

田间矿化水灌溉下小麦 和甜菜的离子区隔化*

李加宏 俞仁培

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

摘要 通过田间灌溉试验,研究了矿化水灌溉下小麦和甜菜对离子的选择吸收及其区隔化。随着灌溉水中 NaCl 含量的增加,小麦茎、鞘、叶、颖的离子吸收的选择系数 $S_{K,Na}$ 逐渐降低,而根和籽粒的 $S_{K,Na}$ 逐渐增加。小麦和甜菜各器官的离子吸收的选择系数 $S_{Cl,Na}$ 都随灌溉水中 NaCl 含量的增加而逐渐降低。小麦地上部各器官的 $S_{K,Na}$; $S_{Cl,Na}$ 都大于根;而甜菜叶的 $S_{K,Na}$ 大于根, $S_{Cl,Na}$ 在二者之中的差异不大,由于 K^+ 的再转移和分配,甜菜枯叶的 Na/K 大于叶。小麦和甜菜对离子的选择吸收和运输使 Na 和 Cl 主要分布于对生长和产量影响最小的部分,即小麦的茎和鞘,甜菜的枯叶。

关键词 离子选择吸收,区隔化

中图分类号 S156

离子区隔化是随着电子探针技术和生理学研究的进展,近年被确认为植物耐盐的重要机理之一。它是指植物将过量有毒离子阻隔于对其生命活动影响最小的器官(如老叶)或细胞内某些部位(如液泡)的现象^[1-3]。离子的区隔化取决于植物对盐分的吸收、运输和分配,且具有一定的选择性。离子从根部向地上部的运输主要受控于木质部薄壁细胞向导管中转移。 K^+ 在植物地上部的转移与分配,取决于细胞中液泡的 Na^+/K^+ 交换^[4]。大量研究结果表明,植物的离子区隔化与其耐盐性存在着密切的关系。例如,抗盐大豆品种“Lee”的质膜对 Cl^- 透性小,进入细胞的 Cl^- 在液泡中积累,向地上部运输的 Cl^- 大为减少;不抗盐品种“Jackson”的液泡不会积累 Cl^- ,因而 Cl^- 大量向木质部转移^[5]。不抗盐大麦的 Cl^- 向地上部运输量比抗盐品种高 1.7—2.0 倍^[6]。小麦^[7],大麦^[4] 等非盐生植物的叶片 $S_{K,Na}$ 显著大于根。而海绵滨藜 (*Atriplex spongiosa*)、海韭菜 (*Suaeda maritima*)、海碱蓬 (*Aster tripolium*) 等盐生植物叶片的 $S_{K,Na}$ 小于根^[4]。过去对植物离子区隔化研究都在实验室条件下的幼苗阶段,而较少在自然条件下对整个植株进行研究。本研究是在田间灌溉条件下,对小麦和甜菜的离子区隔化进行了比较。

* 本课题得到中国科学院南京土壤研究所1993年所长基金资助

收稿日期:1996-09-11; 收到修改稿日期:1997-02-26

1 材料与方法

1.1 供试土壤

采自河南封丘,发育于黄河冲积物物理性粘粒含量为 33.6% 的中壤质潮土,其化学性质见表 1。

表 1 供试土壤的化学性质

Table 1 The chemical properties of soil used in the experiment

电导率 EC (s/m)	全盐 Total salt (g/kg)	离子组成 (cmol/kg)							
		Chemical composition (cmol/kg)							
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
0.015	0.74	0.59	0.03	0.06	0.02	0.01	0.21	0.38	0.25
pH	CEC (cmol/kg)	E _{Na} ¹⁾ (cmol/kg)		CaCO ₃ (g/kg)	MgCO ₃ (g/kg)	O.M. (g/kg)			
	8.44	10.15	0.17		106.2	10.1	9.2		

1) 为交换性钠

1.2 供试作物

小麦(85 中 33)和甜菜(2 农 301)分别由河南省和山西省农业科学院提供。

1.3 试验设计与方法

在中国科学院封丘生态农业试验站进行。将内径 49cm, 高 108cm, 底部密封的水泥筒 24 根埋入土中。内衬特制的密封塑料袋。底层装入细石子 13cm, 其上垫玻璃丝布一层, 然后按土壤容重 1.5g/cm³ 分层装土 85cm, 其中表层 20cm 混施磷酸二铵 3.7g, 尿素 9.0g。土柱中央置入内径 4cm, 底端 13cm 打孔的塑料管, 以备灌水。在水泥筒中种植小麦(FW)和甜菜(FS)。

小麦每个水泥筒播种 200 粒, 定苗 100 株。分期灌水, 小麦成熟后按 0—10、10—20、20—40、40—60、60—85cm 分层采集土样和根样, 同时分别采集茎、鞘、叶、颖和籽粒样品。试验时间为 1992 年 11 月 4 日—1993 年 6 月 1 日。

甜菜每个水泥筒播种球 40 粒, 定苗 8 株。经叶丛快速增长期和块根及糖分增长长期采样后, 留苗 2 株。定期灌水, 保持表层 40cm 土壤含水量为饱和持水量的 50% 左右(负压为 -60kPa)。甜菜收获时分别采集叶、枯叶、根样, 同时按与小麦同样的土层采样。试验时间为 1993 年 5 月 30 日—10 月 30 日。

试验设计三个处理: 不含 NaCl 的水灌溉(对照 FW₁、FS₁); 2g/L NaCl 水灌溉(FW₂、FS₂); 4g/L NaCl 水灌溉(FW₃、FS₃)。各处理重复三次。

1.4 分析方法

土壤可溶盐用水土比为 5:1 浸提液, CO₃²⁻、HCO₃⁻、Ca²⁺、Mg²⁺ 用滴定法^[8]; Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻ 用离子色谱法。植物含盐量用湿灰化法制备待测液。待测液中的 K⁺、Na⁺ 用火焰光度计测定; Ca²⁺、Mg²⁺ 用原子吸收法测定; Cl⁻ 用水浸提—氯离子电极电位滴定法^[9]。

2 结果与讨论

2.1 作物对离子的选择吸收

盐分离子通过根的共质体进入根并由根经木质部导管向地上部各器官运输, 都具有

一定的选择性。本试验中,作物体内变化最明显的离子是 Cl^- 、 Na^+ 和 K^+ 。本文主要讨论小麦和甜菜对 Cl^- 、 Na^+ 和 K^+ 的选择吸收及其异同。

作物对 K^+ 、 Na^+ 和 Cl^- 、 Na^+ 的选择吸收用 $S_{\text{K}, \text{Na}}$ 和 $S_{\text{Cl}, \text{Na}}$ 表示:

$$S_{\text{K}, \text{Na}} = \frac{\text{作物体内 } [\text{K}^+] / [\text{Na}^+]}{\text{土壤水溶性 } [\text{K}^+] / [\text{Na}^+]}$$

$$S_{\text{Cl}, \text{Na}} = \frac{\text{作物体内 } [\text{Cl}^-] / [\text{Na}^+]}{\text{土壤水溶性 } [\text{Cl}^-] / [\text{Na}^+]}$$

当 $S_{\text{K}, \text{Na}}$ 值越大时,则作物对 K^+ 的选择性越强。因此,可用 $S_{\text{K}, \text{Na}}$ 、 $S_{\text{Cl}, \text{Na}}$ 来衡量作物对 K^+ 、 Na^+ 和 Cl^- 吸收的选择性。式中,作物体内 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 的浓度单位是 cmol/kg 干物质。土壤水溶性 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 是各土层含量的加权平均值,单位为 cmol/kg 土。

2.1.1 小麦 $S_{\text{K}, \text{Na}}$ 随着灌溉水中 NaCl 含量的增加,茎、鞘、叶、颖的 $S_{\text{K}, \text{Na}}$ 逐渐降低,表明对 K^+ 吸收的选择性逐渐降低。相反,根和籽粒的 $S_{\text{K}, \text{Na}}$ 逐渐增加,即对 K^+ 的吸收逐渐增加(表 2)。根和籽粒 $S_{\text{K}, \text{Na}}$ 的增加,有利于小麦正常生长和增产。

$S_{\text{Cl}, \text{Na}}$ 随着灌溉水 NaCl 含量的增加,小麦各器官 $S_{\text{Cl}, \text{Na}}$ 变化趋势一致,都是逐渐降低。说明小麦对 Cl^- 吸收逐渐降低, Na^+ 则逐渐增加。

2.1.2 甜菜 $S_{\text{K}, \text{Na}}$ 当用 2g/L NaCl 水灌溉时,甜菜根和叶的 $S_{\text{K}, \text{Na}}$ 比对照增加,表明甜菜对 K^+ 的吸收增加,但用 4g/L NaCl 水灌溉时,叶的 $S_{\text{K}, \text{Na}}$ 继续增加,而根的 $S_{\text{K}, \text{Na}}$ 变小,说明 K^+ 向叶中转移。有利于甜菜在盐胁迫下对 K^+ 吸收,保持 K 素营养和体内适当的 K/Na 比,减轻盐害。

甜菜根和叶 $S_{\text{Cl}, \text{Na}}$ 随灌溉水 NaCl 含量增加的变化趋势一致,皆是逐渐减低。

表 2 矿化水灌溉下小麦和甜菜离子吸收的选择系数

Table 2 Selectivity coefficient of ions taken up by different parts of wheat and sugar beet irrigated with brackish water

处理 Treatments	选择系数 Selectivity coefficient											
	$S_{\text{K}, \text{Na}}$						$S_{\text{Cl}, \text{Na}}$					
	根 Roots	茎 Stems	鞘 Sheaths	叶 Leaves	颖 Husks	籽粒 Seeds	根 Roots	茎 Stems	鞘 Sheaths	叶 Leaves	颖 Husks	籽粒 Seeds
	小 麦											
FW ₁ ¹⁾	21.25	194.82	275.04	308.97	334.98	327.98	2.37	28.30	50.94	74.69	32.02	23.86
FW ₂	32.69	56.13	126.05	109.75	104.80	328.16	0.48	2.01	4.62	5.00	2.65	3.85
FW ₃	39.11	72.09	86.09	87.97	100.44	425.90	0.25	1.61	2.12	3.00	1.62	2.20
	甜 菜											
FS ₁ ²⁾	33.52			14.67			1.33		1.81			
FS ₂	622.74			38.89			0.92		0.84			
FS ₃	326.62			60.14			0.50		0.77			

1) FW为小麦; 2)FS为甜菜。

2.1.3 小麦和甜菜 $S_{\text{K}, \text{Na}}$ 、 $S_{\text{Cl}, \text{Na}}$ 变化的异同 小麦和甜菜根的 $S_{\text{K}, \text{Na}}$ 随灌溉水 NaCl 含量增加而增加,其变化趋势相同。小麦和甜菜根的 $S_{\text{Cl}, \text{Na}}$ 随灌溉水 NaCl 含量的增加而逐渐降

低;而叶的 $S_{Cl,Na}$ 变化趋势则相反,小麦逐渐降低,而甜菜则逐渐增加。甜菜叶 $S_{K,Na}$ 增加,有利于吸收更多的 K^+ ,减轻盐害,这可能是甜菜耐盐性略强的原因之一。 $S_{Cl,Na}$ 逐渐降低,说明随着盐胁迫的加强,大多数非木本植物对 Cl^- 并不特别敏感^[10],而 Na^+ 对小麦、大麦等的胁迫伤害则大于 Cl^- ^[11]。

2.2 盐分从作物根部向地上部的运输

表 2 结果表明,小麦地上部各器官 $S_{K,Na}$ 都显著大于根,说明 K^+ 抑制 Na^+ 向地上部的运输。本结果与文献^[4,7]报道一致。本试验不仅证实了小麦叶片 $S_{K,Na}$ 大于根,且小麦地上各器官 $S_{K,Na}$ 均大于根,尤以籽粒的 $S_{K,Na}$ 最大。甜菜则相反,其叶 $S_{K,Na}$ 小于根(表 2),说明甜菜叶对 K^+ 吸收降低,抑制 K^+ 向地上部运输。由此可见,甜菜虽非盐生植物,但在对 K^+ 、 Na^+ 吸收的选择性与盐生植物相似。

小麦地上部各器官的 $S_{Cl,Na}$ 都显著地大于根。说明盐分从根部向地上部的运输中,对 Cl^- 吸收的选择性增加而抑制 Na^+ 向地上部的运输。甜菜叶与根的 $S_{Cl,Na}$ 无明显差异,说明二者对 Cl^- 、 Na^+ 吸收选择性相近。

2.3 盐分在作物地上部的再转移和分配

盐分在作物地上部的再转移和分配,尤其是 K^+ 的再转移和分配,是植物耐盐性的一个决定因素^[2]。本试验的各处理中,甜菜枯叶的 Na^+/K^+ 普遍大于相应的叶(表 3)。说明叶在衰老过程中,其离子组成发生变化, Na^+ 相对增加, K^+ 相对减少。作物地上部先是形成具有很高细胞质 K^+ 和液泡 K^+ 含量的幼叶,随着生长,已成熟或正在成熟的叶片通过生长和液泡的 $Na^+ - K^+$ 交换,能够从木质部质液中吸收 Na^+ ,将液泡中的 K^+ 置换出来,使 K^+ 得以再循环,重新供给作物生长,使液泡中 Na^+/K^+ 增加^[2],因此,枯叶中 Na^+/K^+ 增高。

表 3 甜菜叶和枯叶的 Na^+/K^+ 比率

Table 3 Na / K ratios in the leaves and dead leaves of sugar beet

处理 Treatment	FS ₁	FS ₂	FS ₃
叶 Leaves	0.76	2.82	4.05
枯叶 Dead leaves	1.78	3.92	5.75

2.4 作物的离子区隔化

小麦和甜菜对离子的选择吸收、运输和分配使离子的分布具有明显的区隔化。在不同矿化水灌溉下,离子在不同器官中的含量见图 1—6。根据其在不同器官中的含量可列序如下:

2.4.1 小麦(图 1—3)

- (1) Cl^- : 鞘、茎 > 叶 > 颖 > 根、籽粒。
- (2) Na^+ : 茎 > 鞘 > 叶 > 根、颖 > 籽粒。

1) 仅图1不符合此序列,为:根>茎>鞘>叶>颖>籽粒。

- (3) K: 鞘、茎 > 叶 > 颖 > 籽粒 > 根。
 (4) Ca: 叶 > 鞘 > 根 > 茎 > 颖 > 籽粒。
 (5) Mg: 叶 > 根、鞘 > 籽粒 > 颖 > 茎。

2.4.2 甜菜(图 4—6)。

- (1) Cl: 枯叶 > 叶 > 根
 (2) Na: 枯叶 > 叶 > 根
 (3) K: 枯叶、叶 > 根

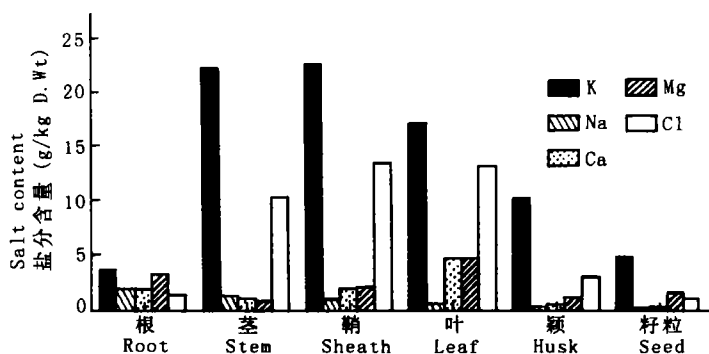


图1 处理FW₁中不同盐分在小麦不同器官的含量

Fig.1 Contents of various salts in different organs of wheat in Treatment FW₁

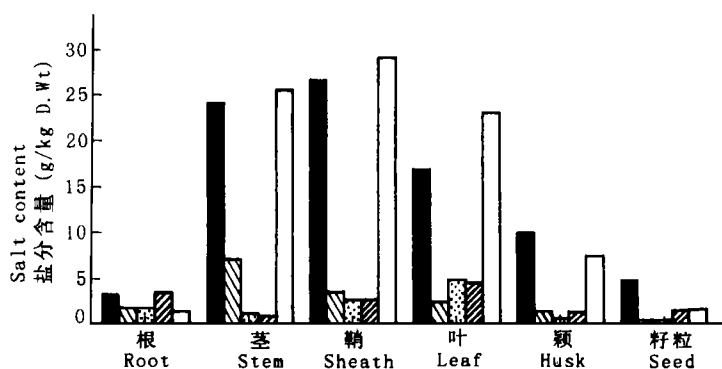


图2 处理FW₂中不同盐分在小麦不同器官的含量

Fig.2 Contents of various salts in different organs of wheat in Treatment FW₂

- (4) Ca: 枯叶 > 叶 > 根。
 (5) Mg: 枯叶 > 叶 > 根

本试验结果与陈焕伍、石元春^[12], 邵金旺等^[13]结果基本一致。

从试验结果可见, 无论小麦或甜菜, 含 Na⁺ 和 Cl⁻ 量最高的部位都是对它们生长和产量影响最小的部分。小麦是在茎、鞘中; 甜菜则在枯叶中。Na⁺、Cl⁻ 的这种分布有利于减轻它们对作物代谢旺盛部分和产量构成部分的影响。在作物耐盐性研究中, 离子区隔化作为作物耐盐的重要机理之一, 越来越受到重视^[14]。

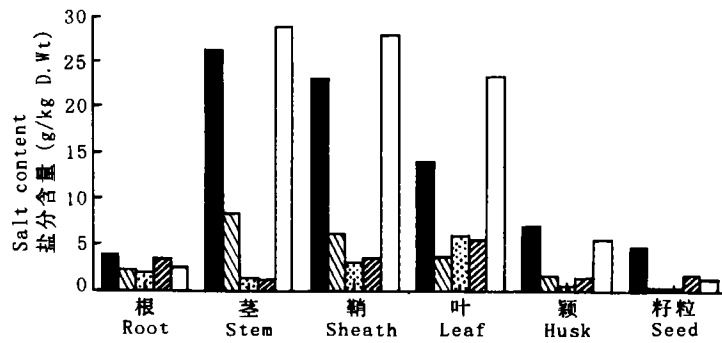


图3 处理 FW_3 中不同盐分在小麦不同器官的含量

Fig.3 Contents of various salts in different organs of wheat in Treatment FW_3

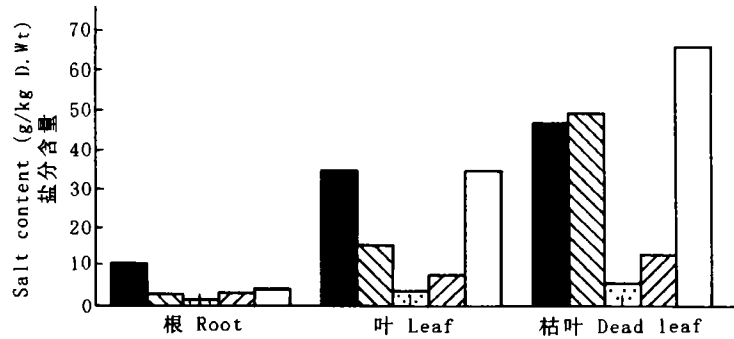


图4 处理 FS_1 中不同盐分在甜菜不同部位的含量

Fig.4 Contents of various salts in different organs of sugar beet in Treatment FS_1

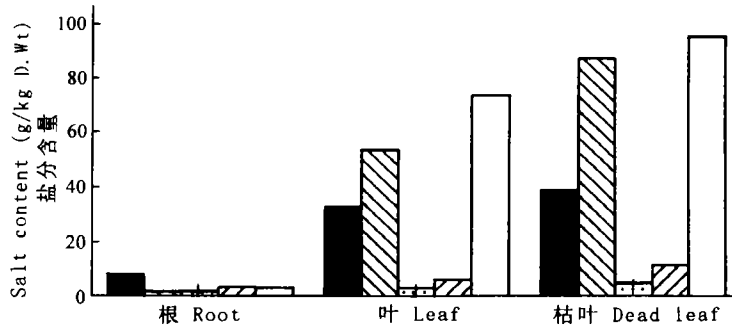


图5 处理 FS_2 中不同盐分在甜菜不同部位的含量

Fig.5 Contents of various salts in different organs of sugar beet in Treatment FS_2

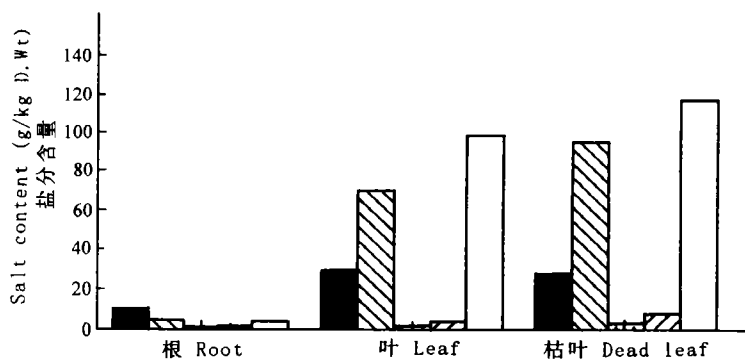


图6 处理 FS₃中不同盐分在甜菜不同部位的含量

Fig.6 Contents of various salts in different organs of sugar beet in Treatment FS₃

参 考 文 献

- Gorham J, Wynjones R S, McDonnell E. Some mechanism of salt tolerance in crop plants. *Plant and Soil*, 1985,89:15—40
- Jeshke W D. K⁺-Na⁺ exchange at cellular membranes, intercellular compartmentation of cations, and salt tolerance. In: Steples R C, Toenniessen G H eds. *Salinity Tolerance in Plants: Strategies for Crop Improvement*. John Willey and Sons, 1984, 3—15
- Kramer D. Cytological aspects of salt tolerance in higher plants. In: Steples R C, Toenniessen G H eds. *Salinity tolerance in plants: strategies for crop improvement*. John Willey and Sons, 1984, 3—15
- Pitmen M G. Transport across the root and shoot / root interactions. In: Syaples R C, Toenniessen G H eds. *Salinity tolerance in plants: strategies for crop improvement*. John Willey and Sons, 1984, 93—123
- Lauchli A. Salt exclusion: an adaptation of legumes for crop and pastures under saline conditions. In: Steples R C, Toenniessen G H eds. *Salinity tolerance in plants: strategies for crop improvement*. John Willey and Sons, 1984, 171—187
- Greenway H, Munns R. Mechanism of salt tolerance in nonhylophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 1980, 31: 149—190
- 李长润, 刘友良. 盐分胁迫下小麦幼苗离子吸收运输的选择性及叶片耐盐量. *南京农业大学学报*, 1993, 16(1): 16—20
- 中国科学院南京土壤研究所. *土壤理化分析*. 上海科学技术出版社, 1978
- 周秀如, 李仲林, 凌云霄, 曹志洪. 微机电位自动滴定系统测定烟叶中氯. 见: 曹志洪主编. *优质烤烟生产的土壤与施肥*. 南京: 江苏科学技术出版社, 1991, 261—264
- Mass E V, Hoffman G J. Crop salt tolerance: current assessment. *J. Irrig. Dainage Div., American Society of Civil Engineers*, 1977, 103(IR2): 116—134
- 刘宛, 刘友良, 大麦幼苗的 Na⁺、Cl⁻ 胁迫和叶片耐 Cl⁻ 量. *南京农业大学学报*, 1993, 16(3): 15—19
- 陈焕伟, 石元春. 旱涝盐碱综合治理单元的水盐均衡分析. 见: 石元春, 李韵珠, 陆锦文等. *盐渍土的水盐运动*, 北京农业大学出版社, 1986. 41—47
- 邵金旺, 蔡葆, 张家骅. *甜菜生理学*. 北京: 农业出版社, 1991
- Michael C, Shannon Catherine M, Grive, Leland E, Francois. Whole-Plant response to salinity. In: Robert E. Wilknsn ed. *Plant-Environment Interactions* New York: Marcel Dekker Inc. 1994. 199—244

COMPARTMENTATION OF IONS IN WHEAT AND SUGAR BEET IRRIGATED WITH BRACKISH WATER UNDER FIELD CONDITIONS

Li Jia-hong Yu Ren-pei

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

Summary

The uptake selectivity, transport and compartmentation of ions in wheat and sugar beet irrigated with brackish water were studied under field conditions. $S_{K,Na}$ (K / Na selectivity) increased gradually in the stem, sheath, leaf and husk of wheat but decreased gradually in the roots and seed of wheat and in the roots and leaves of sugar beet with increasing NaCl content in irrigation water. $S_{Cl,Na}$ (Cl / Na selectivity) was reduced in the all parts of wheat and sugar beet with increasing NaCl content of irrigation water. $S_{K,Na}$ and $S_{Cl,Na}$ in the aerial parts were higher than those in the root of wheat but lower than or equal to those in the root of sugar beet. These results indicated that ion transport from root to aerial parts of wheat was much different from that of sugar beet. The selective uptake and transport of ions by wheat and sugar beet made Na and Cl distribute mainly in the parts, i.e., the stem and sheath of wheat and the dead leaves of sugar beet, which have little effect on their growth and yields.

Key words Irrigation with brackish water, Ion selectivity coefficient, Ion compartmentation