

# 作物相对耐盐性的研究

## II. 不同栽培作物的耐盐性差异\*

陈德明 俞仁培

(中国科学院南京土壤研究所, 210008)

### 摘 要

本文通过盆栽生物试验,对小麦、大豆、棉花、玉米等栽培作物的苗期耐盐性进行了研究。结果表明:棉花较为耐盐,玉米、小麦次之,大豆耐盐性最差。不同作物各组织中钠的浓度和累积量随盐度增加而剧增。小麦、大豆、棉花根系吸收钠后,不同程度地向地上部分转移;玉米根系吸收钠后,多累积在根系中。不同作物各组织中钾的浓度随盐度增加变化不大。但累积量剧减;钙的浓度和累积量随盐度增加都有不同程度的减少。作物根系吸收钾、钙后,向地上部分运输,因而地上部分组织中钾、钙累积量多于根系中钾、钙累积量。作物体内  $K/Na$  比随盐度增加而降低。本文还对不同栽培作物耐盐性差异的机理进行了探讨。

**关键词** 作物耐盐性,作物种类,土壤盐度

由于植物生理上的差异,不同作物对盐渍的忍耐力往往具有较大的差异<sup>[4]</sup>。有关不同作物种类或品种的耐盐性,国内外许多研究者作了较多的研究和报道<sup>[5-8]1)</sup>。然而,由于各地的栽培和管理条件不同,以及种质资源本身存在着差异,因而有必要针对栽培地区的气候、土壤和资源特点,对不同栽培作物或品种的耐盐性进行研究。通过研究,了解不同作物的耐盐度,据此可根据土壤的积盐特点,合理安排作物布局,充分利用当地的种质资源,进行资源的合理匹配,从而最大限度地发挥盐渍土的生产潜力。因此,对不同栽培作物或品种耐盐性的研究和探讨,有其理论和现实的意义。

## 1 材料和方法

1. 供试土壤:河南封丘的轻壤土, pH8.47, 电导率(1:5, 25°C) 0.281 dS/m, 全盐量 1.1g/kg。
2. 供试作物:小麦品种为“豫麦16”, 大豆品种为“豫豆2号”, 棉花品种为“中16”, 玉米品种为“单玉13”。
3. 盆栽生物试验:在温室进行,测试小麦、大豆、棉花、玉米等几种栽培作物的耐盐性。每钵钵装土

\* 本文是陈德明硕士论文的一部分。

1) 曾宪修, 1989: 盐渍环境土壤溶液与作物耐盐的研究。国际盐渍土动态学术讨论会论文集。

收到修改稿日期: 1994-12-27

1.5kg, 装盆前每盆土均匀拌入纯氮 0.15g、 $P_2O_5$  0.075g、 $K_2O$  0.15g, 分别以尿素和磷酸二氢钾拌入。盆钵中央垂直放置  $10 \times 15$ cm 的尼龙网袋, 袋中及盆中装土。试验设置四个盐度水平, 四次重复, 共计 64 盆。四个盐度处理为: (1) 土壤溶液盐度为  $0 \text{ mmol/L}$  (S0), (2) 土壤溶液盐度为  $50 \text{ mmol/L}$  (S1), (3) 土壤溶液盐度为  $100 \text{ mmol/L}$  (S2), (4) 土壤溶液盐度为  $150 \text{ mmol/L}$  (S3)。供试土壤在装盆前用等摩尔的  $NaCl$  和  $Na_2SO_4$  进行一次性盐化处理。供试作物种子经室内恒温催芽, 待芽长 1—3cm 后移入事先盐化处理的盆钵中央的网袋中, 小麦试验每盆 10 株, 其他均为 3 株。试验时, 保持土壤水分含量为饱和持水量的 75%, 定期进行土表喷灌, 以补充水分, 防止返盐。40 天后采集植株样品, 分别测定叶、茎、鞘、根的鲜重或干重, 并分析其化学元素组成。

4. 分析方法: 植株 K、Na 用  $0.5 \text{ mol/L}$  HCl 浸泡 24 小时, 离子火焰光度计法测定; 植株 Ca 用干烧法灰化,  $1.2 \text{ mol/L}$  热盐酸提取, EDTA 络合滴定法测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同作物种类的相对耐盐性

2.1.1 苗期生物量与相对耐盐性统计 由于作物本身的生理特性差异, 以及对盐渍的反应和适应机理不同, 因此不同作物之间存在耐盐力差异。试验结果表明, 棉花较为耐盐, 玉米、小麦次之, 大豆耐盐性最差(表 1)。

表 1 不同作物苗期生物量与耐盐性统计

Table 1 Statistics of biomass and salt tolerance of some crop species at the seedling stage

作物 Crop	处理 Treatment	地上部分生物量 Biomass of aerial parts(g/pot)	相对生物量 Relative biomass	增 减 Increment or decrement(%)
小 麦	S0	2.05	100	
	S1	1.57	77	-23
	S2	1.34	65	-35
	S3	1.13	55	-45
大 豆	S0	2.26	100	
	S1	1.71	76	-24
	S2	1.33	59	-41
	S3	0.97	43	-57
棉 花	S0	1.10	100	
	S1	1.07	97	-3
	S2	0.97	88	-12
	S3	0.87	79	-21
玉 米	S0	1.86	100	
	S1	1.46	78	-22
	S2	1.28	69	-31
	S3	1.14	61	-39

表 2 不同作物种类不同部位钾、钠浓度(mg/g)

Table 2 Potassium and sodium content in different parts of some crop species (mg/g dry weight)

作物 Crop	处理 Treatment	叶 Leaf		茎鞘 Stem and sheath		根 Root	
		K	Na	K	Na	K	Na
小 麦	S0	49.24	2.21	/	/	10.28	3.54
	S1	48.35	3.31	/	/	8.74	4.81
	S2	47.78	4.58	/	/	8.20	6.29
	S3	47.32	5.46	/	/	7.05	7.47
大 豆	S0	19.33	1.21	22.06	1.49	6.78	3.02
	S1	17.37	1.27	21.51	2.49	5.41	5.09
	S2	17.08	1.34	21.35	5.69	5.25	7.54
	S3	16.51	1.86	20.66	7.76	5.16	9.80
棉 花	S0	16.16	2.94	22.56	4.35	13.91	6.67
	S1	15.01	7.30	22.43	7.74	13.35	9.59
	S2	14.90	8.54	22.33	9.48	12.88	10.24
	S3	14.29	9.93	22.19	10.34	12.19	12.49
玉 米	S0	33.11	1.55	46.71	1.47	8.93	5.64
	S1	32.92	2.06	45.65	2.32	7.11	13.62
	S2	32.41	2.74	44.66	3.98	5.59	17.15
	S3	31.55	4.10	43.36	5.65	4.89	20.58

2.1.2 苗期相对生物量与土壤溶液渗透压的线性拟合 作物苗期相对生物量( $Y_r$ )与土壤溶液渗透压( $\psi_s$ )之间相关关系如下:

$$\text{棉花 } Y_{r1} = 100 - 25.1698 \psi_s, \quad r = -0.9773 \quad (1)$$

$$\text{玉米 } Y_{r2} = 100 - 46.7909 \psi_s, \quad r = -0.9678 \quad (2)$$

$$\text{小麦 } Y_{r3} = 100 - 54.1793 \psi_s, \quad r = -0.9775 \quad (3)$$

$$\text{大豆 } Y_{r4} = 100 - 68.8369 \psi_s, \quad r = -0.9944 \quad (4)$$

由上述表达式可推断,土壤水势(溶质势)每下降一个单位,如 0.1 兆帕,可使棉花、玉米、小麦和大豆的相对生物产量分别下降 2.54%、4.68%、5.42%和 6.88%,其中以大豆相对生物量减少速率最大,棉花最小,表明大豆耐盐性较差,而棉花较为耐盐。

## 2.2 不同作物体内钾、钠、钙状况

2.2.1 作物对钠的吸收 不同作物各组织中钠的浓度和累积量随盐度增大有较大幅度的增加(表 2,表 3)。作物根系吸收钠后,具有不同的运输和累积机制,小麦和棉花根系吸收钠后,向茎鞘和叶中运输,因而钠的浓度梯度顺序为:

$$[\text{Na}^+]_{\text{根系}} > [\text{Na}^+]_{\text{茎鞘}} > [\text{Na}^+]_{\text{叶}} \quad (5)$$

而玉米根系吸收钠后,则多在根系中累积,虽与上述作物体内钠的浓度梯度顺序大致相

同,但其根系中钠的绝对累积量显著大于地上组织中钠的绝对累积量(表 3)。大豆的吸

表 3 不同作物种类不同部位钾、钠累积量(毫克/盆)

Table 3 Potassium and sodium accumulation in different parts of some crop species (mg / pot)

作物 Crop	处 理 Treat- ment	叶		茎鞘		地上部分		根		全株		
		Leaf		Stem and sheath		Aerial parts		Root		Plant		
		K	Na	K	Na	K	Na	K	Na	K	Na	K / Na
小 麦	S0	100.9	4.53	/	/	100.9	4.53	5.45	1.88	106.39	6.41	16.60
		4				4						
	S1	75.91	5.20	/	/	75.91	5.20	3.58	1.97	79.49	7.17	11.09
	S2	64.03	6.14	/	/	64.03	6.14	2.95	2.26	66.98	8.40	7.97
	S3	53.47	6.17	/	/	53.47	6.17	2.33	2.47	55.80	8.60	6.46
大 豆	S0	25.71	1.61	20.52	1.39	46.23	3.00	1.97	0.88	48.20	3.88	12.42
	S1	17.20	1.26	15.49	1.79	32.69	3.05	1.30	1.22	33.99	4.27	7.96
	S2	13.66	1.07	11.32	3.02	24.98	4.09	1.10	1.58	26.08	5.67	4.60
	S3	9.25	1.04	8.47	3.18	17.72	4.22	0.83	1.57	18.55	5.79	3.20
棉 花	S0	11.47	2.09	8.80	1.70	20.27	3.79	2.50	1.20	22.77	4.99	4.56
	S1	10.36	5.04	8.52	2.94	18.88	7.98	2.40	1.73	21.28	9.71	2.19
	S2	9.09	5.21	8.04	3.41	17.13	8.62	2.19	1.74	19.32	10.36	1.86
	S3	7.59	5.26	7.54	3.52	15.13	8.78	1.83	1.87	16.96	10.65	1.59
玉 米	S0	38.08	1.78	33.16	1.04	71.24	2.82	5.80	3.67	77.04	6.49	11.87
	S1	28.97	1.81	26.48	1.35	55.45	3.16	4.12	7.90	59.57	11.06	5.39
	S2	24.96	2.11	22.78	2.03	47.74	4.14	2.89	8.58	50.54	12.72	3.97
	S3	21.45	2.79	19.95	2.60	41.40	5.39	2.35	9.88	43.75	15.27	2.87

钠情形介于上述三种作物之间,就植株各组织中钠的浓度梯度顺序而言,与玉米的情形较为相似,即根系中钠的浓度较地上部分钠的浓度要高得多(表 2),而就钠的绝对累积量而言,则与小麦和棉花相似,即地上部分钠的绝对累积量较根系中钠的绝对累积量多(表 3)。

2.2.2 作物对钾的吸收 与对钠的吸收累积情形不同,随着盐度增加,不同作物各组织中钾的浓度变化不大,但钾的总累积量则大幅度减少(表 2,表 3)。而棉花,无论是钾的浓度还是累积量变化都不大。作物根系吸收钾后,主要是向地上部分运输。因此,钾的浓度梯度顺序为:

$$[K^+]_{\text{茎鞘}} > [K^+]_{\text{叶}} >> [K^+]_{\text{根系}} \quad (6)$$

而棉花各组织中钾的浓度梯度顺序虽然与其它作物相同,但各组织中浓度差异很小。

2.2.3 作物对钙的吸收 不同作物各组织中钙的浓度和累积量随盐度增加都有不同程度的减少(表 4,表 5)。作物根系吸收钙后,都向地上部分组织尤其是叶中运输。因而叶中钙浓度或累积量通常都较其它组织中的高,大豆和玉米各组织中钙的浓度梯度顺序为:

$$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{根系}} \geq [\text{Ca}^{2+}]_{\text{叶}} > [\text{Ca}^{2+}]_{\text{茎鞘}} \quad (7)$$

表 4 不同作物种类不同部位钙浓度(毫克/克)

Table 4 Calcium content in different parts of some crop species(mg/g dry weight)

作物	处理	叶	茎鞘	根
Crop	Treatment	Leaf	Stem and sheath	Root
小 麦	S0	6.43	/	21.50
	S1	5.98	/	16.91
	S2	5.67	/	15.38
	S3	5.47	/	13.70
大 豆	S0	17.18	12.12	21.74
	S1	16.97	11.74	18.78
	S2	16.49	11.08	18.14
	S3	15.31	9.79	16.26
棉 花	S0	36.17	19.92	15.81
	S1	34.92	18.37	15.74
	S2	34.02	17.03	15.50
	S3	33.34	15.48	14.94
玉 米	S0	11.27	7.53	12.66
	S1	10.94	4.97	12.50
	S2	10.28	4.06	10.32
	S3	9.76	3.68	9.83

而棉花则不同,各组织中钙的浓度梯度顺序为:

$$[\text{Ca}^{2+}]_{\text{叶}} > [\text{Ca}^{2+}]_{\text{茎}} > [\text{Ca}^{2+}]_{\text{根系}} \quad (8)$$

小麦地上部分生长较迅速,产生稀释效应,因而其地上组织中钙的浓度较低(表 4)。由于作物根系吸钙后的迁移特性,因而地上部分组织中钙累积量多于根系中钙累积量,而尤以叶中钙累积最多(表 5)。对整个植株总钙量和作物矿质营养元素 K/Ca 比的统计表明,棉花和大豆对钙的需求较大,在非盐渍条件下,其体内 K/Ca 比分别为 0.63 和 1.19,而这两种作物中,随盐度增加,大豆吸钙量急剧减少,表明盐度对大豆的钙素营养的影响较大(表 5)。

### 2.3 不同作物相对耐盐性差异分析

由于植物生理上的差异,不同植物的相对耐盐性存在明显的差异。当培养基质中盐度较高时,植物遭受盐分胁迫,此时不同植物对盐度具有不同的反应,而较为耐盐的植物则可通过不同的适应机制来减轻盐分危害。试验结果显示,不同作物对盐分离子的吸收和累积具有不同的特点,而这些特点或规律与作物耐盐性有一定联系。试验结果和大量已有的资料表明,棉花是一种较为耐盐的喜钠作物<sup>[1]</sup>。在非盐渍条件下,棉花是供试作物中体内 K/Na 比最低的作物,表明其喜钠特性(表 3)。在不同盐度水平下,棉花地上部分组织(叶、茎)中钠浓度都较高(表 2),随盐度和钠吸收量的增加,棉花吸钾和生物累积

所受的影响却很小,棉花体内大量的钠累积可能与根系表层细胞具有向内运输的钠离子泵有关<sup>[9]</sup>。棉花对钠盐的较好反应,是由于钠具有两个方面的作用:一是钠部分替代钾的营养功能<sup>[1]</sup>;二是钠可能起提高细胞束缚水能力等作用,因而生长在盐渍条件下的棉花,其叶中水分含量增加,具有多浆特性(表6)<sup>[2,4]</sup>,以抵御盐分危害。

表5 不同作物种类不同部位钙累积量(毫克/盆)

Table 5 Calcium accumulation in different parts of some crop species (mg / pot)

作物 Crop	处理 Treatment	叶 Leaf	茎鞘 Stem and sheath	地上部分 Aerial parts	根 Root	全株 Plant	
						Ca	K / Ca
小 麦	S0	13.18	/	13.18	11.40	24.58	4.33
	S1	9.39	/	9.30	6.93	16.32	4.87
	S2	7.60	/	7.60	5.54	13.14	5.10
	S3	6.18	/	6.18	4.52	10.70	5.21
大 豆	S0	22.85	11.27	34.12	6.30	40.42	1.19
	S1	16.80	8.45	25.25	4.51	29.76	1.14
	S2	13.19	5.87	19.06	3.81	22.87	1.14
	S3	8.57	4.01	12.58	2.60	15.18	1.22
棉 花	S0	25.68	7.77	33.45	2.85	36.30	0.63
	S1	24.09	6.98	31.07	2.83	33.90	0.63
	S2	20.75	6.13	26.88	2.64	29.52	0.65
	S3	17.67	5.26	22.93	2.24	25.17	0.67
玉 米	S0	12.96	5.35	18.31	8.23	26.54	2.90
	S1	9.63	2.88	12.51	7.25	19.76	3.01
	S2	7.92	2.07	9.99	5.16	15.15	3.34
	S3	6.64	1.69	8.33	4.72	13.05	3.35

表6 盐度对不同作物种类叶中含水率的影响(10×g/kg)

Table 6 Effect of soil salinity on water contents in leaves of some crop species(10×g/kg)

处 理 Treatment (mmol / L)	作物种类 Crop species			
	小 麦 Wheat	大 豆 Soybean	棉 花 Cotton	玉 米 Corn
0	87.94	78.68	83.05	90.03
50	87.49	77.87	83.16	88.26
100	86.43	76.09	84.71	88.21
150	84.99	75.78	84.18	87.09

在供试作物中,玉米耐盐性居中,这与玉米对钠的吸收和累积特性有关,玉米根系吸

收钠后,主要是在根系中累积,而很少向地上部分运输(表 2,表 3),从而使地上部分各组织受钠盐危害小,植株生长受抑制的程度相对较轻,因而玉米具有较好的耐盐性。大豆耐盐性很差,盐度对大豆的不良影响可归结为两个方面:一是盐度导致营养缺乏。豆科植物对钙素需求较大,钙素营养对大豆的初期生长、根瘤形成及其固氮能力具有良好的效应<sup>[3]</sup>,而试验结果也表明,盐渍条件下,大豆对钙的摄取量随盐度增加而大幅度减少(表 5),造成钙素营养缺乏,不利于大豆的生长。另外,盐度对根瘤菌生长及其固氮能力也可产生不利的影响,从而影响大豆植株的养分供应和生长。

### 参 考 文 献

1. 陈国安,1992:钠对棉花生长及钾钠吸收的影响。土壤,第24卷4期,201—204页。
2. 罗宾,1983:棉花生理学。上海科学技术出版社。
3. 义井俊行等,1989:钙素对大豆初期生长根瘤形成及固氮能力的影响。土壤学进展,第17卷2期,32—34页。
4. Sharma, S. K., Gupta, I. C., 1986: Saline Environment and Plant Growth. Agro. Botanical Publishers.
5. Maas, E. V., Hoffman, G. J., 1977: Crop salt tolerance: Current assessment. J. Irrig. Drain. Div. ASCE, 103: 115—134.
6. U. S. Salinity Laboratory Staff, 1954: Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soil. U. S. Dept. Agric. Hb. no. 60, U. S. Gov. Print Office.
7. Akita, S., Cabuslay, G. S., 1990: Physiological basis of differential response to salinity in rice cultivars. Plant and Soil, 123(2): 277—294.
8. Sharma, P. C., Gill, K. S., 1992: Effect of salinity on yield and jon distribution in pearl millet genotypes. Arid Soil Research and Rehabilitation, 6(3): 253—260.
9. El-Kobbia, T., El-Nennah, M., 1980: The uptake of sodium and chloride ions by sunflower and cotton. in Intern. Symp. Salt Affected Soils Proceedings (Karnal).

## STUDIES ON RELATIVE SALT TOLERANCE OF CROPS

### II. SALT TOLERANCE OF SOME MAIN CROP SPECIES

Chen Deming and Yu Renpei

(Institute of Soil Science, Academic Sinica, 210008)

#### Summary

Salinity in soil or water presents a stress condition for growth of crops that are of increasing importance in agriculture. Crops differ greatly in their ability to survive and yield satisfactorily when grown on saline soils. Information on the relative tolerance of crops to a saline soil environment is of practical importance in planning cropping schedules for optimum returns.

The relative salt tolerance of crops in the earlier growth period was investigated via pot culture tests with salinized light loam soil and four crop species in order to understand differ-

ences in salt tolerance of wheat, soybean, cotton and corn and its physiological mechanisms.

The results obtained showed that cotton was the most salt-tolerant crop species and soybean was the most salt-sensitive one among four the crop species tested. Plant element analysis indicated that sodium concentration and sodium accumulation in all organs of crop plants increased sharply with the increase of soil salinity level. After absorbed by roots of wheat, soybean and cotton, sodium was transported to the aerial parts to certain extent. After absorbed by roots of corn, sodium was mainly accumulated there. It was only potassium accumulation but not potassium concentration in all organs of crop plants that decreased remarkably with the increase of salinity level in the media. Calcium concentration and calcium accumulation in all organs of crop plants decreased to certain extent with the increase of salinity level. After absorbed by roots of crop plants, potassium and calcium were mainly transported to the aerial parts. So potassium accumulation and calcium accumulation in the above-ground organs were more than those in the roots.  $K^+ / Na^+$  ratios in crop plants decreased with the increase of soil salinity. The large variations in responses of different crop species to salinity existed owing to difference in plant physiology, i.e., difference in the ability to carry out special adaptive mechanisms. The results showed that cotton could absorb and accumulate more sodium in its organs under all salinity level. Sodium could remedy the states of nutrition and water of cotton plant. So cotton was the most salt-tolerant crop species. After absorbed by roots of corn, sodium was mainly accumulated in the roots. Sodium concentration in the above-ground organs of corn was too low to suppress growth of corn plant seriously.

**Key words** Salt tolerance, Crop species, Salinity level