

地下水埋深及矿化度变化对番茄产量及品质的影响

赵君涵¹, 余冬立^{1*}, 姚怀柱², 张 俐¹

(1.河海大学 农业科学与工程学院, 南京 210098; 2.江苏省农村水利科技发展中心, 南京 210029)

摘 要:【目的】探究地下水矿化度和埋深的变化对番茄的产量及品质的影响。【方法】采用土柱测桶试验, 试验配制 3 种质量浓度 (0、2、4 g/L) 的 NaCl 溶液, 设计 3 种地下水埋深 (90、70、50 cm), 用以模拟不同矿化度及不同埋深的地下水, 并对番茄的产量及品质进行测定, 且利用综合主成分分析的方法对番茄进行评价。【结果】番茄单株产量、收获指数、平均果质量及果色指数 (TCI) 均随地下水矿化度增加而显著减小, 随地下水埋深增加而显著增加; 而番茄 Vc、可溶性糖、总酸和可溶性固形物量均随地下水矿化度增加而显著增加, 随地下水埋深增加而显著减少。综合主成分分析结果显示, 番茄产量及品质在地下水埋深为 90、70 cm 及矿化度为 0、2 g/L 的情况下表现较优, 90/0 (地下水埋深: cm/矿化度: g/L) 处理下得分最高。【结论】盐分和地下水埋深对番茄的产量及品质均有较大影响, 低盐深埋有利于番茄产量提高, 但高盐浅埋对于番茄营养品质改善有促进作用, 适宜的矿化度和埋深促进番茄的生长发育, 使产量和品质都能达到较优水平。

关 键 词: 地下水埋深; 盐分; 番茄; 主成分分析

中图分类号: S641.2; S273.4

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2021467

OSID:



赵君涵, 余冬立, 姚怀柱, 等. 地下水埋深及矿化度变化对番茄产量及品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(5): 90-96.

ZHAO Junhan, SHE Dongli, YAO Huaizhu, et al. The Change in Yield and Fruit Quality of Tomato as Affected by Groundwater Depth and Salinity in Coastal Regions[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2022, 41(5): 90-96.

0 引 言

【研究意义】我国滨海盐碱土区面积约 214 万 $\text{hm}^{2[1]}$, 受海水侵袭的影响, 沿海地区地下水普遍存在埋深浅、矿化度高的情况, 地下水位随海水潮汐波动发生升降, 其盐分分布也因此发生变化^[2], 导致土壤“脱盐”、“反盐”过程频繁^[3], 且地下水受气候变化影响较大, 其埋深及矿化度随降水、蒸发等条件变化而变动^[4-5]; 与此同时, 地下水水位及其矿化度的波动变化对作物产量和品质的影响机制复杂, 而番茄是我国重要经济作物且具有一定耐盐性, 因此研究地下水盐分及水位变化在番茄产量和品质方面的影响对于滨海盐碱地的开发利用具有重要意义。【研究进展】目前, 国内外关于番茄对水盐胁迫的响应已有很多研究, 果才佳等^[6]模拟不同含盐量盐渍土, 探究土壤含盐量对番茄生理生态的影响, 发现高盐分处理对番茄生长有明显的抑制作用, 高盐会导致番茄产量降低和形状缩小; 姚玉涛等^[7]在番茄花果期后以 0、3、4、5、6 g/L 矿化度的水进行重力滴灌, 发现在微咸水灌溉下番茄叶片光合特性受到抑制, 光合特性指标

Pn 和 Tr 在矿化度为 6 g/L 时较 0 g/L 分别减少 36.48%、55.72%; 但同时盐分可以提高番茄品质, Taleisnik 等^[8]在砂土栽培的番茄的生长中后期用 3 dS/m 的稀释海水灌溉, 发现番茄果实中可溶性固形物量、有机酸量等明显提高。【切入点】目前少有研究在探究番茄对于盐分变化响应的同时将地下水位变化考虑进去, 而地下水埋深的变化对作物的生理生长影响显著, 适宜的地下水水位有利于维持作物根区水分并促进根部吸水^[9-10], 而过高的地下水位易使作物发生渍害, 导致作物减产甚至死亡^[11]。【拟解决的关键问题】滨海盐碱土区地下水位变化频繁, 水盐运移情况复杂, 本研究将地下水矿化度和埋深同时作为影响因素, 模拟滨海地区地下水埋深和盐分的动态变化, 探究二者对番茄的产量及品质的影响规律, 以期对滨海盐土の利用和水分管理提供一定理论支撑。

1 材料与方法

1.1 试验设计

供试土样取自江苏省南通如东县东凌海堤外侧豫东垦区 (32°12' N, 120°42' E), 该区为典型海涂围垦区, 围垦面积约 2 067 hm^2 , 属亚热带海洋性季风气候, 四季分明, 气候温和, 年平均降水量为 1 044.7 mm, 年平均蒸发量为 1 367.9 mm, 年平均气温 15 °C。土壤类型为粉沙壤土, 沙粒 ($\geq 0.05 \sim 2 \text{ mm}$) 32.4%, 粉粒 ($\geq 0.002 \sim 0.05 \text{ mm}$) 62.7%, 黏粒 ($< 0.002 \text{ mm}$)

收稿日期: 2021-11-04

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42177393); 江苏省水利科技项目 (2021054)

作者简介: 赵君涵 (1998-), 女。硕士研究生, 主要从事农业水土工程研究。E-mail: 2507753605@qq.com

通信作者: 余冬立 (1980-), 男。教授, 博士生导师, 博士, 主要从事农业生态与水土过程模拟研究。E-mail: shedongli@hhu.edu.cn

4.9%，土壤初始盐分为 1.6 g/kg。

试验于 2018 年 4—8 月在河海大学江宁校区节水园区内进行 (31°57'N, 118°50'E)。该试验区地处亚热带湿润性气候, 年平均气温 15.9℃, 相对湿度 75%。试验测桶高 120 cm, 内径为 30 cm, 取土口直径为 2.5 cm, 按体积质量 1.35 g/cm³ 由底部填土, 在测桶内按照不同地下水位设计深度埋设暗管 (50、70、90 cm), 暗管穿过测桶内部, 倾角为 1~3°, 形成地下水排水层, 桶外暗管出口设有排水阀门, 排水阀门用以控制地下水位, 测桶给水阀门连接马氏瓶, 通过向马氏瓶注水来满足番茄生育期需水需求, 具体尺寸见图 1。试验设置 3 种不同地下水埋深 (50、70、90 cm) 和 3 种不同地下水矿化度 (0、2、4 g/L), 不同矿化度的地下水由添加不同质量的 NaCl 配制。试验共 9 个处理, 每个处理设置 3 个重复, 共 27 个测桶。

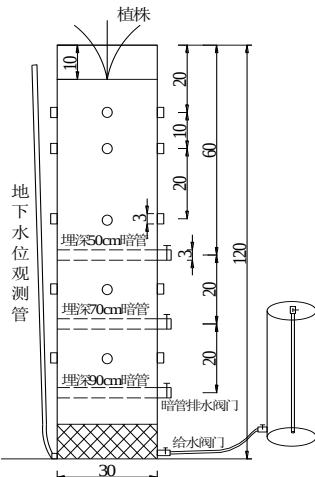


图 1 测桶结构设计 (单位: cm)

Fig.1 Structures of Measuring barrel

供试品种为“美国 903 大红番茄”, 番茄整个生育期可分为苗期 (3 月 10 日—4 月 22 日)、开花坐果期 (4 月 23 日—6 月 17 日) 和成熟采摘期 (6 月 18 日—7 月 23 日), 于 3 月 10 日在温室大棚中覆膜育苗, 4 月 23 日定植, 并灌以 5 L 移苗水。5 月 1 日以复合肥 (N:P:K 为 15:15:15) 12 g/株均匀地施在各测桶中, 6 月 2 日在植株坐果 2 穗时进行单整枝打顶, 同时再次向每个测桶施尿素 (含 N46%) 10 g、复合肥 10 g, 以保障番茄生育期内的养分需求, 为了明确地下水的埋深及矿化度对番茄产量及品质的影响, 试验期间仅通过地下水供给植株生长所需水量, 并每隔 5~9 d 于土层深度 20 cm 处取土, 通过烘干法测定含水率, 以控制地下水埋深变化满足试验设计要求, 番茄生育期内根系附近土壤含水率可见图 2。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 形态指标测定

本试验通过番茄单株产量来表征植株果实收获

数量, 果实采摘后进行称质量, 累计得各植株的果实质量, 即为各处理单株产量。通过收获指数即果实产量与植株地上部总鲜物质质量的比值来表示果实收获的质量。将根部挖出并尽量保持根系完整, 用清水洗净, 用剪刀将根、茎、叶分开, 并称量各部分鲜物质质量, 分别装入干燥的档案袋中, 置于烘箱内, 温度调至 105℃ 杀青 2 h, 再调至 80℃ 烘 24 h 至恒质量, 分别测定各处理植株的根、茎和叶干物质质量等指标。

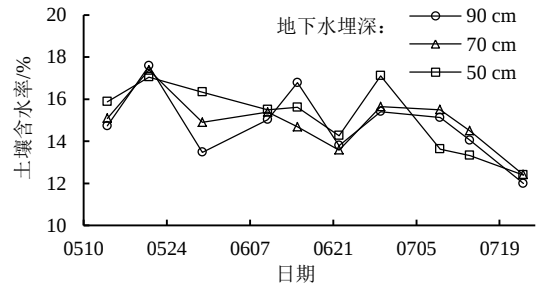


图 2 番茄生育期根系土壤 (0~20 cm) 含水率变化情况

Fig.2 Changes of soil moisture content of root system in tomato growing period

1.2.2 品质指标测定

测定单果质量, 同时用排水法测定单果体积, 计算果实密度 (果实质量/单果体积)。选取形态适宜、无病虫害的成熟果实, 用游标卡尺测定其最大纵径和最大横径, 计算果形指数。使用手持数字折射计 ACT-1E 测定番茄心室汁液中的可溶性固形物量。用蒽酮比色法^[12]测定可溶性糖量。用 NaOH 滴定法^[12]测定总酸量。通过 2,6-二氯酚酚滴定法^[12]测定 Vc 量。

采用 SP60 色差仪 (X-RITE, Incorporated. M. I., USA) 在果身四周随机选取 3 个点测定 CIE (Commision International d'Eclairage) 颜色空间坐标 L、a、b^[13], 用式 (1) 计算番茄果色指数 (Tomato Color Index, TCI)。

$$TCI = 2000 \times \frac{a}{L(a^2 + b^2)^{0.5}} \quad (1)$$

1.3 数据处理

数据分析利用 SPSS 26.0 实现, 运用事后多重比较 (Duncan) 分析不同处理间的差异性, 数据的处理和绘图主要通过 Excel 等软件完成。

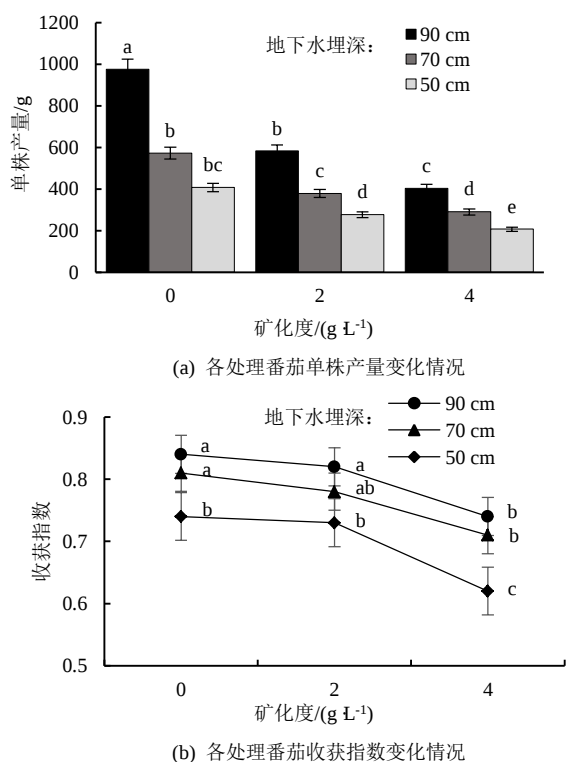
2 结果与分析

2.1 地下水埋深与矿化度变化对番茄产量及外观品质的影响

2.1.1 番茄产量及收获指数

由图 3 可看出, 番茄单株产量及收获指数在地下水埋深及矿化度变化下均呈显著性差异, 随地下水埋深深度增加而增大, 随矿化度增大而减小 ($P < 0.05$)。地下水埋深为 90 cm 时, 番茄单株产量随地下水矿化

度上升而降低最为明显,矿化度为 2、4 g/L 时番茄单株产量较 0 g/L 分别下降 40.2%、59.7%;地下水埋深为 70、50 cm 时呈相同规律;在地下水矿化度为 0 g/L 时,番茄单株产量随地下水埋深深度减少而下降最为明显,番茄单株产量在地下水埋深为 50 cm 处理下相比于地下水埋深 90 cm 处理减小 58.2%;相同矿化度处理下,番茄收获指数在地下水埋深 50 cm 处较 70、90 cm 处显著降低 ($P<0.05$),且在地下水埋深 50 cm 处理下,收获指数随矿化度上升而减小最为明显。综上可知地下水矿化度的增加造成番茄减产,且地下水矿化度越高番茄减产程度越严重,同时地下水浅埋形成渍害也会造成番茄减产。



注 不同小写字母表示各处理在 0.05 水平上的差异显著性。

图 3 不同处理下番茄单株产量及收获指数情况

Fig.3 Yield per plant and harvest index of tomato under different treatments

2.1.2 番茄外观品质

表 1 为不同处理下番茄外观品质情况,由表 1 可知,不同地下水埋深及矿化度处理下番茄平均果质量差异性显著。番茄果质量随地下水埋深深度增加而增大,随矿化度增大而减小 ($P<0.01$),番茄果质量于 90/0 (地下水埋深: cm/矿化度: g/L) 处理下最大, 50/4 处理下最小,最大果质量为最小果质量 3.47 倍,这与产量及收获指数所呈规律相同,表明地下水浅埋和高矿化度使得番茄果实发育受抑制。番茄果实密度仅在深埋 (90、70 cm) 的条件下随矿化度增大而减小 ($P<0.05$),而在浅埋的条件下未与矿化度显示出显著相关性,同时也与地下水埋深无显著性相关。果色

指数随矿化度增大而减小,70/0 处理为最大值;随地下水水位上升,矿化度 4 g/L 时果色指数较 0 g/L 分别下降 4.16%、4.75%、6.55%,番茄果色在地下水埋深深度减小过程中受矿化度影响愈发明显,地下水浅埋降低了番茄果色品质,不利于番茄果实高质量生长。

表 1 不同处理下番茄外观品质情况

Table 1 The appearance quality of tomatoes under different treatments

地下水埋深/cm	矿化度/(g L ⁻¹)	平均果质量/g	果实密度/(g cm ⁻³)	果色指数
90	0	59.56a	0.97a	29.55a
	2	49.49c	0.94ab	28.67b
	4	36.06e	0.92b	28.32b
70	0	53.37b	0.95ab	29.68a
	2	44.33d	0.98a	29.44a
	4	30.31f	0.91b	28.27ab
50	0	36.42e	0.96a	28.99ab
	2	28.89g	0.93ab	27.89c
	4	17.19h	0.97a	27.09c

注 平均果质量指标下不同小写字母表示各处理在 0.01 水平上的差异显著性;其余 2 项指标下不同小写字母表示各处理在 0.05 水平上的差异显著性。

2.2 地下水埋深与矿化度变化对番茄营养品质的影响

不同处理下番茄各项营养品质指标见表 2。番茄果实 Vc、可溶性糖、总酸、可溶性固形物量均随地下水埋深深度增加而降低,随矿化度增大而增大 ($P<0.05$),这 4 项指标均在处理 50/4 达到最大值,在处理 90/0 下为最小值。地下水埋深为 70 cm 时,番茄 Vc 量在矿化度为 2、4 g/L 时,较 0 g/L 时分别增加 10.8%、33.1%,表明地下水盐分增加使得番茄 Vc 量显著上升;地下水矿化度为 4 g/L 时,Vc 量在地下水埋深为 70、50 cm 处较 90 cm 处分别增加 5.9%、11.9%,可知地下水浅埋有利于番茄 Vc 量的积累。其余 3 项营养品质指标也呈现出一致规律,表明在地下水含盐相对较高及浅埋的情况下番茄相关营养物质浓度较高从而增强了内在品质。

表 2 不同处理下番茄各项营养指标情况

Table 2 Nutritional indicators of tomato under different treatments

地下水埋深/cm	矿化度/(g L ⁻¹)	Vc 量/(g 100g ⁻¹)	可溶性糖量/%	总酸量/(g 100g ⁻¹)	可溶性固形物量/%
90	0	9.81e	3.74de	0.49d	4.14d
	2	10.91d	3.81d	0.55cd	4.93c
	4	12.38c	4.35bc	0.65b	5.54b
70	0	9.85e	3.75de	0.51d	4.51cd
	2	10.91d	4.16c	0.59c	4.92c
	4	13.11b	4.52b	0.68b	5.59b
50	0	11.46d	4.26bc	0.58c	5.36bc
	2	13.02bc	4.45b	0.61bc	6.40a
	4	13.85a	5.05a	0.71a	6.51a

注 不同小写字母表示各处理在 0.05 水平上的差异显著性。

2.3 番茄产量及品质评价

2.3.1 综合主成分分析

主成分分析与评价是一种多元统计方法,将多个变量通过线性变化,在缺少损失原有指标信息的情况下,实现减少变量个数与综合评价的目的^[14],主成分在变差中占的比例越大,则对于最终的综合评价结果贡献越大^[15],具体计算步骤如下。

若有 n 个试验处理,每个处理有 p 个测定品质指标,记为 $x_1, x_2, \dots, x_p$, 形成数据矩阵 $\mathbf{X}$:

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & \cdots & x_{np} \end{pmatrix}. \quad (2)$$

1) 若要改变逆指标^[14]性质,使所有指标对评价方案作用同趋化,即在逆指标前加负号,即 $x'_{ij} = -x_{ij}$ 。

2) 将其转化为无量纲数值,需对

$$x'_j = \sum_{i=1}^n x_{ij} / n, \quad (3)$$

进行标准化,转化为无量纲评价指标。

$$z_{ij} = (x'_{ij} - \bar{x}'_j) / s'_j, \quad (4)$$

式中: z_{ij} 为 x'_{ij} 的标准化后的结果。

$$s'_j = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x'_{ij} - \bar{x}'_j)^2 / (n-1)}, \quad (5)$$

式中: $i=1, 2, \dots, n$; $j=1, 2, \dots, p$ 。

3) 计算标准化评价指标 $Z_j = (Z_{1j}, Z_{2j}, \dots, Z_{nj})^T$ 的相关系数矩阵。

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{p1} & \cdots & r_{pp} \end{pmatrix}, \quad (6)$$

式中 r_{jk} 表示品质评价指标 Z_j 和 Z_k 之间的相关性系数,其中 $k=1, 2, \dots, p$ 。

4) 根据相关系数矩阵 $\mathbf{R}$ 的特征根 λ_k 及相应的特征向量 $\alpha_k = (\alpha_{k1}, \alpha_{k2}, \dots, \alpha_{kp})^T$, 计算第 k 个主成分 f_{ik} 。

$$f_{ik} = \alpha_{k1} z_{i1} + \alpha_{k2} z_{i2} + \dots + \alpha_{kp} z_{ip}, \quad (7)$$

式中 $z_{ip} (i=1, 2, \dots, n)$ 表示标准化处理后的评价指标。通常选择累积方差贡献率 $\sum_{k=1}^m (\lambda_k / p) \geq 85\%$ 的少数 m

($m < p$) 个主成分作为代表进行综合评价。

5) 将选出的 m 个主成分的方差贡献率 $\eta_k = \lambda_k / p$ 作为权重,将少数 m 个主要主成分进行线性组合,得到评价番茄品质的综合主成分 F_i 。

$$F_i = \eta_1 f_{i1} + \eta_2 f_{i2} + \dots + \eta_m f_{im}, \quad (8)$$

式中: F_i 作为评价番茄品质综合主成分的指标无需单位,为了评价更为直观,可对 F_i 进行坐标转换,使其值全部为正,转换后的品质综合主成分表示为 F'_i 。

$$F'_i = F_i + 1 - \min(F_i). \quad (9)$$

2.3.2 综合主成分评价

本研究选择以下能整体表征番茄种植品质的 8 个指标作为评价变量,分别为单株产量 (X_1)、果色指数 (X_2)、收获指数 (X_3)、果形指数 (X_4)、总酸 (X_5)、可溶性固形物 (X_6)、果实密度 (X_7)、可溶性糖 (X_8),应用主成分分析法评价番茄产量及品质,用 Excel 和 SPSS 软件进行数据处理。其中果形指数、总酸、可溶性固形物、可溶性糖为逆指标,需进行同趋化处理。

将番茄 8 个评价指标标准化后的相关系数矩阵 $\mathbf{R}$ 如表 3, 所得特征值和对应的特征向量见表 4。结果表明,前 2 个主成分的累积方差贡献率为 89.58% (大于 85%), 则可将原有 8 个评价指标减低至 2 个,故选择前 2 个主成分 f_1 和 f_2 作为主要主成分。其中第一个主分量 f_1 对原有信息的方差贡献率达到 67.44%, 这一主成分主要包括了单株产量 (X_1)、果色指数 (X_2)、收获指数 (X_3)、总酸 (X_5)、可溶性固形物 (X_6) 和可溶性糖 (X_8) 的变异信息; 第二个主分量 f_2 对原有信息的方差贡献率达到 22.14%, 第二主成分则主要反应了果形指数 (X_4) 和果实密度 (X_7) 的变异信息。

表 3 番茄品质评价参数的相关矩阵

Table 3 Correlation matrix of tomato quality evaluation parameters

指标	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_1	1.000							
X_2	0.622	1.000						
X_3	0.967	0.527	1.000					
X_4	0.486	0.655	0.536	1.000				
X_5	-0.889	-0.644	-0.914	-0.670	1.000			
X_6	-0.872	-0.784	-0.883	-0.744	0.845	1.000		
X_7	0.209	-0.166	0.384	0.595	-0.343	-0.299	1.000	
X_8	-0.915	-0.736	-0.917	-0.560	0.940	0.907	-0.126	1.000

注 X_1 为单株产量; X_2 为果色指数; X_3 为收获指数; X_4 为果形指数; X_5 为总酸; X_6 为可溶性固形物; X_7 为果实密度; X_8 为可溶性糖。

表 5 为不同处理下番茄产量及品质评价结果,可看出处理 90/0 得分最高,较最低分值(处理 50/4)增加 467.92%。矿化度 0 g/L 的处理下番茄综合排名相对靠前,而高矿化度处理下番茄综合评价排名靠后,这与前文矿化度对番茄产量及外观品质的影响发现的规律一致,说明低盐对番茄生长最为有利,盐分虽然有利于番茄果实营养品质提升,但对番茄产量及外观的负影响过大。同时,不同地下水埋深处理下,90 cm 与 70 cm 埋深评价结果相差不大,而 50 cm 处理下番茄综合主成分评价价值显著低于其他处理。由此可知,在地下水相对深埋且矿化度较低条件下,番茄果实产量及品质能够达到较高水平。从表 5 可以看出,

处理 90/2、处理 70/2 的综合排名相对靠前,说明在 证番茄产量也能显著提高番茄营养品质。
地下水埋深 ≥ 70 cm 且矿化度 ≤ 2 g/L 的条件下,既保

表 4 主成分的系数和贡献率

Table 4 Coefficient and contribution rate of principal components

主成分	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	特征值	贡献率	累计贡献率/%
f_1	0.916	0.856	0.867	0.577	-0.890	-0.921	0.011	-0.969	5.235	67.442	67.442
f_2	0.184	-0.156	0.356	0.617	-0.337	-0.288	0.998	-0.114	1.771	22.137	89.579

表 5 番茄品质综合得分

Table 5 Comprehensive tomato quality score

排序	1	2	3	4	5	6	7	8	9
处理	90/0	70/0	90/2	70/2	50/0	70/4	90/4	50/2	50/4
综合得分	5.895	5.309	4.682	3.707	3.585	2.918	2.876	2.391	1.038

注 处理“90/0”表示地下水埋深 90 cm 且矿化度为 0 g/L, 其余处理的表示依此类推。

3 讨论

3.1 地下水埋深变化对番茄产量及品质的影响

本研究中番茄产量、收获指数、平均果质量等指标随地下水埋深深度增加而增大。此前关于地下水埋深对番茄生长发育影响的研究较少,但关于玉米、小麦、棉花等的研究都显示出作物产量随地下水埋深深度增加而增高的规律,有研究^[16-18]认为地下水埋深是通过影响根部发育从而影响作物生长,地下水位过高会使得作物根部发生渍害,导致根部发育不良,致使作物产量下降,但地下水位适当下降又有利于改善土壤通气状况,提高根部活力,从而促进产量提升,因此地下水位的变化对作物的产量的影响较为复杂。然而,Vc、可溶性糖、可溶性固形物、总酸等营养物质随地下水埋深增加而减少,有研究发现地下水浅埋有利于玉米营养物质积累,且叶面积指数随地下水埋深增加而减小^[19],因此地下水埋深的变化可能是通过影响番茄叶面积指数而影响营养物质积累;但也可能是由于浅埋形成渍害使得作物体内活性氧自由基增多、膜脂过氧化程度加剧,引起生物膜渗透性增加^[20-21],刺激分泌可溶性糖、可溶性固形物等调节渗透性等物质,导致营养物质浓度升高。关于番茄生长发育对于地下水埋深变化的响应有待进一步研究。

3.2 地下水矿化度变化对番茄产量及品质的影响

本研究中番茄产量、收获指数、平均果质量等指标随地下水矿化度增大而减小。已有研究发现番茄产量、鲜果干质量会随盐分的增高而减小^[22-23],表明盐分的确是影响番茄产量的关键因素,且含盐量越高对番茄产量及外观品质影响越显著。这可能是由于灌溉水携带盐分进入土壤,使得土壤水渗透势减小,影响番茄根部吸水,而花果期正是地上部分生物量迅速积累的时期,番茄根部吸水困难则导致减产;也可能是灌溉水中的 Na^+ 、 Cl^- 对番茄光合作用的抑制, Na^+ 、 Cl^- 使得叶绿素量降低^[24],所以破

坏了番茄的光合机能,使得光合效率降低,最终影响番茄产量及外观品质。

本研究中番茄 Vc、可溶性糖、总酸、可溶性固形物等营养指标均随矿化度增大而增大,这与前人^[25-26]所发现规律一致,表明盐分刺激番茄产生可溶性渗透物来调节细胞渗透压,以维持植株正常汲取养分,使得营养物质易于积累。不过也有发现指出这几项营养指标并不是一直随矿化度上升而增大^[27-28],当矿化度大于一定值后,会抑制作物营养物质积累,导致番茄 Vc、可溶性糖、总酸、可溶性固形物等量下降,但本试验中这几项指标还未随矿化度上升出现下降趋势,可能是由于试验设计的矿化度还未达到临界值,对于临界矿化度值可做进一步探究。

4 结论

1) 各处理中番茄单株产量、收获指数、平均果质量及番茄果色指数均随地下水矿化度增加而显著减小,随地下水埋深深度增加而显著增加($P<0.05$)。地下水浅埋及高矿化度条件下,番茄果形明显受到抑制,果色品质降低,产量减少。

2) 各处理中番茄 Vc、可溶性糖、总酸和可溶性固形物量均随地下水矿化度增加而显著增加,随地下水埋深增加而显著减少($P<0.05$)。盐分对于番茄果实 Vc、可溶性糖、总酸和可溶性固形物量生成有促进作用,同时与高盐分情况下番茄果实外形指数降低而使营养物质浓缩有关。

3) 番茄产量及品质在地下水埋深大于 70 cm 及矿化度小于 2 g/L 的条件下能够维持在较高水平,同时可以保证番茄的经济效益,该结论可为沿海地区番茄的种植提供一定帮助。

参考文献:

- [1] 温静. 天津滨海新区盐碱地景观生态化设计研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2008.

- WEN Jing. Study on the ecological design of saline-alkali landscape in Tianjin Binhai new area[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2008.
- [2] 王广博, 徐翠兰, 黄蕊, 等. 江苏沿海地区围垦动态与土地利用变化驱动力研究[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2020(2): 163-170.
- WANG Guangbo, XU Cuilan, HUANG Rui, et al. Research on driving forces of reclamation dynamics and land use change in coastal areas of Jiangsu Province[J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2020(2): 163-170.
- [3] 郑一鹏, 余冬立, 王洪德. 钠盐含量变化对海涂粉砂土工程边坡土力学性质的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(2): 93-97.
- ZHENG Yipeng, SHE Dongli, WANG Hongde. Effects of sodium salt content on soil mechanical properties of silty sand on engineering soil slope in coastal reclamation area[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2019, 33(2): 93-97.
- [4] 侯国华, 高茂生, 党显璋, 等. 江苏盐城滨海地区浅层地下咸水的水盐来源及咸化成因[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2021, 41(4): 48-59.
- HOU Guohua, GAO Maosheng, DANG Xianzhang, et al. Water and salt sources and salinization of shallow saline groundwater in the coastal area of Yancheng, Jiangsu[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2021, 41(4): 48-59.
- [5] 张岩, 付昌昌, 毛磊, 等. 江苏盐城地区地下水水化学特征及形成机理[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(4): 598-605.
- ZHANG Yan, FU Changchang, MAO Lei, et al. Hydrochemical characteristics and formation mechanism of the groundwater in Yancheng, Jiangsu Province[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2017, 26(4): 598-605.
- [6] 果才佳, GAMARELDAWLA H D Agbna, 余冬立. 生物炭施用对滨海盐碱地番茄生长与耗水规律的影响[J]. 中国农村水利水电, 2021(7): 181-184, 191.
- GUO Caijia, GAMARELDAWLA G H D, SHE Dongli. The effect of biochar application on tomato growth and water consumption in coastal saline alkaline soil[J]. China Rural Water and Hydropower, 2021(7): 181-184, 191.
- [7] 姚玉涛, 张国新, 孙叶烁, 等. 微咸水灌溉对设施番茄生长以及产量和品质的影响[J]. 河北农业科学, 2021, 25(1): 48-53.
- YAO Yutao, ZHANG Guoxin, SUN Yeshuo, et al. Effects of brackish water irrigation on growth, yield and quality of tomato in facility[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2021, 25(1): 48-53.
- [8] TALEISNIK E. A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science American Society for Horticultural Science, 1988, 113(2): 202.
- [9] 李会杰, 易军, 赵英, 等. 浅层地下水对玉米根区水分及根系吸水影响的数值模拟[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(11): 35-38, 46.
- LI Huijie, YI Jun, ZHAO Ying, et al. Effects of shallow groundwater table on root zone water and root water uptake of maize using numerical model[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2015, 34(11): 35-38, 46.
- [10] 贾春青, 张瑞坤, 陈环宇, 等. 滨海盐碱地地下水位对土壤盐分动态变化及作物生长的影响[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2018, 35(4): 283-290.
- JIA Chunqing, ZHANG Ruikun, CHEN Huanyu, et al. Impact of groundwater level on salt dynamics and crop growth in coastal saline soil[J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science), 2018, 35(4): 283-290.
- [11] XU X, HUANG G H, SUN C, et al. Assessing the effects of water table depth on water use, soil salinity and wheat yield: Searching for a target depth for irrigated areas in the upper Yellow River Basin[J]. Agricultural Water Management, 2013, 125: 46-60.
- [12] 聂继云. 果品质量安全分析技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [13] 陈金亮. 番茄果实生长和糖分模拟及节水调质优化灌溉决策研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.
- CHEN Jinliang. Modeling fruit growth and sugar accumulation and optimizing irrigation scheduling for improving water use efficiency and fruit quality of tomato[D]. Beijing: China Agricultural University, 2016.
- [14] 王峰, 杜太生, 邱让建. 基于品质主成分分析的温室番茄亏缺灌溉制度[J]. 农业工程学报, 2011, 27(1): 75-80.
- WANG Feng, DU Taisheng, QIU Rangjian. Deficit irrigation scheduling of greenhouse tomato based on quality principle component analysis[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(1): 75-80.
- [15] 吴殿廷, 吴迪. 用主成分分析法作多指标综合评价应该注意的问题[J]. 数学的实践与认识, 2015, 45(20): 143-150.
- WU Dianting, WU Di. Some problems in comprehensive evaluation of the principal component analysis[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2015, 45(20): 143-150.
- [16] 王晓红, 侯浩波. 浅地下水对作物生长规律的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2006, 25(3): 13-16, 20.
- WANG Xiaohong, HOU Haobo. The influence of shallow groundwater on crops growth laws[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2006, 25(3): 13-16, 20.
- [17] 郭枫, 郭相平, 袁静, 等. 地下水埋深对作物的影响研究现状[J]. 中国农村水利水电, 2008(1): 63-66.
- GUO Feng, GUO Xiangping, YUAN Jing, et al. Advances in effects research of groundwater level on crop[J]. China Rural Water and Hydropower, 2008(1): 63-66.
- [18] 杨建锋, 万书勤. 地下水对作物生长影响研究[J]. 节水灌溉, 2002(2): 36-38.
- [19] 余映军, 李平, 白芳芳, 等. 地下水埋深与施氮水平对夏玉米生长及硝态氮量的影响[J]. 灌溉排水学报, 2021, 40(4): 22-28.
- SHE Yingjun, LI Ping, BAI Fangfang, et al. The combined effects of groundwater depth and nitrogen fertilization on yield of summer maize and nitrate distribution in soil[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2021, 40(4): 22-28.
- [20] AHMED S, NAWATA E, HOSOKAWA M, et al. Alterations in photosynthesis and some antioxidant enzymatic activities of mungbean subjected to waterlogging[J]. Plant Science, 2002, 163(1): 117-123.
- [21] 李玲, 张春雷, 张树杰, 等. 渍水对冬油菜苗期生长及生理的影响[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(3): 247-252.
- LI Ling, ZHANG Chunlei, ZHANG Shujie, et al. Effects of waterlogging on growth and physiological changes of winter rapeseed seedling (*Brassica napus* L.)[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2011, 33(3): 247-252.
- [22] 曹荷莉, 丁日升, 薛富岚. 不同水盐胁迫对番茄生长发育和产量的影响研究[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(2): 29-35.
- CAO Heli, DING Risheng, XUE Fulan. Growth and yield of tomato as impacted by salinity stress[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2019, 38(2): 29-35.
- [23] CAMPOS C A B, FERNANDES P D, GHEYI H R, et al. Yield and fruit quality of industrial tomato under saline irrigation[J]. Scientia Agricola, 2006, 63(2): 146-152.
- [24] 鲁少尉, 齐飞, 李天来. NaCl、单 Na⁺、Cl⁻盐胁迫对番茄叶片光合特性及蔗糖代谢的影响[J]. 河南农业科学, 2012, 41(3): 107-112.
- LU Shaowei, QI Fei, LI Tianlai. Effect of NaCl, Na⁺-salt and Cl⁻-salt stresses on photosynthetic characteristics and sucrose metabolism in tomato leaf[J]. Journal of Henan Agricultural Sciences, 2012, 41(3): 107-112.
- [25] 李丹, 万书勤, 康跃虎, 等. 滨海盐碱地微咸水滴灌盐调控对番茄生长及品质的影响[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(7): 39-50.
- LI Dan, WAN Shuqin, KANG Yuehu, et al. Effects of water-salt regulation on tomato growth and quality under drip irrigation with brackish water in coastal saline-alkali soil[J]. Journal of Irrigation and

- Drainage, 2020, 39(7): 39-50.
- [26] YAN S H, GAO Y M, TIAN M J, et al. Comprehensive evaluation of effects of various carbon-rich amendments on tomato production under continuous saline water irrigation: Overall soil quality, plant nutrient uptake, crop yields and fruit quality[J]. *Agricultural Water Management*, 2021, 255: 106 995.
- [27] 龙振东. 非均匀盐胁迫对番茄生长、产量及品质的影响[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2020.
- LONG Zhendong. Effects of heterogeneous salt stress on tomato growth, yield and quality[D]. Kunming: Kunming University of Science and Technology, 2020.
- [28] 张继峰, 王振华, 张金珠, 等. 滴灌下氮盐交互对加工番茄荧光特性及产量品质的影响[J]. *中国农业科学*, 2020, 53(5): 990-1 003.
- ZHANG Jifeng, WANG Zhenhua, ZHANG Jinzhu, et al. The influences of different nitrogen and salt levels interactions on fluorescence characteristics, yield and quality of processed tomato under drip irrigation[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2020, 53(5): 990-1 003.

The Change in Yield and Fruit Quality of Tomato as Affected by Groundwater Depth and Salinity in Coastal Regions

ZHAO Junhan¹, SHE Dongli^{1*}, YAO Huaizhu², ZHANG Li¹

(1. College of Agricultural Science and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Development Center for Rural Water Conservancy and Technology of Jiangsu Province, Nanjing 210029, China)

Abstract: 【Objective】 Groundwater level in coastal saline-alkaline areas changes frequently due to the impact of tides. The associated water and salt movement in soil is hence more complicated than in other regions. This paper investigated the impact of groundwater depth and salinity on yield and fruit quality of tomato. 【Method】 The experiment was conducted in soil columns, with the groundwater table controlled at the depths of 90, 70, and 50 cm, respectively. Groundwater salinity was mimicked by NaCl concentration, which was controlled at 0, 2 and 4 g/L respectively. In each treatment, we measured the yield and fruit quality of the tomato. The treatments were compared using the principal component analysis and evaluation. 【Result】 The tomato yield, harvest index, average fruit weight and color index all decreased significantly with the increase in groundwater salinity, while increased significantly with the increase in groundwater depth. These four indexes were maximized when the groundwater depth was 90 cm and the NaCl concentration was zero. In contrast, vitamin C, soluble sugar, total acid and soluble solid content all increased significantly with the increase in groundwater salinity, while decreased significantly with the increase in groundwater depth. These four indicators peaked when the groundwater depth was 50 cm and NaCl concentration was 4 g/L. 【Conclusion】 Comprehensive principal component analysis shows that the comprehensive quality of the tomato increased with groundwater depth and decreased as the groundwater salinity increased. The optimal for our experiment was groundwater depth is 90 cm and the NaCl concentration is zero.

Key words: groundwater depth; soil salinity; tomato; principal component analysis and evaluation

责任编辑: 赵宇龙