

# 马铃薯的耐盐性及干旱沙地盐水滴灌试验

龚家栋

(中国科学院兰州沙漠研究所, 730000)

Dov Pasternak

(以色列本固里安大学应用研究所)

Yoel Demalach

(以色列内格夫盐水灌溉试验站)

## 摘要

马铃薯的耐盐性和盐水滴灌试验于1993年2月至7月在以色列内格夫盐水灌溉试验站进行。该试验灌溉水源为国家输水系统(1.2dS/m)和当地深层地下水(6.2dS/m),灌溉频率为每天1次、3次和6次,在试验中进行了有关生理、生长、产量以及土壤积盐的测试。根据试验结果,每天灌水1次,盐水灌溉与淡水灌溉相比产量降低12%,而每天灌水3次和6次,盐水对产量没有明显影响。然而,盐水灌溉使块茎单重和干重率有不同程度增加。另外,盐水灌溉降低了植株高度、植物生长和干物质积累。只要实施合理的灌溉,在沙地上种植马铃薯可以获得较高的产量和品质。由于沙地的高渗透性,可以利用滴灌进行盐水灌溉,这样也易于随时补充植物生长所需的水分和营养。

**关键词** 沙地, 马铃薯(品种 *desiree*), 耐盐性, 盐水灌溉, 滴灌

全球陆地表面有400万平方公里为流动沙丘占据,其邻近地区还有200万平方公里的固定沙丘<sup>[3]</sup>,沙漠的开发,不只是一要避免由于沙丘移动造成的危害,更为重要的是从一直被认为没有生产潜力和易于遭受风蚀破坏的贫瘠土地上获得较高的产出<sup>[1]</sup>。对于那些位于干旱半干旱地区的大多数发展中国家来讲,流动沙丘和固定沙丘也许是唯一可供进一步开发的土地资源<sup>[4]</sup>。然而,在这些地区可供灌溉利用的淡水资源极为缺乏,地下水又多为咸水<sup>[2]</sup>。中国沙漠及沙地面积共约71万平方公里<sup>[2]</sup>,占国土面积的7.4%,下伏浅层地下水大多亦为咸水。因此,在干旱沙地上进行盐水灌溉试验研究在国际国内都具有重要的意义。

以色列从70年代开始,围绕节水和灌溉技术开发,在内格夫荒漠进行盐水灌溉的研究,取得了丰硕的成就。内格夫盐水灌溉试验站自1981年建立以来,进行了包括蔬菜、谷

1) International Center for Arid Land Crops. A Proposal for an International Cooperative Program, 1992.

2) Pasternak D. *et al*, Crop Irrigation with Saline Water. Notes for International Course, 1993.

物、水果等近 50 个作物种和品种的盐水灌溉试验<sup>[5]</sup>, 总结了一系列的成功经验, 大部分已应用于商业化生产。马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.) 开发是以色列新的农业开发项目, 尽管对马铃薯的耐盐性和灌溉管理已有一些零星的研究<sup>[11-14]</sup>, 但到目前为止, 还不能应用于生产实际, 迫切需要进行系统的研究。本文总结了笔者赴以色列访问期间参加该项目的部分研究工作, 以期对我国干旱半干旱地区沙地开发提供一些借鉴。

内格夫盐水灌溉试验站位于以色列内格夫荒漠中, 比尔谢巴 (Beer-Sheva) 南 30 公里。气候属地中海型干燥气候, 在夏季白天炎热, 晚上凉爽; 冬季较为寒冷, 但气温变化大, 多风。降水稀少, 且集中于 12 月, 次年 1 月和 2 月, 多年平均降水量为 98mm, 主要消耗于蒸发和无效径流<sup>1)</sup>。试验区气候特征见表 1。

表 1 试验地区的气候特征 (1992 年 2 月—7 月)

Table 1 The climatic data in the experimental areas (Feb. -Jul. 1992)

项目 Item	2月 Feb.	3月 Mar.	4月 Apr.	5月 May.	6月 Jun.	7月 Jul.
平均最高气温 (°C)	13.9	17.9	24.3	28.5	33.1	34.2
平均最低气温 (°C)	4.4	5.5	10.1	11.8	15.7	17.1
平均蒸发量 (mm/day) <sup>1)</sup>	3.2	4.7	6.2	8.5	10.4	10.3
平均地面温度 (°C)	3.4	4.9	9.4	11.5	14.6	16.0
降水量 (mm)	21.7	/	/	/	/	/

1) 蒸发量为 A 级蒸发皿 (class A pan) 测量数据。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试验材料

灌溉水源为国家输水系统 (National Water Carrier) 和当地深层地下水 (Local Well), 电导率分别为 1.2dS/m 和 6.2dS/m。田间灌溉采用计算机控制的滴灌系统。

试验地土壤为冲积风积沙土, 含砂量为 60—70%, 粘粒含量 15—25%, 碎屑含量 10—25%<sup>1)</sup>。

马铃薯试验品种为 *Desiree*。

### 1.2 试验设计

该试验为双因子试验, 第一因子为灌溉水的水质, 包括两个水平, 即水的电导率为 1.2dS/m 和 6.2dS/m (下文中前者称淡水, 后者称盐水); 第二因子为灌溉频率, 分别是每天灌水 1 次, 3 次和 6 次。试验按完全随机裂区式布置, 6 个裂区, 共有  $2 \times 3 \times 6 = 36$  个处理。每一个处理面积为  $36\text{m}^2 (9 \times 4)$ , 种植三行, 株行距为  $0.5\text{m} \times 1\text{m}$ , 两行作为前期采样区, 中间行为最终产量采样区。

### 1.3 田间管理

1992 年 2 月 17 日马铃薯播种, 播种前用 50mm 淡水洗盐, 并施底肥, 施肥量按下述比例: 有机肥 5000 公斤/公顷, 过磷酸钙 1500 公斤/公顷, 氯化钾 500 公斤/公顷, 硫酸铵 500 公斤/公顷。马铃薯

1) Ramat Negev Agricultural Experiment Station. Prepared by the Ramat Negev Regional Council (1988).

发芽后一个星期, 随灌溉水加入磷 40mg/kg, 钾 35mg/kg, 氮 190mg/kg (其中 85% 的硝态氮, 15% 的氨态氮)。

考虑到马铃薯在幼苗期的耐盐能力较弱, 从播种开始的六个星期内完全用淡水灌溉, 4 月 1 日开始按试验设计要求进行不同的灌溉处理。灌溉水量依据作物叶子覆盖度和 A 级蒸发皿所测得蒸发量的关系确定, 当叶子覆盖度小于 50% 时, 灌溉水量为蒸发量的 60%; 叶子覆盖度 50—80% 时, 灌溉水量为 80%; 叶子覆盖度大于 80% 时, 灌溉水量为 100—110%。

#### 1.4 测量内容

1.4.1 土壤盐分测定 整个试验期, 采集土样 4 次, 即 4 月 9 日, 5 月 4 日, 6 月 4 日和 6 月 29 日, 每一个处理包括三个深度 (5—15cm, 15—30cm, 30—60cm)。土壤取样只在滴头以下部位。在实验室中测量土壤饱和萃取液的电导率。

1.4.2 植物水势 植物水势测量三次, 即 4 月 13 日, 5 月 12 日, 和 6 月 16 日, 分别在 8:00, 9:30, 12:00, 14:30, 17:00。每次取植株顶部第二片叶子, 用压力罐测量。

1.4.3 生物测量 整个试验期共进行 7 次生物测量, 采样从每个处理两边行随机选择两株。测量内容包括植株高度, 并在实验室中将植株分为叶、茎、块茎, 分别测量其鲜重和干重, 叶面积是由每个样品中随机摘取 10 片叶子, 用便携式叶面积仪 (Model LI-3000) 测量, 然后根据所有叶子的干重计算整个样品的叶面积。

1.4.4 产量 7 月 7—8 日, 从每个处理的中间行, 收获 4 米长度内的马铃薯, 测量其数量和鲜重。同时, 对可市售马铃薯 (单个重大于 60 克, 形态较好) 的数量和干、鲜重进行进一步测量。

## 2 试验结果

### 2.1 产量

每天灌溉 1 次, 盐水灌溉使马铃薯产量下降 12%, 统计检验 (New Multiple Range 法) 在 1% 显著度水平有明显差异; 而在每天灌水 3 次, 盐水灌溉反而使产量微弱上升; 每天灌水 6 次, 盐水灌溉对产量无明显影响 (表 2)。灌溉频率不同处理之间, 只有淡水灌溉有较大差异。盐水灌溉使马铃薯块茎数量下降, 块茎平均单重和干重率上升。

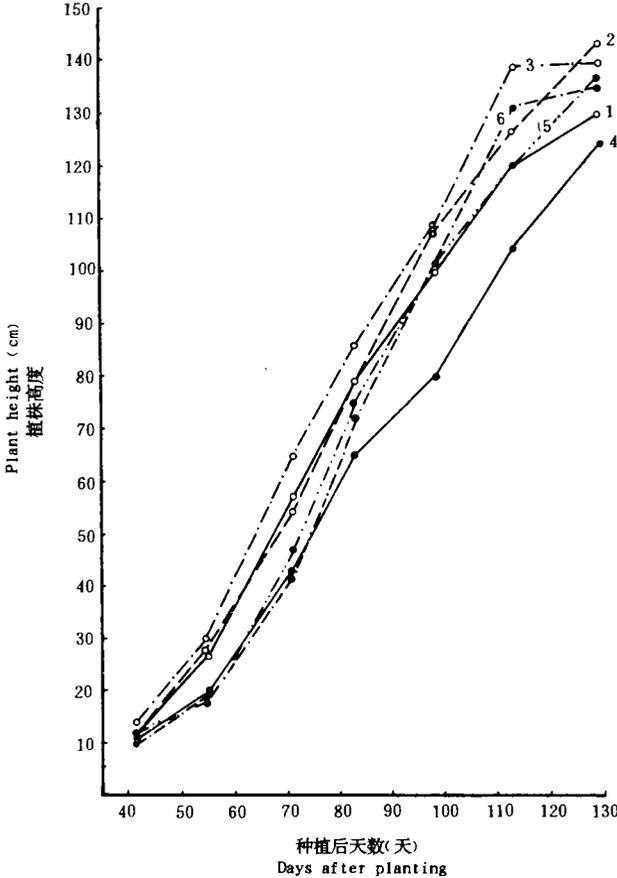
表 2 盐水灌溉以及不同灌溉频率对马铃薯产量的影响

Table 2 The effect of saline water irrigation and different irrigation frequencies on the yield of potato

灌溉处理 Treatment	淡水 (1.2dS/m) Fresh water			盐水 (6.2dS/m) Saline water		
	1 次/天 1 time/day	3 次/天 3 times/day	6 次/天 6 times/day	1 次/天 1 time/day	3 次/天 3 times/day	6 次/天 6 times/day
产量 (kg/m <sup>2</sup> )	7.81 ± 0.87	6.02 ± 0.79	6.42 ± 0.59	6.87 ± 0.64	6.46 ± 0.53	6.19 ± 0.26
块茎数量 (个/m <sup>2</sup> )	98.5 ± 14.3	80.3 ± 15.7	87.2 ± 10.5	86.9 ± 6.5	74.3 ± 22.3	76.8 ± 5.4
块茎单重 (g/个)	80.2 ± 10.7	78.4 ± 24.5	73.9 ± 5.6	79.3 ± 7.6	99.7 ± 32.4	81.0 ± 6.2
干鲜重比 (%)	19.5 ± 1.4	19.5 ± 0.8	20.0 ± 1.2	22.1 ± 1.8	22.6 ± 2.6	20.3 ± 0.9

### 2.2 植株高度

盐水灌溉对植株高度的影响在生长早期非常明显,随着生长期的延长,盐水影响逐渐减弱。在4月13日(种植后55天),植株高度下降32%,而在6月24日,只有3%。灌溉频率之间的影响差异由于灌溉水质的不同各具特色,淡水灌溉条件下,在110天左右以后,植株高度增长减缓,而且每天灌水6次明显优于每天灌水1次和3次;盐水灌溉每天3次和6次的灌溉频率,相差不大,灌水1次的植株高度明显低于其它处理(图1)。



淡水灌溉: 1 每天灌水1次; 2 每天灌水3次; 3 每天灌水6次  
 盐水灌溉: 4 每天灌水1次; 5 每天灌水3次; 6 每天灌水6次

图1 盐水灌溉对马铃薯植株高度的影响

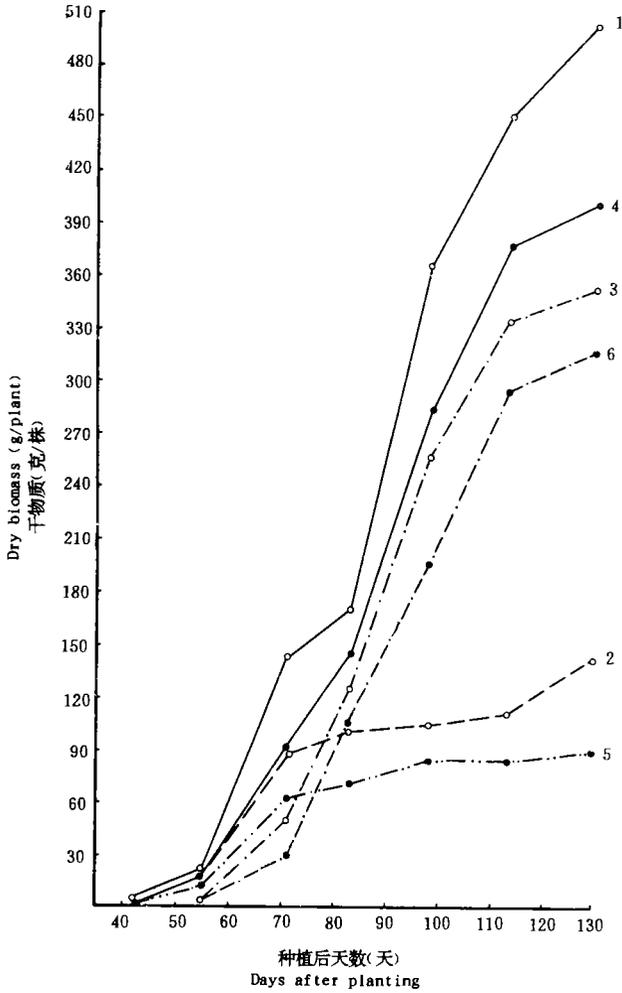
Fig. 1 The effect of saline water irrigation on plant height of potato

### 2.3 干物质积累

盐水灌溉使植株干物质积累下降,每天灌水3次盐水和淡水之间的差异相对较小,而其它处理均具有明显差异。如图2,给出了每天灌水1次,盐水灌溉对总生物量、块茎干重和地上部分干重的影响,与淡水灌溉相比,其差异显著。

### 2.4 叶面积指数

盐水灌溉对叶面积指数的影响比较微弱,统计检验(New Multiple Range 法)没有显著性差异,而且每天灌水3次淡水与盐水之间几乎看不出有多大差异。



淡水灌溉:1 总生物量; 2 地上部分干重; 3 块茎干重

盐水灌溉:4 总生物量; 5 地上部分干重; 6 块茎干重

图 2 灌溉频率为每天 1 次时盐水灌溉对马铃薯干物质积累的影响

Fig. 2 The effect of saline water irrigation 1 time / day on dry matter accumulation of potato

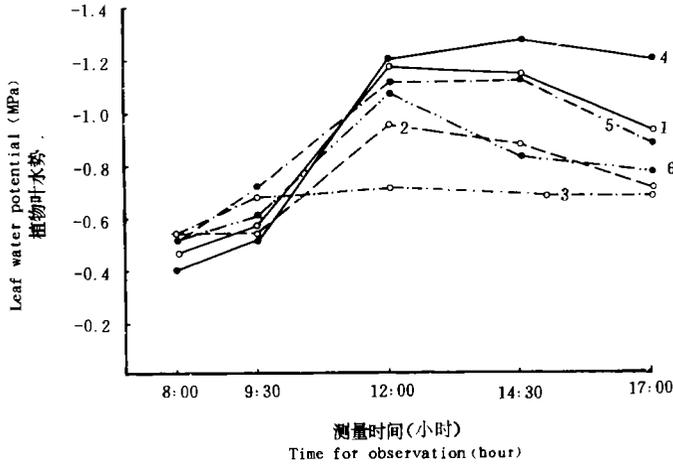
### 2.5 植物水势

图 3 为 4 月 13 日植物水势测量结果,在早晨 10:00 以前植物水势差异不大,但在 10:00 以后各处理之间的差异逐渐明显,盐水灌溉使植物水势下降,随着灌溉频率增加,植物水势上升。而且,每天淡水灌溉 6 次,水势几乎呈水平变化。5 月 12 日和 6 月 16 日的测量结果也具有同样规律,只是由于温度较高,水势在数值上有所差异。

### 2.6 土壤积盐

盐水灌溉使土壤盐分增加,而且随着灌溉时间的延长,盐分积累加剧。但在滴灌条件下特别是滴头以下部位,由于水分随时补充,盐分随之扩散,土壤却始终保持较低的盐分<sup>[5]</sup>,如图 4 所示,盐水灌溉使土壤盐分增加并不强烈,更为重要的是,随着灌溉时间的延

长,土壤盐分也没有呈规律性的增加。不同的灌溉频率对土壤盐分的积累没有显著性差异。



淡水灌溉:1 每天灌水 1 次; 2 每天灌水 3 次; 3 每天灌水 6 次  
盐水灌溉:4 每天灌水 1 次; 5 每天灌水 3 次; 6 每天灌水 6 次

图 3 盐分胁迫对植物水势的影响

Fig. 3 Effect of salt stress on leaf water potential of potato plants

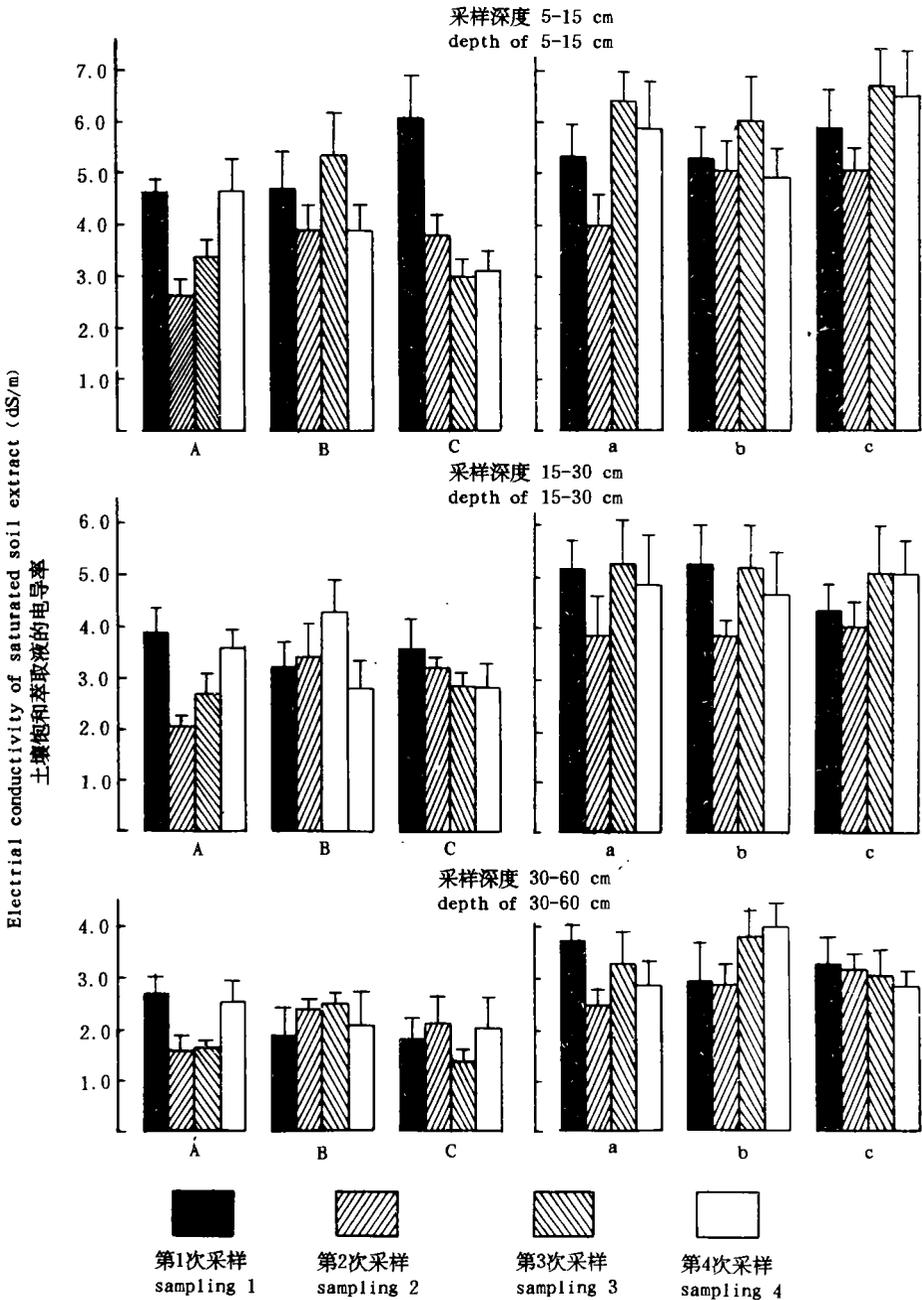
### 3 讨论

#### 3.1 盐分胁迫对马铃薯生长的影响

盐分对植物影响的症状和水分胁迫的症状相似<sup>[1]</sup>,土壤水分减少或盐分增加,引起植物水势下降,叶子扩散阻力增加<sup>[6]</sup>,气孔阻力增大,光合效率与酶活动下降<sup>[8]</sup>,使植株个体减小,茎叶数量下降,死叶增多,产量降低<sup>[10]</sup>。这些现象在我们的试验中也同样存在,只不过程度上有所差异。

#### 3.2 马铃薯的耐盐性

作物的耐盐性是指作物对盐分胁迫的适应能力和抵抗能力。Maas 和 Hoffman 在 1984 年将马铃薯列为中等敏感作物<sup>[14]</sup>,而 Chauhan, R. P. S. 等人认为马铃薯的耐盐极限为 4.0dS/m,当灌溉水盐分达到 6.0dS/m 时,产量下降 48%<sup>[11]</sup>。Efron, H. 和 Levy, D. 发现 3.8dS/m 的盐水灌溉产量下降 15—18%,6.0dS/m 时,产量下降 21—31%。而 Meiri, A. 等人却有盐水 (3.85dS/m) 灌溉对产量影响不明显的报道<sup>[12]</sup>。在本项试验中,电导率为 6.2dS/m 的盐水对产量的影响不明显,只有灌溉频率每天 1 次时,产量下降 12%。可见,上述观点不尽一致,而且相互矛盾。作物的耐盐性在种类和品种之间,存在相对概念,但具体到某一作物,往往很难找出一个确切的数值,因为它和试验所用的品种、土壤、灌溉乃至气候等诸多因素密切相关。在适当的盐分胁迫条件下,只要实施恰当的管理措施,完全可以获得较高的产量。



淡水灌溉: A 每天灌水 1 次; B 每天灌水 3 次; C 每天灌水 6 次  
 盐水灌溉: a 每天灌水 1 次; b 每天灌水 3 次; c 每天灌水 6 次

图 4 试验期间滴头下面土壤饱和萃取液的电导率变化

Fig.4 Variations in the electrical conductivity of saturated soil extract (ECe) during the experiment

### 3.3 沙地更适合于盐水灌溉

沙地由于其本身的结构特征,颗粒之间团聚力差,保水保肥能力低,易于遭受风沙危

害,这是沙地的不利因素<sup>[4]</sup>,也正因为如此,沙地通透性强,利于盐分渗漏,根系带通气良好,有利于根系发育<sup>[7]</sup>。在本项试验中,得到的最大马铃薯产量为 8.78 公斤/平方米,最多块茎数量为 119.3 个/平方米。可见,沙地并不是植物生长的限制因子<sup>[7]</sup>。然而,在沙地上进行农业生产,必须采用现代化的灌溉技术<sup>[10]</sup>,对植物生长所需的水分和养分给予随时补充<sup>[4]</sup>。在滴灌条件下,滴头下面椭球状土体,始终保持最低盐分,植物根系也主要发育在这一部分<sup>[5]</sup>。另外,滴灌的节水作用是众所周知的,滴灌只湿润土壤有限的部位(根系带),同样的灌水量,使用滴灌与其它灌溉方式相比,植物能获得更多的水分,而且,它也不存在象喷灌那样叶子被盐灼伤的问题。所以,滴灌比其它任何灌溉系统更适合于沙地盐水灌溉。据以色列经验,对于长期利用盐水灌溉的沙地,在播种前(一年生作物)或定期(多年生作物)有目的地进行洗盐,一般不会对植物造成较大的危害<sup>[5]</sup>。

### 3.4 盐水灌溉的频率

适宜的灌溉是影响作物产量的关键<sup>[10,14]</sup>。在沙地上,灌溉水量增加,产量也随之提高,但灌溉水量超过蒸发量的 100%,产量没有明显的改善<sup>[10]</sup>。盐水灌溉需要高频率灌溉,然而,频率太高,影响植物根系带的通气条件,反而对植物生长不利。而且,每一种作物对灌溉的要求也是不一样的。Pasternak 等人在西红柿的盐水灌溉试验中发现,每天灌水 1 次明显优于其它灌溉处理<sup>[7]</sup>。本项试验结果,也表明马铃薯的盐水和淡水灌溉频率每天 1 次的产量高于每天 3 次和每天 6 次的产量。

## 参 考 文 献

1. 潘瑞炽,董懋得,1990:植物生理学,365页,人民教育出版社。
2. 朱震达等,1986:中国沙漠概论(英文版),3页。
3. Wilson, I. G. 1973: *Ergs. Sediment. Geol.*, 10: 77—106.
4. Tsoar, H. 1990: The Ecological background, deterioration and reclamation of desert dune sand. *Agriculture, Ecosystems and Enviroment*, 33: 147—170.
5. Pasternak, D., and DeMalach, Y. 1987: Saline water irrigation in the Negev Desert. Published by the Publications Section, the Institutes for Applied Research, Ben-Gurion University, Israel.
6. Epstein, E. and Grant, W. J., 1973: Water Stress Relations of the Potato Plant under Field Conditions. *Agronomy Journal*, Vol. 65: 400—404.
7. Pasternak, D. and DeMalach, Y. 1986 / 87: Saline Water Irrigation of Processing Tomatoes Grown on Desert Sand Dunes. Annual Report, Ben-Gurion University, Israel.
8. Ackerson, R. C., Krieg, D. R., Miller T. D., and Stevens, R. G. 1977: Water Relations and Physiological Activity of Potatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102(50): 572—575.
9. Gander, P. W., and Tanner, C. B., 1976: Leaf Growth, Tuber Growth and Water Potential in Potatoes, *Crop Sci.* 16: 534—538.
10. Hang, A. N., and Miller, D. E., 1986: Yield and Physiological Responses of Potatoes to Deficit High Frequencies Sprinkler Irrigation, *Agronomy Journal*, Vol. 78.
11. Chauhan, R. P. S. *et al.*, 1990: Effect of Saline Water on Okra and Potato and Properties of Soil. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 60(5): 350—353.
12. Mantell, A., and Meiri, A., 1980—1993: Irrigation of Autumn Potatoes in the Western Negev with Brackish Sodic Water. Institute of Soils and Water. Scientific Activities.
13. Feigenbaum, S., and Meiri, A., and Sagiv, B., 1984—1987: Potassium Fertilization of Potatoes Irrigated with Saline Water. Institute of Soil and Water. Scientific Activities.
14. Kenneth, K. Tanji, 1990: Agricultural Salinity Assessment and Management. American Society of Civil Engineers, N. Y. 1007.

# SALT TOLERANCE OF POTATO GROWN ON SANDY SOIL AND ITS MANAGEMENT WITH SALINE WATER DRIP IRRIGATION

Gong Jiadong

*(Institute of Desert Research, Chinese Academy of Sciences, 730000)*

Dov Pasternak

*(Institutes for Applied Research, Ben-Gurion University, Israel)*

Yoel Demalach

*(The Negev Experiment Station for Saline Water Irrigation, Israel)*

## Summary

The investigation on the salt tolerance of potato grown on sand dunes and its management with saline water drip irrigation was carried out in the Negev Experimental Station for Saline Water Irrigation from Feb. to Jul. 1993. Potatoes were irrigated with ECw 1.2 dS / m (National Water Carrier) and ECw 6.2 dS / m (Local Well) water at three frequencies: 1 time / day, 3 times / day, and 6 times / day. A series of physiological and growing determination and salt accumulation measurement of the soil under drip irrigation were conducted during the trial. It was found that saline water irrigation reduced potato production by 12% compared with fresh water irrigation at the frequency of 1 time / day, while there were no significant differences between saline and fresh water irrigation at frequencies of 3 times / day and 6 times / day. However, saline water increased tuber weight and dry weight ratio. Plant height, growth and dry matter accumulation of potatoes decreased in case of saline water irrigation. Potatoes of high yield and quality can be produced on sand dunes only by adequate irrigation. We believed that the high permeability of sandy soli could allow the use of saline water with drip irrigation, thus, the natural resources (water and nutrients) can be controlled for the requirement of plant growth.

**Key words** Sandy soil, Potato, Salt tolerance, Saline water irrigation, Drip irrigation