

夏玉米咸水灌溉的风险性及其对策分析

宇振荣, 张银锁, 马永良

(中国农业大学)

摘要: 在光、温、水对作物生产力影响模型的基础上, 增加了基于统计经验方法的描述性盐分模拟模块, 并利用田间试验数据对模型进行了检验, 计算了不同气候年型和各种灌溉方案下浅层地下水灌溉对产量的影响和次生盐渍化风险度。结果显示, 在生长季只需 1 次灌溉的前提下利用咸水灌溉几乎没有风险, 但生长季需 2 次以上灌溉时, 就需咸、淡水轮灌, 生长季结束后还需利用淡水灌溉洗盐。

关键字: 夏玉米; 作物生长模型; 咸水灌溉; 产量

中图分类号: S38

文献标识码: A

文章编号: 100226819(2002)0320031205

随着工农业用水量的增加, 黄淮海平原淡水资源承受着巨大压力, 而该地区地下浅层含有大量的咸水资源^[1], 但是, 大量利用咸水灌溉可能会导致次生盐渍化, 因此, 如何合理利用咸水灌溉对作物生产和土地持续利用具有重要意义。国内外不少学者对作物产量和土壤含盐量的关系进行了研究, 建立了不少作物水盐模型^[2,3]。总体来讲, 这些模型将作物产量或相对产量表示为全生育期灌水量和土壤平均含盐量的函数, 尚不能据此对土壤水盐状况和作物生长发育同时进行动态模拟和决策。近年来, 建立面向不同对象、不同尺度, 简单实用的作物生长模拟模型的研究已受到广泛重视, 并与 3S 技术相结合应用于不同尺度的作物生产和资源管理决策。荷兰瓦格宁根农业大学在对作物模拟模型研究的基础上, 建立了应用于土地利用系统分析和决策的普适性作物生长模拟模型(PS123)^[4]。PS1 是模拟作物潜在生产力, PS12 是模拟水分限制情况下土地生产力, PS123 是计算目标产量(PS1 和 PS2 下的作物生产力)所需要的施肥量^[5]。PS123 模型还在西班牙、荷兰和津巴布韦等地用小麦、向日葵和玉米进行了检验^[6]。乔玉辉和张银锁利用黄淮海平原曲周区小麦和玉米田间试验对 PS123 模型进行了一些修正和验证^[7], 以便用于从点到区域的土地利用系统分析研究。本文在水分限制生长力作物生长动态模

型的基础上, 加入土壤盐分动态以及对作物光合作用动态影响, 并利用该模型和田间试验建立的作物土壤参数以及多年气象资料, 分析了夏玉米生长季微咸水灌溉的风险性和合理利用。

1 作物生长模型与盐分模拟模块的结合

为使模型能够在盐渍化地区应用, 在 PS12 中增加了盐分动态的模拟过程。盐分造成的土壤溶液的渗透势 (OP) 和土壤水势 (PSI) 所达到的总水势 (PSI_{total} , cm) 为^[8]

$$OP = - 15.99 + 4246 \times EC + 1.229 \times EC^2$$
$$PSI_{total} = OP - PSI$$

根据辛景峰等^[9]的研究, 曲周地区的盐分浓度 (C , $g\ddot{O}L$) 与溶液的电导率 EC ($dS\ddot{O}m$) 值有下述近似关系

$$C = 0.670 \times EC$$

因此, 根层 (RD , cm) 土壤的初始含盐量 ($SALT(t)$, $kg\ddot{O}hm^2$) 为

$$SALT(t) = 67.0 \times RD \times SM_{PSI} \times EC$$

式中 SM_{PSI} ——根层土壤溶液含水量, $cm\ddot{O}cm^3$;
 RD ——根层深度, cm ; EC ——土壤溶液电导率, $dS\ddot{O}m$ 。

灌溉水造成土层盐分的增加量 ($SALT_{IRRI}$, $kg\ddot{O}hm^2$) 为

$$SALT_{IRRI} = 67.0 \times IE \times EC_{ie}$$

式中 EC_{ie} ——灌溉水的电导率, $dS\ddot{O}m$; IE ——灌溉量, $cm\ddot{O}d$ 。

因渗漏 (D) 造成的盐分流失量 ($SALT_{PERCED}$, $kg\ddot{O}hm^2$) 为

$$SALT_{PERCED} = 67.0 \times D \times EC$$

式中 EC ——土壤溶液电导率, $dS\ddot{O}m$; D ——渗漏量, $cm\ddot{O}d$ 。

收稿日期: 2001210222 修订日期: 2002203215

基金项目: 国家重点基础研究发展规划项目(G1999011709); 荷兰 SA L 基金会的中荷合作项目“可持续土地管理(SULAMA)”(SA L- SPP 299.399)资助

作者简介: 宇振荣(1961-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事作物生长模型, 3S 技术在景观生态以及土地持续利用中的应用。目前主持国际合作项目 2 项, 参加 973 和 863 项目各 1 项以及国家十五攻关项目 2 项, 发表论文约 30 篇。北京市圆明园西路 2 号 中国农业大学资源与环境学院, 100094。E-mail: yuzhr@mail.cau.edu.cn

因地下水上升 (CR) 造成的盐分增加量 ($SALTRISEN$, $kg\ddot{o}hm^2$) 为

$$SALTRISEN = 67.0 \times CR \times Dt \times ECw$$

式中 ECw —— 地下水电导率, $dS\ddot{o}m$; CR —— 地下水上升通量, $cm\ddot{o}d$ 。

因根系向下延伸使根层深度增加而造成的根层含盐量的增加为

$$SALTGROW = 67.0 \times \$RD \times SMPSI \times EC$$

式中 $\$RD$ —— Dt 时间内的根系生长量, cm ; $SMPSI$ —— 根层土壤含水量, $cm\ddot{o}cm^3$ 。

因此, 当时间增加 Dt 时, 根层盐分含量 ($kg\ddot{o}hm^2$) 变化为

$$SALT(t+1) = SALT(t) + SALTIRRI + SALTRISEM - SALTPRECED + SALTGROW$$

此时 EC 值变化为

$$EC(t+1) = SALT(t+1) \ddot{o} (67.0 \times (RD + \$RD) \times SMPSI)$$

由于各种作物的耐盐性不同, 盐分对作物产量的影响程度也不相同, $Mass$ 和 $Huffman$ ^[10] 认为作物产量对盐分的反应可由下面的线性式表达

$$Y_r = 100 - Bsalt \times (ECe - Asalt)$$

式中 Y_r —— 相对于无盐分胁迫的相对产量, %; ECe —— 饱和土壤浸出液电导率, $dS\ddot{o}m$; $Asalt$, $Bsalt$ —— 分别为盐分开始影响产量的初值和斜率。在 FAO 出版的灌溉排水中^[11], 列出了大多数粮食作物、牧草、蔬菜、果树以及园艺作物的 $Asalt$ 和 $Bsalt$ 值, 并给出了作物耐盐性分类。其中粮用玉米为中等敏感作物, $Asalt$ 和 $Bsalt$ 值分别为 1.7 和 12.0。

根据土壤实际含水量时的土壤溶液电导率值 (EC) 和饱和土壤浸出液电导率 (ECe) ($ECe = EC \times SMPSI \ddot{o} SMO$) 和上式, 我们构建了作物光合生产的盐分反应系数 $cf(salt)$

$$cf(salt) = 100 - 12.0 \times (EC \times SMPSI \ddot{o} SMO - 1.7)$$

式中 SMO —— 土壤饱和含水率, $cm^3\ddot{o}cm^3$ 。

这样计算作物同化过程的公式可变为

$$FGCS = cf(salt) \times cf(water) \times FGC$$

式中 FGC —— 作物群体冠层总 CO_2 吸收率, $kg\ddot{o}(hm^2\ddot{o}1\ddot{o}d)$; $cf(water)$ —— 作物水分的满足程度, 在模型中主要根据水分平衡模拟计算^[4]; $cf(salt)$ —— 土壤盐分胁迫系数。

原 $PS123$ 模型对干旱、湿涝、低温造成的玉米非正常死亡已有考虑, $PS12$ 根据试验资料并结合前人对黄淮海平原区夏玉米得出的一些灾害指标作了适当调整, 并增加了盐分引起死亡的指标。盐分致死指标: 根据 FAO ^[12] 给出的盐分指标, 当根层饱和土壤浸出液电导率 (ECe) 大于 10 $dS\ddot{o}m$ 时, 玉米将无法成活。

2 模型的检验和验证

田间试验安排在中国农业大学曲周实验站, 位于黄淮海中部的河北省曲周县境内, 属暖温带半湿润季风气候区。试验地土壤为盐碱地改良后的褐土化潮土, 土壤的主要物理性状见表 1, 种植制度为冬小麦-夏玉米一年两熟。本文选择如表 2 所示的试验处理来修正和验证模型。根据我们 1998~1999 年不同灌溉水样的化验分析, 深层地下水的电导率一般在 1.0~1.6 $dS\ddot{o}m$ 之间, 而浅层地下水的电导率在 5.0~6.0 $dS\ddot{o}m$ 之间, 根据土壤水分和玉米灌溉需水, 每次灌溉 6~7 cm (表 2)。试验观测项目包括天气要素, 作物发育进程, 各器官干物质累积, 叶面积系数, 土壤水分和田间管理措施等。气象数据应用自动气象站自动采集, 作物生长发育和干物质累积每 10 d 测定一次, 应用水分时域测定仪 (TDR) 和中子仪每周一次分层 (20 cm) 测定 2 m 内土壤水分, 用溶液提取器分层提取土壤溶液, 用土壤电导率仪测定, 其中, 处理 4、6 和 7 土壤溶液提取器探头为 7 层 (20, 40, 60, 80, 100, 140, 180 cm), 处理 9 (淡水灌溉) 分 3 层 (30, 50, 100 cm)。

$PS12$ 水平的模型调试和检验以肥料和其它条件均不限制作物生长的处理进行。其中充足淡水灌溉 9924 和不灌水处理 9929 作为模型的修正和参数调试对照, 而处理 9926 (咸水充足灌溉) 和 9927 (咸水缺水灌溉) 则作为非参数调试处理, 进行模型的效果检验。检验内容包括干物质生产、叶面积系数、模

表 1 试验地主要土壤基础理化性状

Table 1 Basic soil properties of the experiment plots

| 土壤层次 $\ddot{o}cm$ | 质地 | 容重 $\ddot{o}g \cdot cm^{-3}$ | 全 N $\ddot{o}g \cdot kg^{-1}$ | 全 P $\ddot{o}g \cdot kg^{-1}$ | 全 K $\ddot{o}g \cdot kg^{-1}$ | 有机质 $\ddot{o}g \cdot kg^{-1}$ | 砂粒 $\ddot{o}\%$ | 粉粒 $\ddot{o}\%$ | 粘粒 $\ddot{o}\%$ |
|----------------------|------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0~35 | 粉砂壤土 | 1.46 | 0.11 | 7.088 | 4.86 | 9.080 | 9.78 | 77.94 | 12.28 |
| 35~85 | 粉沙壤土 | 1.43 | 0.088 | 5.674 | 4.747 | 7.111 | 8.82 | 73.68 | 17.5 |
| 85~145 | 粉沙壤土 | 1.42 | 0.076 | 6.324 | 4.673 | 7.047 | 8.66 | 79.59 | 11.75 |
| 145~200 | 粘壤土 | 1.39 | 0.071 | 6.169 | 4.936 | 8.331 | 2.83 | 63.1 | 34.07 |

表 2 1998~ 2000 年夏玉米生长季各试验处理的田间设计水平

Table 2 Treatments included in summer maize experiments during 1998~ 2000 maize seasons

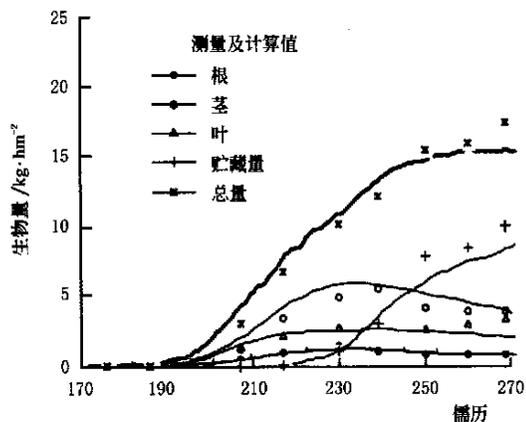
| 处理号 | 处理因子 | 品种 | 播种期 | 播种密度(株·hm ⁻²) | 灌水定额(mm) 次数水质 | 施肥量(纯N) (kg·hm ⁻²) |
|------|------|-------|-------------|---------------------------|---------------|--------------------------------|
| 9924 | 水分 | 冀丰 58 | 1999/06/215 | 60 000 | 121.9 2 淡水 | 150 |
| 9926 | 盐分 | 冀丰 58 | 1999/06/215 | 60 000 | 208.6 3 咸 | 150 |
| 9927 | 盐分 | 冀丰 58 | 1999/06/215 | 60 000 | 121.9 2 咸 | 150 |
| 9929 | 水分 | 冀丰 58 | 1999/06/215 | 60 000 | 不灌溉 | 150 |

表 3 1998~ 2000 年各处理 PS1 和 PS2 水平下模拟的总干物质质量和产量及其相对误差

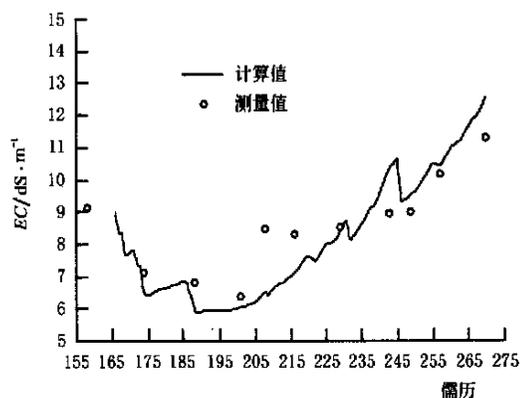
Table 3 The simulated total dry mass production and final marketable yield at PS1 and PS2 level and their relative errors compared to actual measurements for all the treatments during 1998~ 2000

| 处理号 | PS1 水平 | | | | PS2 水平 | | | |
|------|-----------------------------|----------|-----------------------------|----------|-----------------------------|----------|-----------------------------|----------|
| | 总干质量 (kg·hm ⁻²) | 相对误差 (%) | 经济产量 (kg·hm ⁻²) | 相对误差 (%) | 总干质量 (kg·hm ⁻²) | 相对误差 (%) | 经济产量 (kg·hm ⁻²) | 相对误差 (%) |
| 9924 | 18 837 | - 1.3 | 10 640 | 7.1 | 18 494 | - 31 | 9 528 | - 4.0 |
| 9926 | 18 837 | 7.5 | 10 640 | 33.3 | 16 446 | - 6.1 | 7 975 | - 0.1 |
| 9927 | 18 837 | 0.1 | 10 640 | 19.0 | 16 785 | - 10.8 | 8 167 | - 8.6 |
| 9929 | 18 837 | 3.6 | 10 640 | 34.6 | 15 421 | - 15.2 | 6 405 | - 19.0 |

拟土层内土壤水分和盐分变化动态。本试验的模拟剖面深度取 1.2 m, 土壤水分用 1.2 m 土体的总含水量(mm) 检验, 盐分用 1.2 m 土体的土壤提取液的平均电导率 (EC) 来检验。



a. 各器官和总的干物质动态



b. 1.2 m 土层平均土壤溶液电导率动态

图 1 处理 9926 在 PS2 水平的模拟结果与实测资料的对比

Fig 1 The simulated and measured results at PS2 level for treatment 9926

从图 1 可以看出, 经调试和改进后的 PS12M Z 基本可以反映均质土壤(试验区 1.2 m 土体的土壤均质性较好)的盐分动态及其对玉米生产的影响, 模型的整体表现较佳。

作物生长模拟模型对作物最终的干物质生产量 and 经济产量的模拟效果将是决定模型是否可以实际应用及其有效的应用范围的关键。表 3 列出了处理 9924 (充足淡水灌溉) 和 9929 (不灌溉)、9926 (咸水充足灌溉) 和 9927 (咸水缺水灌溉) 在 PS12 水平下模拟的总干物质生产量 and 经济产量及其与实际观测值的相对误差。表中结果显示, 除 9929 处理外, 其它各处理都有较理想的模拟结果。处理 9929 出现较大的模拟误差, 可能与成熟期实测植株的取样误差有关。

根据对模型的检验结果, 可以认为修正后的 PS12 玉米生产力动态模拟模型基本反映生产水平 1 和生产水平 2 规定下的作物生长发育状况, 可以用于曲周及其相近地区的土地—作物生产系统分析。

3 咸水灌溉的风险性及其对策

PS12 模型由于增加了盐分平衡分析模块, 可以用来进行咸水优化灌溉决策分析。模型可输出的盐分变量除固定土层(1.2 m)的土壤实际含水量时平均电导率值 (EC)、饱和土壤浸出液电导率 EC_e (dS/m) 值和土壤含盐量浓度 (kg/hm²) 动态变化外, 还可输出等效根深 (RD) 土层的各种盐分变量值。根据 FAO 的标准^[11], 粮用玉米在土壤 EC_e 达 1.7 dS/m 即开始受害, 5.9 dS/m 时即可使玉米产量削减一半。根据模型的动态监测(预测)功能, 可以利用灌溉量和灌溉水质合理地调控土壤盐分水平,

以保证土地的可持续利用。为量化研究咸水灌溉对玉米产量和土壤含盐量水平的影响,首先,利用1966~1999年的逐日气象资料模拟各年作物最大可能需水量,并与降水量比较确定灌溉次数;其次,分别以模型中水分满足程度系数(c_{fwater})降到0.50、0.55、0.60.....1.0的日期作为补偿点时期,即灌溉时间,模拟根层土壤含水量达到田间持水量50%、55%、60%.....100%时所需要的灌溉量,对上述各种可能的组合灌溉方案进行数值灌溉模拟试验,以确定经济上和生态上许可的灌溉时间和灌溉量^[4];在此基础上,应用不同的灌溉水质及其组合分别对适于1次(11年)、2次(7年)和3次灌溉的年份(3年)进行了数值模拟灌溉试验,表4、5和6列出了各种灌溉情况下生长季结束时土壤 EC_e 的状况和咸水灌溉下产量的削减量。模拟时使用的土壤初始 EC_e 为1 dS \bar{m} , 初始土壤容积含水率为17%。即假定夏玉米播种前,土壤含盐量水平较低,且有足够水分保证出苗。结果显示,夏玉米生长季只需1次灌溉的年份,如使用浅层水(咸水)灌溉,作物减产不超过5%,1.2 m 土层的 EC_e 值也可控制在1.7 dS \bar{m} 之内。生长季需2次灌溉的年份,如2次灌溉总用水量小于100 mm,全部用咸水灌溉减产也在5%之内,但收获时各土层含盐量大部分超标,这样

的年份占2次灌溉年份的57.2%。若2次灌溉总用水量超过100 mm (1968, 1991, 1999),全部用咸水灌溉则减产幅度很大,最高达22%。1次咸水、1次淡水的灌溉方式可以使减产幅度控制在10%之内,也是一种可选的灌溉方式,但收获时各土层含盐量均超标,小麦播种前需淋洗。对生长季需3次灌溉的年份,全部用咸水灌溉减产非常严重,高达28%~40%,收获时根层和1.2 m 土层的含盐量严重超标。2次咸水和1次淡水的灌溉组合减产幅度也在20%左右,2次淡水和1次咸水的灌溉组合减产幅度在10%左右。除全淡水灌溉外,所有的灌溉组合方案都会使土壤含盐量明显增加,收获后需进行淡水淋洗。

表4 一次灌溉的年份(11年)不同灌溉水质收获时平均土壤饱和液电导率(EC_e , dS \bar{m})和产量比较

Table 4 Comparison of EC_e (dS \bar{m}) and yield at harvest for different water quality in the years only one irrigation needed during the summer maize season

| 淡水灌溉 | | 咸水灌溉 | | |
|-----------|-----------------|-----------|-----------------|---------------------|
| 根层 EC_e | 1.2 m 土层 EC_e | 根层 EC_e | 1.2 m 土层 EC_e | 比淡水灌溉减产 \bar{o} % |
| 0.7 | 0.8 | 1.2 | 1.1 | 1.1 |

表5 2次灌溉的年份(7年)不同灌溉水质收获时饱和土壤溶液电导率(EC_e , dS \bar{m})和产量比较

Table 5 Comparison of EC_e and yield at harvest for different supplying water quality in the years 2 irrigations needed during the summer maize season (initial EC_e was set to 1 dS \bar{m})

| 年份 | 全淡水 | | 全咸水灌溉 | | | 咸水2淡水 | | | 淡水2咸水 | | |
|------|-----------|-----------------|-----------|-----------------|---------------------|-----------|-----------------|---------------------|-----------|-----------------|---------------------|
| | 根层 EC_e | 1.2 m 土层 EC_e | 根层 EC_e | 1.2 m 土层 EC_e | 比淡水灌溉减产 \bar{o} % | 根层 EC_e | 1.2 m 土层 EC_e | 比淡水灌溉减产 \bar{o} % | 根层 EC_e | 1.2 m 土层 EC_e | 比淡水灌溉减产 \bar{o} % |
| 1968 | 1.6 | 1.2 | 3.5 | 2.1 | 14.0 | 2.2 | 1.5 | 6.4 | 2.9 | 1.8 | 6.9 |
| 1974 | 1.3 | 1.1 | 2.0 | 1.2 | 2.1 | 1.6 | 1.1 | 0.4 | 1.2 | 1.2 | 0.3 |
| 1976 | 0.2 | 0.6 | 0.3 | 0.9 | 2.7 | 0.3 | 0.7 | 1.5 | 0.3 | 0.8 | 1.1 |
| 1982 | 0.3 | 0.5 | 0.8 | 1.1 | 3.1 | 0.5 | 0.8 | 1.4 | 0.5 | 0.8 | 0.6 |
| 1986 | 0.9 | 1.1 | 1.8 | 1.6 | 3.1 | 1.3 | 1.3 | 0.2 | 1.3 | 1.4 | 0.1 |
| 1991 | 1.6 | 1.1 | 3.5 | 1.9 | 22.1 | 2.3 | 1.4 | 8.3 | 2.8 | 1.7 | 12.6 |
| 1999 | 1.3 | 1.3 | 3.2 | 2.2 | 9.4 | 2.3 | 1.8 | 6.6 | 2.7 | 1.9 | 3.2 |

表6 3次灌溉的年份(3年)不同灌溉水质收获时饱和土壤溶液电导率(EC_e , dS \bar{m})和产量比较

Table 6 Comparison of EC_e and yield at harvest for different supplying water quality in the years 3 irrigations were needed during the summer maize season (initial EC_e was set to 1 dS \bar{m})

| 灌溉水组合 | 年 份 | | | | | | | | |
|-------|-----------|-----------------|---------------------|-----------|-----------------|---------------------|-----------|-----------------|---------------------|
| | 1983 | | | 1985 | | | 1992 | | |
| | 根层 EC_e | 1.2 m 土层 EC_e | 比淡水灌溉减产 \bar{o} % | 根层 EC_e | 1.2 m 土层 EC_e | 比淡水灌溉减产 \bar{o} % | 根层 EC_e | 1.2 m 土层 EC_e | 比淡水灌溉减产 \bar{o} % |
| 全淡水 | 0.8 | 1.1 | | 1.5 | 1.4 | | 2.1 | 1.3 | |
| 全咸水灌溉 | 1.6 | 1.7 | 28.3 | 3.7 | 2.7 | 40.0 | 4.8 | 2.5 | 41.5 |
| 咸2淡2淡 | 1.1 | 1.2 | 9.8 | 2 | 1.7 | 13.4 | 2.8 | 1.6 | 13.7 |
| 咸2咸2淡 | 1.4 | 1.4 | 19.5 | 2.7 | 2.1 | 27.4 | 3.8 | 2 | 28.7 |
| 咸2淡2咸 | 1.4 | 1.5 | 18.5 | 3 | 2.3 | 26.3 | 3.9 | 2.1 | 26.9 |
| 淡2咸2咸 | 1.0 | 1.5 | 22.0 | 3.2 | 2.5 | 27.2 | 4.2 | 2.2 | 28.6 |
| 淡2咸2淡 | 1.1 | 1.3 | 10.0 | 2.3 | 1.9 | 14.1 | 3.1 | 1.7 | 15.3 |

根据上面的分析, 我们提出了在研究地区利用浅层微咸水、控制土壤盐渍化的优化灌溉策略:

1) 若玉米生长季只需1次灌溉, 使用浅层微咸水灌溉是安全的, 收获后也不需对盐分进行淋洗;

2) 若生长季需2次灌溉且总需水量小于100 mm, 全部用微咸水灌溉也可以保证玉米不减产, 但收获后需对盐分进行淋洗;

3) 若生长季需2次灌溉且总需水量大于100 mm, 最好使用一次咸水、一次淡水灌溉, 收获后需对盐分进行淋洗;

4) 若生长季需3次灌溉最好采用2次淡水、一次咸水的灌溉策略, 如果淡水资源不足, 也可选择2次咸水、1次淡水的灌溉策略, 但最好用咸-淡-咸的轮替方式, 可减少产量损失。所有这些灌溉方案在收获后都需要淡水淋洗。

4 结 论

本文在光、温、水对作物生产力影响模拟的基础上, 增加了基于统计经验方法的描述性盐分模拟模块, 并利用田间试验数据对模型进行了检验。结果表明, 增加的盐分模拟模型基本能模拟土壤水盐动态变化以及对作物生长的影响。

利用曲周县1966~1999年的气象资料模拟了不同水质灌溉方案下盐分的累积。通过数值模拟试验, 计算了各种灌溉方案下浅层地下水灌溉对产量的影响和次生盐渍化风险度。研究结论对利用浅层咸水灌溉具有重要的实践指导意义。

[参 考 文 献]

- [1] 魏忠义 黄淮海平原咸水分布特征及其改造利用 黄淮海平原治理与改造[D] 中国农业大学, 1985
- [2] Khosla B K, Gupta R K. Response of wheat to saline

irrigation and drainage[J] Agricultural Water Management, 1997, 32: 285~ 291.

- [3] Hamdy A, et al Saline water management for optimum crop production[J] Agricultural Water Management, 1993, 24: 189~ 203
- [4] Driessen P M, Konijn N T. Land Use System Analysis[M] Wageningen, Netherlands: Wageningen Agricultural University, 1992
- [5] 宇振荣, 王建武, 邱建军译 土地利用系统分析[M] 北京: 中国农业科技出版社, 1997. 原著: P M Driessen, N T Konijn (荷兰).
- [6] Danalatos, N G Quantified Analysis of Selected Land Use Systems in the Larissa Region[D] Ph. D thesis, Wageningen Netherlands: Wageningen Agricultural University, 1992
- [7] 张银锁 基于作物生长模拟模型的夏玉米可持续生产管理系统分析[D] 中国农业大学 2000
- [8] De Barros C J M. Quantitative analysis of selected land use systems with sunflower[D] Wageningen, Netherlands: Wageningen Agricultural University, 1997.
- [9] 辛景峰, 张国印, 李韵珠 土壤盐渍度不同表示方法的比较和相关研究[A] 见: 石元春主编 盐渍土的水盐运动[M] 北京: 北京农业大学出版社, 1986 151~ 158
- [10] Mass E V, Hoffmann G J. Crop salt tolerance- current assessment[J] ASCE J Irrig and Drainage Div. 1977, 103: 115~ 134
- [11] Rhoades J D, Kandiah A, Mashali A M. The use of saline waters for crop production[M] FAO Irrigation and Drainage paper No. 48, Rome, 1992
- [12] Doorenbos J, Pruitt W O. Crop water requirements [Z] FAO Irrigation & Drainage Paper No. 24 Rome, 1977.

Risk and Control Measures of Soil Salinity by Using Brackish Water for Maize Irrigation

Yu Zhenrong, Zhang Yinsuo, Ma Yongliang

(College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract The descriptive model of soil salt movement was added to water limited model and calibrated by using experimental data. The risk analysis of soil salinity under different irrigation schemes by using brackish water for maize revealed the influences of irrigation water quality and soil salinity level on crop yield potentials. The generated results suggest that there is no salinity hazard to the use of shallow ground water for irrigation if only once irrigation is needed during the crop season. If more than twice irrigations are needed, it is preferable to alternate applications of (poor quality) shallow and (fresh) deep ground water followed by leaching of the soil with deep ground water after harvest.

Key words summer maize (*Zea Mays*); crop growth simulation model; irrigation with brackish water; yield