

土壤盐分与作物生长*

刘 寄 陵

(中国农科院土肥所)

盐碱土改良的最终目的,在于夺取作物高产,促进农、林、牧、副各业全面发展。从农业观点来看,一方面要求在大面积上因地制宜地采取以水为主的各项综合措施,建立有利的区域水盐平衡,同时还要考虑各种作物的适应性及不同牧草、林木的耐盐力,以创造合理的地面人工植被。因此盐碱土改良研究工作必须密切联系植物生长,研究土壤盐渍环境与各种作物生长的关系,探索土壤盐分对各种作物影响的生理生态规律,查明作物耐盐力的机理和原因,制定耐盐力诊断和提高耐盐力的方法等等。这些研究工作不仅对盐碱土改良中合理采取生物改良措施提供充分科学依据,同时对于进一步发展土壤改良、作物栽培、植物生理和生物化学等学科,都将起积极推动作用。

近年来,关于土壤盐分与植物生长之间的关系的研究,是国际上非常活跃的一个领域。不仅在农业、土壤、植物有关科学杂志上发表了许多研究报告与论文,同时也出版了一批专门书籍。其中如美国的Bernstein、Hayward系统论述了不同植物耐盐力和盐分对植株水分平衡的影响;苏联的斯佐哥诺夫等的专著《植物耐盐力的生理基础》一书,全面总结了苏联关于不同盐渍类型下植物细胞代谢生理生化方面的研究成果;荷兰的Boyko研究了离子平衡与植物受毒的关系;Greenway阐述了盐渍度与植物生长和代谢的关系;特别是1975年出版了六个国家学者合写的《盐化环境中的植物》一书,更比较全面地概述了盐化环境(土、水、气候)对植物生长代谢各方面的影响。同时国外在盐碱土生物改良措施研究方面也积累了大量科学资料。

本文重点介绍国外关于土壤盐分对植物(特别是农作物)的危害机理、作物的耐盐力以及提高作物耐盐性等方面的研究动向,供有关方面参考。

一、土壤盐分对作物生长的影响

过去,国际上对土壤盐分危害作物的原因,有几种理论:一是所谓“渗透抑制论”,认为土壤盐分主要

以高渗透压影响植物吸水和体内水分平衡,危害作物生长;二是“矿质营养失调论”,认为由于土壤盐浓度增大,使作物体内正常的离子平衡遭破坏,致使某些元素在植物体内含量过多或过少引起营养失调;三是“离子毒害论”,认为盐分中具有毒性的特殊离子在作物体内过量积累,引起各种中毒症状。也有许多学者认为上述三种因素同时存在,不能单纯强调哪一方面是主导因素,必须因作物、土壤盐分类型而定,同时也注意了综合影响问题。此外也有人从植物生理代谢角度提出所谓“氮素代谢影响论”,认为土壤盐分主要引起植物氮素代谢发生改变造成氨中毒等等。因此近年来关于土壤盐分危害问题,从不同角度都开展了一些较深入的研究,力图探索其规律性,查明盐分危害机理,为盐渍条件下栽培作物提供理论依据。

(一)渗透抑制与渗透调节机理的研究

渗透抑制观点的起源,主要是在十九世纪末Schimper提出的所谓“生理干旱”假说基础上发展起来的。这个猜想认为,由于土壤可溶盐的高浓度引起土壤水渗透势降低,就会妨碍植物吸水,扰乱了植物的水分平衡,因而是盐分对植物危害的主要因素。这种“生理干旱”的渗透理论,差不多盛行了60多年。但是从本世纪七十年代开始,随着科学研究的深入,“生理干旱”论越来越显得不完善。

美国、澳大利亚及荷兰许多学者通过研究,认为这种假说存在的缺陷:第一是没有考虑土壤溶液的盐类组成,因为相同浓度下由于离子组成不同,往往对植物并不是等渗的。国外许多试验表明,在相同浓度下混合盐类对植物的渗透危害往往比单纯盐类危害小,苏联学者斯佐哥诺夫根据氯化物类型盐土的一些试验资料分析,认为“生理干旱”理论只适合于蒸发极强、浓度极高的硫酸盐类型的土壤;第二,“生理干旱”论把植物看成是被动的,却没有看到它主动的一面。Bernstein从大量试验看出,多数植物在盐渍化发展过程中,能够保持水流进入植物的梯度,而不是不能吸水。随着盐渍浓度的增加,植物叶子本身能增强对

* 本文承杨守春、阎九康同志审阅,特此志谢。

水分损失的抵抗力,主动地进行渗透调节。植物的多汁性、细胞膨压增大,都是渗透调节的表现。只有当土壤盐浓度极高(例如土壤溶液渗透势高达 -4 到 -6 巴以上,比一般正常土壤渗透势 -0.1 巴大几十倍时)、以及大气蒸发极强而植物渗透调节能力确实不能抵御的情况下,才可能造成“生理干旱”现象,因此许多学者认为植物的耐盐性与耐旱性不是同一概念,它既有联系又有区别。当然,不同的植物其本身的渗透调节能力也各有差异,并没有一种具有非常完善渗透调节的植物。

自从1952年荷兰学者 Van Den Berg 提出了盐渍条件下植物水分平衡与渗透调节有关以后,近年来美国和西方国家的学者针对盐分渗透危害问题,重点围绕盐渍条件下植物本身渗透调节开展了许多研究。其主要特点是从能量观点出发,研究植物渗透调节与水分平衡的关系。如测定根与土壤溶液之间的渗透势和影响植物水分损失的各种参数。许多学者发现,土壤盐化引起棉花、豆类等作物根系抵抗水分进入植株的能力有所增加,同时也主动降低蒸腾率来适应盐化环境,如提高叶气孔的抗水汽损失能力,叶细胞膨压降低,气孔关闭,并产生小叶、脱叶、角质层增厚等形态解剖的变化。从这点出发,国外一些学者甚至提出当盐渍土上栽培作物遇大气、土壤蒸发强烈时可以考虑适当采取某些荫蔽措施,以降低植物蒸腾率和保苗。

在对盐渍条件下作物渗透调节机理的研究中,近年来 Jennings 和 Greenway 等人提出了一种理论,认为盐分危害作物的主要原因,是由于作物本身进行渗透调节时,体内三磷酸腺苷(ATP酶)所消耗的能量太多而引起的。1975年瑞典的 Kylin 和美国的 Quatrano 在系统论述植物耐盐力的细胞代谢和生化特点时也强调,植物受盐分威胁时,为了进行渗透调节,使细胞内浓度增大,质膜在盐分影响下产生了构造上的变化,三磷酸腺苷(ATP酶)、细胞内的离子以及其它一系列生化代谢过程也发生变化,并绘出了盐离子进入植株与其它因素相互作用的图式。这样一来,国外把渗透调节的研究,进一步提高到细胞代谢水平的高度。

联系到渗透调节问题,国外还研究了盐渍条件下作物体内激素变化与水分平衡的关系。许多研究者用豆类、棉花、烟草、向日葵等作物做试验,发现当它们受到盐分威胁时,植株内促进叶气孔张开的激素显著减少,而促进气孔关闭的脱落酸(ABA)则相应增加,结果使植株的蒸腾率降低,改变了体内水分平衡,以利于对盐渍环境的适应。1972年 Mizrahi 进行了烟草对盐分反应的试验,进一步证实了盐浓度与烟草萎蔫程度和脱落酸变化的相关性。最近国外报导盐渍

度也能引起植物体内其它激素(如乙烯、吲哚乙酸)的变化,会直接或间接地影响植物水分平衡。这些研究工作对于人工使用激素加强植物渗透调节和提高耐盐力都有重要意义。

此外,国外在研究盐分渗透危害时,还考虑了土壤水分张力(pF)问题,认为土壤水分张力增大同样使作物不能很好吸水,因此必须把土壤水分张力的影响与盐浓度渗透影响加以区别。

(二)关于“氮素代谢影响论”的确立

土壤盐分促使作物新陈代谢过程减弱,这是普遍公认的现象。为了查明其机理,国际上从生理生化角度进行了许多研究。近年来国际上出现一种所谓“氮素代谢影响论”,主要是苏联的斯佐哥诺夫等人提出的,认为土壤盐分对作物的危害,是由于盐分引起作物氮素代谢过程中产生了具有毒性的中间产物造成的。他们根据许多栽培作物的试验结果,确认生长在盐化土壤上的作物氮代谢发生很大变化,蛋白质合成与水解受到破坏引起了氨在植株内积累。例如在盐渍条件下作物的地上部器官内,蚕豆增加了十四种氨基酸,向日葵增加十一种氨基酸,大麦增加了九种氨基酸;而在作物根部,向日葵积累的氨基酸最多,次为蚕豆,大麦最少。当然有些氨基酸是无毒性的,但也有的对作物毒性很大,如羟(基)脯氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、蛋氨酸、酪氨酸等,它们对玉米、烟草等作物的嫩枝有毒性影响;苯丙氨酸与酪氨酸积累于作物体内,还会促进黑色素的形成,使作物的叶出现坏死黑斑点;另外,作物体内游离的精氨酸和赖氨酸,在酶的作用下如果产生腐(肉)胺时,其毒性比NaCl大7—8倍,使作物患严重的叶斑枯病。说明这些氨基酸和胺对作物都属于毒性物质,但另一方面,作物体内在代谢过程中产生的糖类、有机酸、其他氨基酸(主要是脯氨酸)、酰胺(如谷氨酰胺、天门冬酰胺)、某些色素(如胡萝卜素、花青素)、核酸和蛋白质等,又属于抵抗毒性的保护性物质。因此斯佐哥诺夫等认为,在盐化条件下作物的耐盐程度,关键在于氮素代谢过程中产生的“毒性中间产物”与“保护性中间产物”两方面的数量对比。

“氮素代谢影响论”引起了西方学者的强烈兴趣。不过他们认为这种理论的证据还不够充分。理由是斯佐哥诺夫的试验资料只是根据一些栽培作物的试验,还没有全面提供有关盐生植物的资料来对比证明。正如以色列的 Poljakoff-Mayber 等指出的那样,这种理论“只能作为值得进一步研究的有价值的学说”。

(三) 养分失调与离子毒害机理的研究

“矿质营养影响论”和“离子毒害论”都是从作物对盐分离子的吸收与积累方面来考虑的。国外科学家在这方面作了大量的研究工作，并提出了各种各样的理论。

美国学者最早提出所谓“钠诱缺钙”观点，认为作物在盐化土中吸收的钠过多，就抑制了作物对钙或钾等养分的吸收，破坏了作物体内的矿质营养平衡。例如他们常把紫花苜蓿下部叶片发红并从叶柄处脱落作为典型症状来认识。同时也认为土壤中 SO_4^{2-} 离子浓度高会促使作物出现缺钙增钠现象。巴基斯坦学者 Repp 指出：在盐渍条件下迫使许多作物汁液中钠含量比钙含量高 3—10 倍，这是一个不利的矿质营养平衡。从这一观点出发，各国科学家近年来不仅很重视钙在改良盐碱土中的作用，同时还密切联系作物生长来进行研究。多数学者认为，钙能限制作物对 Na^+ 的吸收，而又允许吸收 K^+ 。美国的 Epstein 等人为了更好地观察盐渍条件下钙对作物的作用，用菜豆作盐溶液培养试验，发现 50 毫克分子浓度的 NaCl 溶液会抑制菜豆生长，但只要稍为加 1 毫克分子浓度的 CaSO_4 时，马上就恢复了生长，而且叶片内的钠含量就迅速减少，并认为其主要原因是钙能增强根细胞质膜的排钠能力。

近年来，苏联及一些西方国家学者强调所谓“盐分破坏根系选择性吸收”的理论，认为当土壤盐浓度低时，一般作物的根系具有选择性吸收营养离子的能力，即使也吸收一些非营养性离子如氯、钠等，但这些离子多半只存在于根、茎内，很少到达上部叶片（盐生植物除外）；只有当土壤盐浓度增大时，根系选择性吸收减弱，大量非营养性离子进入木质部随“蒸腾流”输送到作物地上部组织和器官内，使植株内非营养性离子过饱和而造成营养失调。Arnold 认为作物体内有游离的氯离子出现就表示作物开始受抑制，他提出用游离离子与吸收离子的比值来鉴别耐盐力，正是从“根系选择性”观点为依据的。

在盐离子的吸收与积累的研究中，近年来苏联的斯佐哥诺夫、沙霍夫进一步从植物生理角度研究了盐离子怎样毒害作物的问题。他们提出了耐盐力的“离子束缚论”。这种理论的大意是：植物细胞内某些有机成分，如亲水蛋白质、某些有机酸和多糖类物质，具有能束缚氯和硫酸根离子的能力。当 Cl^- 或 SO_4^{2-} 等离子进入植株后，它们能把 Cl^- 的毒性影响改变为非活性影响，对原生质起保护作用使其不受电解质的凝聚影响，或者能把这些毒性离子固定起来成为有机-无机成分。例如耐盐力强的猪毛菜 (*Salsola*) 体内可

含 25% 的有机酸，能束缚吸入的盐分离子，使之成为有机酸盐；耐盐强的海藻中有 30% 被酯束缚的硫酸盐；蕃茄组织中含氯 6.6% (占干重)。他们认为如果植物本身束缚外部进入离子的能力减弱，土壤盐离子进入植株后呈游离状态，植物就受害。1975 年以色列学者 Poljakoff-Mayber 也指出土壤盐渍影响下植物细胞内有一种所谓离子“区域化”(Compartmentalization) 现象，意思是说离子可以被植物固定在细胞内某些部位。这与苏联的“离子束缚论”很相似，不过，他根据 1972 年 Shimong 的观察资料，认为目前只发现固定束缚的是 Na^+ 而不是 Cl^- ，钠可以在细胞核和线粒体内找到，可以在细胞壁和质膜处发现（如柞柳、海榄雌）。但是认为目前还没有发现氯在细胞内“区域化”的证据。因此认为“离子束缚论”的理论还需进一步加以研究。

关于土壤盐溶液中个别离子的毒性问题，国外也开展了一些研究，如美国对盐渍条件下硼害、锂害的研究，伊拉克对硼害的研究，但一般只从可溶态含量及作物某些症状来阐述，未从作物的生理机理上查明原因。

在研究方法方面，过去国外研究盐离子毒害影响时，采用的试验方法多半是在控制条件下测定土壤溶液（或培养液）及植株内各种离子成分的数量变化或移动过程与强度，并配合作物生长及作物生理有关指标加以鉴定。但是国外学者考虑到盐溶液渗透影响与离子毒害影响是同时进行的，采用这些方法往往不能把两方面影响区别开来，难于查明离子毒性的真正机理。故近年来许多人在实验室内使用不同盐类恒定的等渗溶液方法来测定离子毒性影响，有人还用蔗糖、甘露糖醇或大分子的葡聚糖与等渗的盐溶液对比来研究离子对作物的影响，这些方法都是具有一定成效的。

(四) 不同盐土类型对作物影响的研究

过去，文献上一般把不同盐类对作物的危害程度，经常按递减次序来表示，即 $\text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{MgCl}_2 > \text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{CaCl}_2 > \text{MgSO}_4 > \text{Na}_2\text{SO}_4$ ，尤其认为盐渍土中的主要盐类 NaCl 比 Na_2SO_4 的危害作用要大。但是近年来国外的研究表明，后一结论是需要重新考虑的。例如一些学者利用等渗溶液测定离子毒性的方法，对许多作物进行研究，初步发现蕃茄、亚麻、甜菜、苜蓿、胡萝卜、葱及其它一些作物，在相同的渗透压时， Na_2SO_4 的危害却比 NaCl 危害大，但对棉花、桃树及某些作物来说， Na_2SO_4 毒性又比 NaCl 小。因此认为必须按具体情况，根据不同作物的生理特性和耐盐特点进行深入研究，才能判断出不同盐类的危害程度。

关于不同盐土类型对不同作物的离子吸收影响问题,近年来国外进行了较详细的研究,主要在氯化物与硫酸盐为主的盐土上进行田间、温室或培养方面的对比试验(也有少数试验与苏打盐土对比),仔细观察作物对离子的吸收能力,以及不同生育阶段植株内各种阴、阳离子和灰分元素所占的比例关系,力图查明不同盐类对作物的危害程度。根据试验,有人认为在氯化物为主的盐土上作物吸收的阴离子相对较多。又据报道,棉花在氯化物盐土上比在硫酸盐盐土上吸收一价阳离子数量更大;玉米在含盐量相同的条件下(0.4%和0.6%),氯化物盐渍型比硫酸盐盐渍型吸收的阴离子要少一倍多。就钾、钠、钙、镁吸收的比率来看,在盐化条件下的作物有很大变化,但在非盐土上或耐盐力弱的作物,四种阳离子的吸收比率变化都很小。这些试验结果都为土壤盐分干扰物体内离子平衡提供了大量证据。

与此同时,国外也利用放射示踪等方法研究了不同盐渍类型对大麦、蕃茄等作物吸收氮、磷和其它养分的影响。从许多资料看来,随着盐浓度的增加,作物吸收氮、磷的数量逐渐减少,不过由于氯化物和硫酸盐的不同,两者对氮、磷吸收的比率也有很大差异。国外有人认为土壤中氯化物含量多时,会加速作物对磷的吸收,但另一些试验结果却相反;还有人提出作物的氮素吸收不仅与盐分类型有关,同时也与盐化土壤中存在的氮素形态(如氨态氮和硝态氮)有关。但这些论点都需要进一步加以证实。

近年来,引人注目的是,国外在研究不同盐渍类型对作物离子吸收影响的同时,特别加强了对作物生理变化的研究。许多学者以氯化物和硫酸盐作对照,观察作物地上地下器官解剖构造的变化,如生长矮化和相对生长率的差异,叶数量、叶面积、气孔数和叶温度变化的差异以及组织器官分化的差异,叶的光学性质及光合作用的差异,并研究了两者水分交换、气体交换和蒸腾率差异等,都积累了许多科学数据。斯佐哥诺夫在总结苏联对棉花、蕃茄、蚕豆等作物试验结果时指出,生长在氯化物盐渍条件下这些作物一般容易发育成“盐生多汁型”的解剖形态(大麦除外),即出现叶面积和气孔数减少,叶片及表皮细胞增厚,细胞泡胀和汁液增加并引起蒸腾降低、叶温增高等现象;而生长在硫酸盐条件下的作物则多半易出现“盐生旱生型”的特征,如茎、叶解剖形态变异较小,出现蒸腾强化,叶温降低等情况。并且认为长期生长在氯化物条件下的作物比生长在硫酸盐条件下的作物具有较大的耐盐力,但其抗干旱、耐冷热的能力却相对减少。因此他反复强调,盐化土壤对作物生长的影响,不仅是由于全盐量的多少引起的,而更重要的是由于不同盐分类型的作用。

说明研究土壤盐分与作物生长的关系,必须对盐分类型及其所占比例做认真的探索。

(五)盐分与气候因素对作物的综合影响

众所周知,现代科学的两个重要特点,一是把生态系统作为一个整体来研究;二是各学科之间的互相渗透。因此近年来国外一些科学家认为,在研究土壤盐渍度与作物的关系时,还必须联系其它环境因素,查明它们对作物的综合影响。在这方面,有人已逐步开始把盐渍度与某些气候因素联系起来,开展了一些研究工作。

例如,以色列学者 Gale 不久前报道了盐渍条件下温度、辐射和空气湿度变化对作物生长影响等有关试验资料,其结果可概括如下:(1)在相同条件下,气温越高,盐浓度对蔬菜、甜菜、葡萄等作物的危害越大,低温时影响较小;(2)研究了在不同光照强度下盐渍度对豆类 and 棉花生长的影响,发现豆类作物的表现是,有盐分影响的只在高辐射(30000勒克司)时才降低其净光合强度,而低辐射(小于8000勒克司)则不降低其净光合强度;而棉花不管在怎样的光照条件下,只要光照越强,盐浓度的危害就越大,这可能与不同作物的生理特性有关。(3)空气相对湿度越大,可以减轻盐渍对许多作物的危害。认为这可能是由于相对湿度高有利于作物本身调节渗透势和减少水分损失,以维持正常的水分平衡等原因。最后, Gale 指出,凡是能引起作物加剧蒸腾或提高叶片温度的气候因素(辐射、气温、湿度、风速),都可加重盐渍对作物的危害。值得注意的是, Gale 提供的这些资料,差不多都是在人工气候室及严格控制试验条件下取得的。因为田间试验常受到多种因素干扰,不易得到可靠数据。

二、不同作物的耐盐力及其诊断方法

不同作物耐盐力的研究是盐碱土改良的一项基础工作。无论是改良初期先锋作物的选择、改良过程中因土种植或轮作配置,还是冲洗、排水和各种田间耕作管理措施的安排,都需要这方面的基本研究资料,因此开展作物耐盐力的研究,对于盐碱地区尽快建立合理的地面生物结构、加速抑盐脱盐进程,都具有很大的实践意义。解放以来,我国在这方面已做了大量研究工作,取得许多研究成果。下面重点介绍国外在这方面的研究。

(一)影响作物耐盐力的因素

鉴定不同作物的耐盐力是一项复杂的研究工作。因为影响作物耐盐力的因素很多。一方面作物本身的

生理特性和不同作物不同品种都会引起耐盐力的差异；另一方面由于土壤盐碱类型、地理环境和人为措施等方面的不同，作物耐盐力也有较大变异。

第一是从作物内因看，国外有的学者认为，不同作物不同种之间对盐分的反应，在生理上主要有五方面不同的差异：（1）植物从它们根、叶等敏感组织、细胞排出盐分的能力，以及细胞器（质体和线粒体）束缚离子造成“区域化”的能力各有不同；（2）作物本身主动实现渗透调节的能力各有差异；（3）作物的细胞质膜、大分子有机物（蛋白质、类脂）和酶系统（尤其是ATP酶）在高离子浓度环境中固有的稳定性有所不同；（4）作物本身产生能稳定大分子有机物的激素、甘油等物质的能力各不相同；（5）作物对盐渍环境各种适应性的变化不一致。因此即使同一作物，其不同种或变种都有不同的耐盐力。例如，据国外报道，春性或冬性的软粒小麦就比春性的硬粒小麦耐盐；长期在盐化土上生长的大麦、蕃茄、苜蓿、三叶草比一般未种在盐化土上的耐盐力强；雄性乔木比雌性乔木更耐盐，而雌雄同株的木本植物却依靠它增加雄花数量，减少雌花数量来抵抗盐分威胁。另外，作物不同生育阶段的耐盐力也有很大差异。国外有些学者认为，大多数一年生作物在萌芽、幼苗和开花期对盐分最敏感，而多年生作物对盐分最敏感却常在果实期。还有些作物一生中不同发育阶段耐盐力变幅很大。据美国资料，水稻萌芽时能忍耐电导率为10—15毫姆欧/厘米的盐浓度，但胚乳阶段却很敏感，不能超过5—6毫姆欧/厘米，抽穗时期耐盐力又增强，但开花期反而非常敏感，最后到成熟期又增大。

第二是从作物的外因看，影响耐盐力的因素很多。首先，土壤盐分类型不同，耐盐力会有较大差异（前面已经谈到）。其次是土壤含水量也影响作物的耐盐程度。据巴基斯坦报道，当土壤含水量为田间持水量的60%，即使含盐量达0.4%时，某些小麦、玉米、大麦品种也能获得100%的发芽率；在土壤含水量为田间持水量的90%，含盐量为0.4%时，水稻有四个品种也能全部发芽。苏联有关资料也谈到，当土壤水分含量小于田间持水量的70%时，棉花则明显受盐害。另外，栽培措施不同，作物耐盐性也会有差异，如国外有人认为同一作物，移栽的就不如就地生长的耐盐。至于气候环境条件更能影响作物耐盐力，国外曾有人将不同地区各种作物耐盐顺序表拿来对比，也明显看出耐盐力排列位置有些不同，例如洋葱在冷凉气候区比在干热气候下的耐盐力要大得多。

（二）作物耐盐力的测定与诊断

由于影响作物耐盐性的因素很多，不同作物耐盐

力又经常有一定变化，所以鉴定作物耐盐力必须要规定一些标准，通过测定和诊断，确定不同作物的相对耐盐力。

国外有人曾提出作物的耐盐力可分为“生物耐盐力”和“农业耐盐力”。所谓“生物耐盐力”，意思是指在某种盐渍条件下，根据作物生长是否受抑制或死亡划分耐盐极限范围；“农业耐盐力”则是以作物的产量和经济价值为标准，即以作物比一般正常土壤（或非盐土）减产到一定范围时的土壤含盐量为指标。国外一般以“农业耐盐力”作为鉴定标准，也就是在考虑一定产量的前提下确定作物的耐盐极限。这同我们一般以“生物耐盐力”为标准是不同的。

例如，美国一般把10%、25%、50%的产量降低额作为界限，分别测定整个根系分布层的盐浓度，来比较各种作物的耐盐力差异，荷兰和阿尔及利亚分别把25%和20%的产量降低额，作为耐盐力范围，然后测定土壤上部耕层的盐浓度，以确定作物的耐盐极限。这些鉴定方法的优点是考虑了作物的产量水平。

关于测定土壤含盐程度的表示方法，目前国外大致有两种：第一、在美国和其它一些国家，由于他们考虑盐分对作物的影响主要是因渗透危害引起的，因此一般是测定25℃时土壤饱和浸提液的电导率，单位是毫姆欧/厘米，符号是EC_e，规定这种饱和浸提液的含水量大约为田间持水量的一倍，以反映田间土壤的渗透压。这种方法的缺点是不能反映土壤溶液的盐类成分，而且当时的田间持水量也并不一定等于所测饱和浸提液中水分含量的一半；第二，苏联等国主要测定土壤干重的含盐百分数，再测定各种阴、阳离子含量，按所规定的各种离子含量比例划分出氯化物、硫酸盐、苏打及其它过渡性盐土类型（这与我国目前情况一致）。但是这种方法也有缺点，一是没有考虑土壤水分含量，因为相同的全盐量并不能反映在不同田间持水状态下实际的含盐浓度；二是按阴、阳离子比例划分出各种盐碱土的类型很多（包括过渡类型），要在这许多土壤类型上做各种不同作物的试验去鉴定耐盐力差异，工作量非常之大，不可能短期内完成。因此不管哪种方法都不够理想，只能作为耐盐力的近似值。

除了测定土壤含盐浓度鉴定作物耐盐力以外，国外近年来也同时对作物进行耐盐力的生理诊断（我国在这方面很少研究）。其诊断方法大致有以下几点：

（1）种子抗盐试验：把作物种子放在不同浓度的盐溶液中测定其发芽率，但这种方法只能反映作物萌发阶段的抗盐性。

（2）测定叶绿素破坏速率：主要是在盐渍条件下看作物叶绿素-蛋白质复合体的稳定性，其具体作法是：在田间切断作物的新鲜叶片，及时浸泡在所采集

的土壤样品的含盐溶液中，或浸泡在当地含盐的地下水中，以及浸泡在2—4%浓度的盐溶液中，然后在漫射光下（即避免阳光直射）观察叶面出现盐斑的速度，盐斑出现多而快的表示不抗盐，出现少而慢的则耐盐力较强。

(3) 田间显微镜法：在田间把叶表皮组织切片放在一克分子浓度的氯化钠溶液中浸泡几小时，然后在显微镜下统计叶细胞质壁分离数目，质壁分离数越多的说明作物不耐盐。同一作物通常可以看见几块田的叶片求其平均数。不过叶组织切片浸泡时间应做预备试验来确定。

(4) 硼害叶片诊断：据美国资料指出，盐渍地区水、土经常含硼过多造成作物硼中毒，认为测定作物叶片含硼量比土、水分析更可靠，其诊断指标是：正常成熟叶含硼量约为50—100ppm；<20ppm为缺硼；>250ppm作物即受硼害。

除这些方法外，国外也试图对作物采用组织培养的办法来鉴别作物的耐盐力，例如有人曾用高度耐盐的盐生植物海蓬子与非盐生植物胡萝卜、甘兰、甜菜、烟草等作物愈合组织培养试验，结果发现它们都对盐分很敏感，说明这种方法是不成功的。所以有的苏联学者断言，耐盐力只是未受损伤植物的特性。至于是否可以根据作物耐盐的“氮素代谢影响论”或其它理论，测定作物体内的某些毒性氨基酸含量或其它生理生化指标来诊断作物耐盐力。在这方面还没有看到国外有关报道。

(三) 不同作物耐盐系统表的编制

把不同作物或同一作物不同品种的耐盐力列成系统表，对于生产实践具有一定指导作用。但由于需要对多种作物进行对比研究，需要通过长期资料积累并加以系统整理分析，化费精力和时间较大。在这项研究工作中，以美国的研究人员搞得比较细致（主要是美国盐渍度实验所），美国农业部也经常印发这些耐盐力表指导农业实践。

由于本文篇幅有限，不可能列出收集到有关国家各种耐盐表加以对比分析，只将国外这项研究工作的几个主要特点概述如下：

1. 作物耐盐力等级的划分 美国最初按饱和浸提液电导率（毫姆欧/厘米）划分作物耐盐范围为五级：即(1) 电导率为0—2时，盐分对作物影响最小；(2) 2—4时，最敏感的作物产量受限制；(3) 4—8时，许多作物受限制；(4) 8—16时，只有耐盐力强的作物产量才良好；(5) >16时只有少数几种最耐盐的作物产量才良好。后来，1973年联合国出版的《灌溉、排水与盐渍度》一书中则分为三级（见下表）。

土壤含盐浓度	耐高盐力组作物	中耐盐力组作物	敏感组作物
饱和浸提液电导率 (毫姆欧/厘米)	10~16	4~10	2~4
相当于土壤含盐量 (%)	0.5~1.0	0.2~0.5	0.05~0.2

作物耐盐力等级：国外一般用交换性钠百分率(ESP)或钠吸附比(SAR)表示，即：

$$\text{土壤交换性钠百分率} = \frac{\text{总钠量} - \text{可溶性钠}}{\text{交换性阳离子量}} \times 100$$

$$\text{土壤钠吸附比} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}} / 2}$$

作物对土壤交换性钠的耐力等级，过去美国分为五级，后来又概括成三级，即敏感组作物的耐钠极限为ESP<15，中耐盐力组作物ESP为15—40，高耐盐力组作物为>40。

耐硼力等级：美国以土、水可溶性硼含量表示（单位：ppm），把作物耐硼力划分为三组：敏感组作物耐硼极限范围为0.3—1.0ppm；半耐组作物为1.0—2.0ppm；耐性组作物为2.0—4.0ppm。

2. 反映的作物种类较多 从现有的耐盐表来看，美国列出的作物最多，有一个表曾列出了九十八种作物的耐盐极限（包括粮、菜、饲料及果树等作物）。有的作物耐盐顺序表还可详细查阅出各种作物比正常土壤减产10%、20%和25%时的土壤盐浓度极限值（电导率）。另外，印、巴等国对同一作物（小麦、棉花、水稻）的不同品种耐盐力也做了许多鉴定研究工作，但未列出全面系统的耐盐力对比表。

3. 重视不同盐土类型下作物的耐盐力顺序 在这方面以苏联比较突出。如过去曾将十七种常用牧草列出耐盐极限，划分为高度耐盐、中等耐盐和不耐盐等三类牧草，每类再根据硫酸盐-氯化物、氯化物-硫酸盐、硫酸盐、苏打等盐土类型注明其允许含盐量。后来又将某些果树、树种按土壤氯化物总量、硫酸盐总含量（有的还有HCO₃⁻百分含量）分别列出耐盐顺序表。

(四) 提高作物耐盐力的方法

选育耐盐品种提高作物耐盐性在国外已普遍使用。一是在盐渍地区尽量选择适应性强、生产率高的当地品系，然后加以繁殖。如匈牙利曾选出两个水稻品种(Dunhan Shali和Varsan—hely)，能够在pH<9.5的碱土中很好生长。二是使用种内杂交和种间杂交的办法培育耐盐品种。如苏联通过种内杂交培育了一种棉花杂交种，既耐盐产量又高，据试验，在强盐化土壤上，杂交种比未杂交种每株棉桃平均多4.8个，每株

棉桃重平均多22.1克。三是运用远缘杂交和砧木芽接培育耐盐树种或果树。例如最近国外成功培育了一种比杨树更高度耐盐的“保普莱尔—托兰格”杂交种。利用酸橙和桔树砧木芽接出的朱栎树比生长在酸橙砧木上的朱栎树耐盐力强得多。

由于大多数作物早期发芽阶段抗盐力弱,因此国外比较重视用播前处理种子办法提高作物耐盐力。苏联学者金克尔甚至认为用盐水或其它方法处理的种子,其所增强的耐盐力甚至可以传给其后代。国外种子处理的方法大致有:(1)盐水浸种(包括用地下咸水)。可广泛用于棉花、苜蓿、玉米、大豆、蚕豆、甜菜、小麦等作物。其主要特点是针对性强。如以氯化物为主的盐土,则常用氯化钠配成不同浓度的溶液浸种;以硫酸盐为主的盐土使用硫酸镁溶液;含碳酸盐的碱土则用碳酸钠浸种。使用的浓度各有不同,从国外一些资料看出,盐水浓度大则浸泡时间短些,浓度小者浸泡时间可长一些。(2)使用各种有机酸、生长抑制剂、激素等处理种子:如印度试验用吡啶乙酸、赤霉素、吡啶丁酸等浸泡小麦(浓度不超过200ppm),显著提高了小麦的耐盐、耐硼、耐钠的能力,使小麦能生长在电导率为12毫姆欧/厘米,吸附性钠比率为15、含硼量为

2—4ppm的盐土上。又据报道,国外也使用含500ppm的矮壮素(氯化氯胆碱)溶液处理小麦种子14小时,也能提高小麦耐盐力。还有用一些化学名称不详的Amol618、Phofon、GS等生长抑制剂来浸种,认为都能增加作物抗盐性。此外,近年来国外还报道过某些代谢抑制剂,如叠氮化钠可以使作物减少对氯的吸收;亚砷酸盐和硝化糖醛可以使作物减少对氯的吸收。但这些物质是否可用于种子处理?对人体是否有害?都还未进一步试验研究。

参 考 文 献

- [1] Allison, L. E., Salinity in relation to irrigation. *Advances in Agronomy*, Vol. 16, 139—178, 1964.
- [2] Salinity Problems in the Arid Zones. UNESCO, Proceedings of the Teheran Symposium, 1961.
- [3] Irrigation Drainage and Salinity. FAO/UNESCO, 1973.
- [4] Edited by A. Poljakoff—Mayber and J. Gale, Plants in Saline Environments. Springer—Verlag Berlin Heidelberg New York, 1975.

土 壤 盐 分 传 感 器 介 绍

尤 文 瑞

(中国科学院南京土壤研究所)

随着土壤盐碱化研究工作不断进展,对土壤水盐动态观测方法的改进已显得愈来愈重要。近年来在国外(主要是美国)研究了一种埋设于土壤中用来直接测量土壤盐分动态的元件,这种元件叫作盐分传感器(salinity sensors,以下简称传感器)。在美国,传感器已投入商品生产,并应用于土壤盐渍化的室内模拟试验和大田的水盐动态观测,取得了很好的观测资料。传感器的运用,现已扩大到植物对水分和营养的吸收的模拟试验。本文根据国外的有关资料,对传感器的原理、构造及其运用作一概略的介绍。

一、现有盐土水盐动态观测方法存在的问题

当前我国观测研究土壤水盐动态的主要方法是定点取样法。例如:为了研究种稻过程中土壤的盐分变化,在试验田块中定点,于不同时期取样,然后通过室

内的盐分分析,比较其盐分的变化。又如:为了观测排水沟的排盐效果,则要在垂直排水沟的方向与排水沟不同距离处设几个观测点,于不同时期取样进行室内盐分分析,取得各点盐分变化的资料。这种方法存在以下问题:

首先,土壤中的含盐状况受土壤质地、结构、地表覆盖、地形等多种因素的影响,因此即使两个取样点相距很近,土壤本身的含盐量也会有很大差别,表1中所列分析结果中1、2、3三个取样点相距只有10厘米,其电导率可相差1倍以上。而定点取样法中第一次取样与第二次取样不可能在同一点,由于所取样品本来的含盐量有差别,因此根据其分析结果不能确切地反映土壤盐分变化的真实情况。

第二,随着研究工作的逐渐深入,样品的数量必然大大增加,例如在上述排水沟效果的研究中,如果垂直排水沟方向设5个点,每点取10层土样,每年取4次,则要二百个样品,如果研究三种不同深度和三种不同