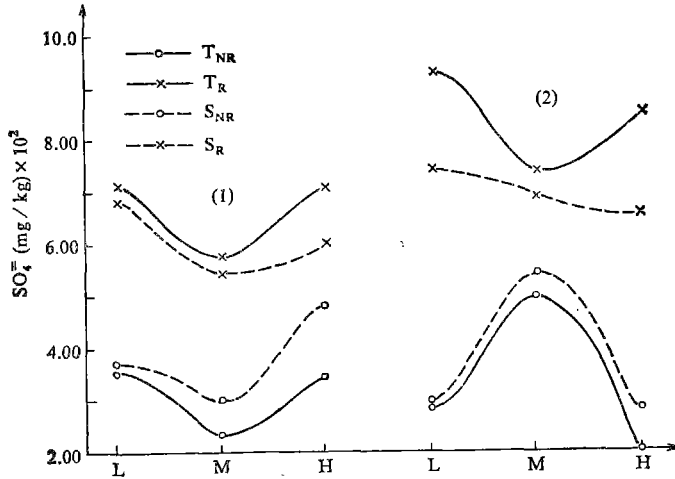


图9 两种大麦根际及非根际中  $\text{SO}_4^{2-}$  浓度的变化

Fig. 9  $\text{SO}_4^{2-}$  concentration variations in the rhizosphere and non-rhizosphere of two barley varieties

S 大麦,且随生长量增加,二者都有上升趋势。这说明两种大麦的根在盐分胁迫下对  $\text{Na}^+$  离子均有滞留作用,但又以耐盐性较强的T大麦的作用比盐敏感大麦S强。

4.  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  离子 T 大麦根际  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  离子在三种盐水平和两个生育期中;均呈现富集;而S大麦根际  $\text{Mg}^{2+}$  富集,  $\text{Ca}^{2+}$  在低盐下富集,盐浓度升高则变为亏缺(表4)。一般认为,在植物的吸收及生长方面,  $\text{Na}^+$  和  $\text{Ca}^{2+}$  离子处于竞争状态。根际  $\text{Ca}^{2+}$  的富集,有助于减少对  $\text{Na}^+$  的吸收;另一方面,  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  离子的富集也必然改变根际土壤中  $\text{Ca}^{2+}/\text{K}^+$  的吸附交换平衡,有利于  $\text{K}^+$  的吸收和运输。

$\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  离子在植株中的含量不同于  $\text{K}^+$  和  $\text{Na}^+$  离子,都是根中的含量大于地上部(图7和图8)。在生长前期,T大麦植株中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的含量大于S,至大麦生长中期,则有相反趋势,这说明要维持大麦的正常生长,盐敏感大麦(S)要比耐盐性较强的大麦(T)需要吸收更多的  $\text{Ca}^{2+}$  和  $\text{Mg}^{2+}$  离子来抵抗  $\text{NaCl}$  的单盐毒害。这与上述根际中  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的分布也是一致的。

5.  $\text{SO}_4^{2-}$  离子 图9结果表明,不同生长期和三种盐分水平下,两种大麦根际的  $\text{SO}_4^{2-}$  离子均富集,而且耐盐性较强的大麦(T),其富集区均大于盐敏感大麦(S)。 $\text{SO}_4^{2-}$  离子在根际的富集,可能有助于减轻  $\text{Cl}^-$  的毒害,这有待于验证。

### 参 考 文 献

1. 史瑞和主编,1980:土壤农化分析(第二版)。农业出版社。
2. 刘芷宇,1980:土壤-根微区养分环境的研究。土壤学进展,第3期,1—11页。
3. Levitt, J., 1980: Responses of plant to environmental stress. 2nd edition, Academic Press, New York, pp. 365—488.
4. Riley, D. and S. A. Barber, 1969: Bicarbonate accumulation and pH changes at the Soybean (*Glycine max* L.) merr.) root-soil interface. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33:905—908.
5. Riley, D. and S. A. Barber, 1970: Salt accumulation at the Soybean (*Glycine max* (L.) merr.) root-soil interface. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 34:154—155.

6. Shen Qi-rong et al, 1991: Effect of initial soluble salt composition of saline soils on salinity tolerance of barley plant. *Pedosphere*, 1(4): 355—362.

## DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF IONS IN THE RHIZOSPHERE OF TWO BARLEY VARIETIES WITH DIFFERENT SALINITY TOLERANCE

Shen Qirong

(*Dept. of Soil and Agric. Chem., Nanjing Agricultural University, Nanjing 210014*)

Wang Jianlin

(*Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing 210008*)

Qiu Chunxiang and Liu Zhaopu

(*Dept. of Soil and Agric. Chem., Nanjing Agricultural University, Nanjing. 210014*)

### Summary

The distribution characteristics and dynamic changes of salt ions in the rhizosphere of barley plants were investigated in rhizobag experiment, with salt tolerant variety Taiying No. 5 (T) and salt sensitive variety CT16 (S). It was found that pH value in nonrhizosphere of T barley was higher than that of S barley, while in rhizosphere, the contrary result was observed. Except for the  $K^+$  depletion,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$  and  $HCO_3^-$  ions were accumulated in the rhizosphere of T barley compared to those of non-rhizosphere. For S barley,  $K^+$  and  $Na^+$  ions were depleted whereas other ions were accumulated to certain degree. But for  $HCO_3^-$  ion, the degree of depletion or accumulation of other ions was lower for S barley as compared with T barley. The original content of soil salt ions and growth stage of barley plant would affect the distribution of ions at barley root-soil interface and relate to the salt ion absorption of barley plant.

**Key words** Barley, Distribution characteristics, Ions, Rhizosphere, Salinity tolerance