

江苏沿海滩涂地下水埋深及矿化度变化规律

王丽娟¹, 宋翹楚², 吴 为¹, 曹善宇³

(1. 江苏汇智工程技术有限公司, 江苏 南京 210036; 2. 沈阳市土地储备服务中心, 辽宁 沈阳 110000;
3. 江苏省水利工程科技咨询股份有限公司, 江苏 南京 210029)

摘要:为加快江苏沿海滩涂新垦区脱盐改良的步伐,选择典型区域开展野外定位测试,统计并分析特定水文及环境条件下地下水埋深及矿化度的变化规律。结果表明:江苏沿海滩涂地区降水量充足,降雨时空分布不均,5—9月的降水量约占全年降水量的73%;研究区的地下水埋深与降水量、蒸发量及其附近的梁垛河水位的相关系数分别为0.94、0.78、0.51,均呈极显著相关关系;地下水矿化度与降水量、蒸发量呈极显著相关关系(相关系数分别为0.79和0.66),与地下水埋深呈显著相关关系(相关系数为0.42)。

关键词:滩涂; 围垦区; 地下水埋深; 地下水矿化度; 环境影响; 变化规律; 江苏省

中图分类号:S277 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2021)06-0052-06

Variation law of groundwater depth and mineralization of coastal tidal flats in Jiangsu Province//WANG Lijuan¹, SONG Qiaochu², WU Wei¹, CAO Shanyu³ (1. *Jiangsu Huizhi Engineering Technology Co., Ltd., Nanjing 210036, China*; 2. *Shenyang Land Reserve Service Center, Shenyang 110000, China*; 3. *Jiangsu Province Water Engineering Sci-Tech Consulting Co., Ltd., Nanjing 210029, China*)

Abstract: To accelerate the desalination improvement of coastal tidal flats in Jiangsu Province, a typical area was selected for field location tests. The variation rules of groundwater depth and mineralization under specific hydrological and environmental conditions were statistically analyzed. The results show that the rainfall on coastal tidal flat areas in Jiangsu is abundant, and the spatial and temporal distribution of rainfall is uneven. The rainfall from May to September accounts for 73% of the annual rainfall. The correlation coefficients between groundwater depth and rainfall, evaporation and the water level of the Liangduo River near the study area are 0.94, 0.78 and 0.51, respectively, showing extremely significant correlation. The groundwater mineralization is significantly correlated with rainfall and evaporation with the correlation coefficients of 0.79 and 0.66, respectively. It is also significantly correlated with groundwater depth with the correlation coefficient of 0.42.

Key words: tidal flat; reclamation zone; groundwater depth; groundwater mineralization; environmental impact; variation law; Jiangsu Province

在国民经济持续快速发展过程中,滩涂作为土地的重要组成形式,担负着特殊的历史使命,逐渐成为重要的利用对象^[1]。沿海滩涂围垦活动历史悠久,影响巨大。据统计,世界上有64个沿海国家与地区早已开展滩涂围垦。围垦活动在一定的历史时期给人们带来了巨大的经济利益,以至于世界各国加大了沿海资源,尤其是滩涂资源的开发力度,滩涂湿地在开发利用中也逐渐显现出水资源安全、土地资源安全、生物入侵及自然灾害加剧等风险,成为人类围垦活动中面临的问题。研究人员逐步注意到围垦活动带来的一些影响,比如:使滩涂土壤性质发生变化^[2-3],对生物多样性^[4-5]、土地利用和景观格局^[6-7]、河口水动力环境^[8-9]、沿海滩涂生态安全状况^[10-11]、滩涂湿地生态系统服务^[12-13]等造成影响。我国在过去很长时期内滩涂的开发利用形式较粗放,随着社会经济的发展和生态环境保护要求的提高,国家对滩涂利用政策进行了调整,严令禁止对生态环境造成不利影响的滩涂围垦开发利用方式,为生态环境保护及滩涂区域的开发利用指明了方向。在保护生态环境的同时,对沿海滩涂已开发区域生态服务价值的功能保护及滩涂资源的持续高效利用仍然应有充分重视。

滩涂区域由于经常受到海水浸泡,土壤中的含盐量相当高且营养成分少,不利于植物生长^[14]。但是,滨海盐碱地作为重要的土地后备资源,受到广泛关注,并且受重度盐渍化影响的滩涂地在土壤脱盐改良利用方面成为广大科技工作者的研究热点^[15-18]。

江苏沿海滩涂位于暖温带向亚热带的过渡区,气候温和,滩涂资源丰富,约占全国滩涂总面积的四分之一(65.3 万 hm^2),占全省陆域面积的十五分之一,具有悠久的围垦利用历史^[19]。江苏沿海地区大面积的盐碱地是中国滨海盐碱地的典型代表,也具有滨海盐土的共同特点^[20-24],即:低养分、高盐碱、盐分分布不均、地下水矿化度高、地表淡水资源缺乏等。沿海滩涂地下水埋深和矿化度是影响土壤改良的重要因素,研究地下水埋深及矿化度在不同条件下的变化规律,有助于盐碱地改良技术深化研究。为了积累基础资料,探究江苏沿海滩涂的环境条件,以利于对江苏沿海滩涂地进行脱盐改良,从而合理开发利用。本研究选择江苏沿海滩涂典型区域为研究对象,在试验基地进行野外定位测试,统计并分析特定水文及环境条件下地下水埋深及矿化度的变化规律,旨在为进一步开展滩涂地盐碱土改良技术研究提供基础数据。

1 研究区概况

盐城市地处北纬 $32.85^{\circ} \sim 34.20^{\circ}$ 、东经 $119.57^{\circ} \sim 120.45^{\circ}$,该市面积以及沿海滩涂的面积都位居江苏省首位,分别为 $16\,931\text{ km}^2$ 和 $4\,553\text{ km}^2$ 。海岸线长度达 582 km ,占整个江苏省海岸线的 61% 。试验区位于江苏省盐城市所辖东台市弼港镇,是典型的滨海平原区。项目区属于北亚热带季风气候,多年平均降水量 $1\,055.7\text{ mm}$ 。

试验区地域平坦,地面高程为 $3.30 \sim 4.77\text{ m}$ (黄海高程)。试验区土层在 $0 \sim 40\text{ cm}$ 深度范围内大部分为粉质壤土,超过 40 cm 深度范围内多为砂质壤土,该区域土壤质地 in 江苏省沿海平原一带具有一定的代表性,改良后的土壤较适合农作物生长,有利于发展高效农业。试验区地理位置见图 1,土壤的理化性质指标见表 1^[25]。

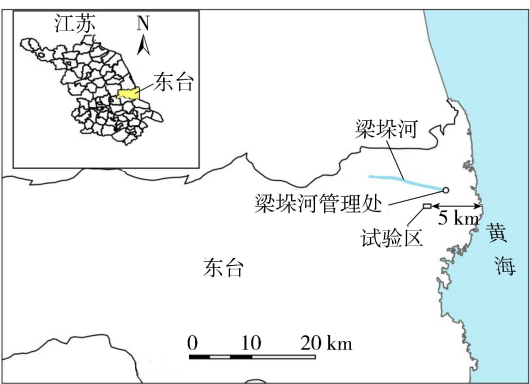


图 1 试验区地理位置示意图

2 试验设计和数据处理

试验区位于江苏省东台市弼港镇,共分 7 个小区(田块),每个小区长 80 m 、宽 80 m ,面积为 $6\,400\text{ m}^2$ 。在每个小区中部自北向南布置 3 个测井,测井间距为 20 m ,井深为 3 m 、直径为 0.12 m 、管壁为 UPVC 管材。通过测量监测井中的水位,观测地下水埋深。将取水瓶捆绑在竹竿上,伸入监测井中取水样,封存并带回实验室用电导率笔测定水样中的盐分。观测时间为 2018 年 1 月 1 日至 12 月 31 日,每日 $8:00$ 进行水位观测,记录数据并同时取水样。

参考《土壤农化分析》^[26] 进行土壤盐碱性指标试验,采用 Excel 表格进行数据整理并绘制变化曲线,采用 SPSS 软件分析变量之间的相关性。

3 试验结果与分析

3.1 研究区自然降雨特征

研究区降水量充足,但时空分布不均,2007—2018 年各月平均降水量、年降水量及 2018 年各月平均降水量如表 2 所示。统计结果表明:①研究区 5—9 月降水量较大,该期间的降水量约占全年降水量的 73% ,其中 8 月降水量最大(达到 192.9 mm);②研究区 2007—2018 年平均降水量约为 865.4 mm ,各年的年降水量变化不太大;③2018 年 7 月降水量仅为 62.0 mm ,明显小于往年同期降水量。

研究区域 2018 年共发生有效降雨 43 次,其中次降水量属于小雨的有 22 次,平均雨量 4.73 mm ,小雨次数占年内降雨次数的 51.2% ;次降水量属于

表 1 试验区土壤的理化性质指标

土体 深度/cm	含盐量/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	有机质/ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	速效钾/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	pH 值	干密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	颗粒组成/%		
						$d>0.05\text{ mm}$	$d=0.05 \sim 0.005\text{ mm}$	$d<0.005\text{ mm}$
0 ~ 20	7.8	11.0	212	8.1	1.38	6.5	83.5	10.0
20 ~ 40	4.5	9.8	169	7.8	1.38	7.9	84.8	7.3
40 ~ 60	2.8	8.1	188	7.9	1.62	12.4	80.8	6.8
60 ~ 80	2.6	6.3	234	7.9	1.45	16.9	78.0	5.1

注: d 为粒径。

表 2 研究区降水量统计

2007—2018 年 月平均降水量		2007—2018 年 年降水量		2018 年各月 降水量	
月份	降水量/mm	年份	降水量/mm	月份	降水量/mm
1	26.3	2007	823.2	1	32.5
2	29.6	2008	734.6	2	21.5
3	27.6	2009	905.2	3	40.0
4	39.8	2010	905.4	4	2.5
5	91.6	2011	1019.0	5	156.0
6	144.7	2012	868.9	6	165.5
7	155.2	2013	710.7	7	62.0
8	192.9	2014	857.5	8	115.5
9	92.5	2015	1061.0	9	63.5
10	40.0	2016	1040.0	10	24.0
11	59.4	2017	670.5	11	63.0
12	28.1	2018	789.5	12	43.5

中雨的有 11 次,平均雨量 16.0 mm,中雨次数占年内降雨次数的 25.6%;次降水量属于大雨的有 5 次,平均雨量 38.15 mm,大雨次数占年内降雨次数的 11.6%;次降水量属于暴雨的有 5 次,平均雨量 62.53 mm,暴雨次数占年内降雨次数的 11.6%。未发生大暴雨和特大暴雨。

3.2 地下水埋深变化特征

地下水埋深的变化除了受降雨、灌溉、蒸发等多种因素的影响之外,同时还受到自然环境及人为因素的综合作用。研究区水资源较丰富,大部分土地为农业用地,附近开发程度不高,多采用河水进行灌溉,对地下水埋深无明显影响。研究区地下水埋深变化几乎取决于自然条件。

3.2.1 地下水埋深变化特征

笔者于 2018 年在研究区进行了为期一年的地下水埋深观测,所得结果绘制的地下水埋深变化曲线见图 2。图 2 表明该区地下水埋深在 1 月、11 月和 12 月期间变化不明显,2—10 月期间由于降雨和蒸发变化幅度较大,地下水埋深变化较频繁。本研究区地下水埋深较浅,年平均值为 1.69 m,8 月 24 日达到最小值 0.1 m,5 月 8 日达到最大值 2.76 m。

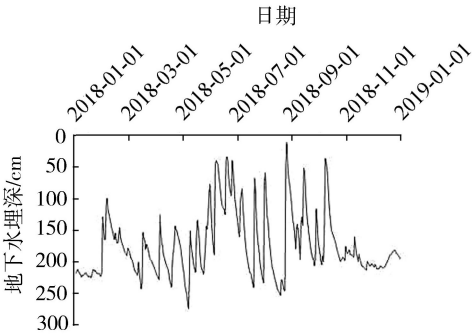


图 2 研究区地下水埋深变化曲线

随着降雨和蒸发的发生,地下水埋深会有所改变。当降雨发生时,雨水渗入会引起地下水埋深减

小;蒸发会使土壤中的含水量变少,进而借助毛细管力使地下水上升到土壤中,导致地下水埋深增加。

3.2.2 降雨对地下水埋深的影响

2018 年研究区的降水量及地下水埋深测试结果如图 3 所示。从图 3 可以看出,地下水埋深随着降雨的发生产生了剧烈变化,变化曲线中存在多个相差幅度较大的极大值点和极小值点。几乎每次地下水埋深减小都与发生降雨相呼应,在相邻两次降雨间隔的时间内地下水埋深增加,表明地下水埋深的变化与降雨事件密切相关且两者之间发生的相应变化具有实时性。

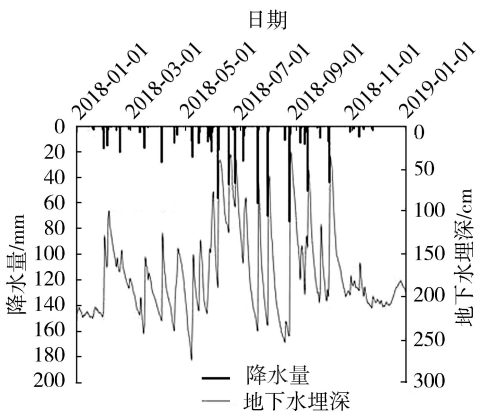


图 3 降水量与地下水埋深变化曲线

图 3 显示,2—10 月间降雨时常发生,引起地下水埋深波动频繁且变化幅度较大。试验区 8 月 24 日发生强降雨,降水量达到 72.4 mm,经过此次降雨,地下水埋深减少了 186 cm,达到该年地下水埋深的最大上升幅度。2018 年研究区 1 月、11 月和 12 月的降水量在年内属于较低水平,地下水埋深变化幅度不大。

3.2.3 蒸发对地下水埋深的影响

测试并统计 2018 年的蒸发量及地下水埋深情况,将所得结果绘制成图 4。

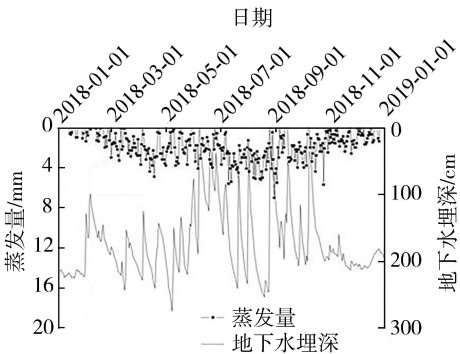


图 4 蒸发量与地下水埋深变化曲线

对照图 3 与图 4,可以看出在试验区降雨较小或者无降雨的情况下,地下水埋深的变化与蒸发关系密切(统计结果表明两者呈极显著相关,相关系

数为0.78),蒸发会导致地下水埋深相应地增加,蒸发量越高则地下水埋深下降的幅度越大。

3.2.4 附近河水位对地下水埋深的影响

研究区地下水埋深变化除了与水文气象因素有关外,还与其附近的梁垛河水位有关。测试并统计2018年地下水埋深及梁垛河水位的变化值,绘制成图5。

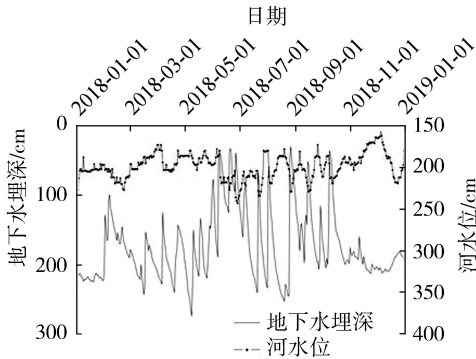


图5 地下水埋深与河水位变化曲线

图5显示,梁垛河水位在降雨最集中的7—9月表现出较强的波动性,相应的地下水埋深与河水位的波动频率及波动幅度在该时段也最突出。在发生降雨次数较少且降水量较小的1—2月以及11—12月,地下水埋深波动幅度不大,河水位的变化情况也类似。

分别对地下水埋深与降雨、蒸发、梁垛河水位进行相关分析,所得相关系数分别为0.94、0.78、0.51。SPSS分析结果表明地下水埋深与降雨、蒸发、梁垛河水位皆呈极显著相关关系,降雨、蒸发、梁垛河水位对地下水埋深的影响从大到小排序为降雨>蒸发>梁垛河水位。

3.3 地下水矿化度变化特征

3.3.1 2018年地下水矿化度变化特征

测试并统计研究区2018年各月自然条件下的降水量、蒸发量及地下水矿化度平均值,见表3。

表3 研究区2018年降水量、蒸发量及地下水矿化度平均值

月份	降水量/ mm	蒸发量/ mm	地下水矿化 度平均值/ (g·L ⁻¹)	月份	降水量/ mm	蒸发量/ mm	地下水矿化 度平均值/ (g·L ⁻¹)
1	32.5	17.1	19.40	7	62.0	95.0	1.52
2	21.5	16.1	12.00	8	115.0	102.0	1.07
3	40.0	53.0	10.00	9	63.5	62.8	1.79
4	2.5	75.0	5.80	10	24.0	61.9	2.22
5	156.0	53.0	2.86	11	63.0	37.9	4.69
6	165.0	57.7	1.62	12	43.5	17.8	19.80

自然条件下,降水量和蒸发量均与当地的温度和湿度等气候因素相关,降雨和蒸发会对地下水矿化度产生一定的影响。表3显示,降水量和蒸发量在一年中呈现先上升、后下降的变化趋势,而地下水矿化度的变化情况则与其相反。研究区1—4月及

12月降水量和蒸发量大体处于较低值,而地下水矿化度则处于较高水平,12月地下水平均矿化度达到该年的最大值(19.80g/L),约为8月地下水矿化度平均值的18.5倍。

3.3.2 降雨对地下水矿化度的影响

研究区2018年观测到的43次降水量及相应的每次降雨前后地下水矿化度的变化情况见表4。地下水矿化度的变化幅度P计算公式如下:

$$P = (M_2 - M_1) / M_1 \times 100\%$$
 (1)

式中:M₁为降雨前当日地下水矿化度;M₂为降雨后当日地下水矿化度。

表4 研究区降水量与地下水矿化度变化情况

降雨序号	降水量/mm	P/%	降雨序号	降水量/mm	P/%
1	2.25	+1.09	23	27.43	-62.86
2	3.12	-0.06	24	7.99	-20.88
3	17.96	-21.42	25	2.18	32.14
4	3.24	-0.48	26	60.51	-77.46
5	3.59	-3.12	27	3.54	-44.98
6	2.75	+2.24	28	70.24	-48.66
7	5.25	-3.05	29	4.31	-13.94
8	17.47	-16.58	30	74.62	-59.79
9	28.58	-47.21	31	6.80	-3.08
10	7.37	-11.32	32	13.43	-21.92
11	11.88	-8.07	33	2.07	+6.83
12	24.49	-50.49	34	14.43	+3.51
13	13.71	-22.85	35	4.86	+3.04
14	12.50	-15.55	36	50.77	-76.07
15	8.68	-6.15	37	1.74	+1.64
16	11.07	-8.88	38	9.64	-5.17
17	20.16	-12.43	39	44.11	-62.49
18	4.86	7.22	40	4.86	-2.57
19	56.52	-73.35	41	8.73	+2.20
20	18.86	-22.18	42	2.59	+25.33
21	45.83	-57.39	43	3.74	+18.01
22	44.80	-51.39			

注:“+”表示地下水矿化度上升,“-”表示地下水矿化度下降。

从表4可以看出,研究区2018年发生的最大降雨的雨量为74.62mm,与其对应的地下水矿化度比降雨前下降了59.79%,该地下水矿化度变化值并非全年的最大变化值,全年地下水矿化度变化幅度最大值(77.46%)所对应的那次降水量为60.51mm。出现这种状况的原因在于地下水矿化度变化幅度不仅受降水量影响,同时还受地下水矿化度、蒸发、地下水埋深等因素的共同作用。

为了了解单次降水量与地下水矿化度变化之间的关系,根据地下水矿化度变化的幅度,把降雨划分成3类,第一类是单次降水量小于10mm,第二类是单次降水量介于10~50mm范围,第三类是单次降水量大于50mm。把3类降雨类型的降水量与地下水矿化度的变化幅度进行相关分析,结果表明第一类降雨、第二类降雨、第三类降雨与地下水矿化度变

化的相关系数分别为 0.19、0.74、0.82。可以看出,降水量与地下水矿化度变化的相关性随着单次降水量的增大而增强。该结果也说明单次降雨的雨量越大,其在渗入土壤到达地下水这个过程中所损失的水量占降水量越小,也就是说降水量越大则雨水在渗入土壤后到达地下水这个过程中所损失的水量占降水量的比重越小,即降水量越大,单位水量对地下水矿化度的影响也越大。把 2018 年各次降水量与地下水矿化度的变化幅度进行相关分析,得出相关系数为 0.79,呈极显著性相关。

测试并统计研究区 2018 年地下水矿化度与降雨的变化情况,以便了解它们之间的关系,将所得结果绘制成图 6。

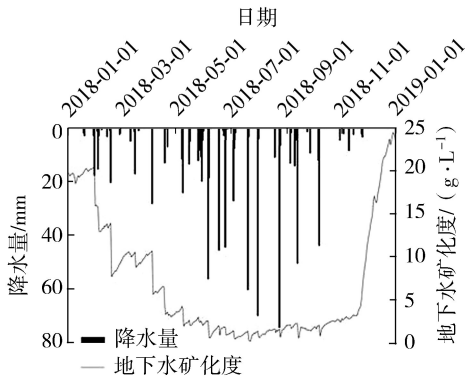


图 6 降水量与地下水矿化度变化情况

图 6 显示,地下水矿化度与降雨之间存在一定的关系。降雨发生时地下水矿化度随之变化,且随着降水量增大,相应的地下水矿化度降低;在相邻两次降雨发生的时间间隔内,地下水矿化度会有所增大。全年的地下水矿化度变化曲线大体为 U 形,呈先减小、后增大的趋势。2018 年年初时地下水矿化度较高,在 1 月降水量较小的情况下地下水矿化度没有明显下降,之后降雨频率及降水量逐渐增加,地下水矿化度在其影响下产生较大幅度的下降,该下降过程一直持续到 6 月,地下水矿化度达到了一年中的较低水平。在 6—9 月期间降雨频率较高,降水量处于年内较高水平,地下水矿化度则达到了年内较低水平。进入 10 月以后降水量逐渐下降,蒸发因素起决定性作用,在此条件下地下水矿化度呈现小幅度上升。11—12 月降水量明显减少,地下水矿化度急剧上升。

3.3.3 蒸发对地下水矿化度的影响

测试并统计 2018 年地下水矿化度及蒸发量变化情况,以便了解它们之间的关系,将所得结果绘制成图 7。

把蒸发量与地下水矿化度进行相关分析,考虑到降雨对地下水中的盐分具有稀释作用,在一定程

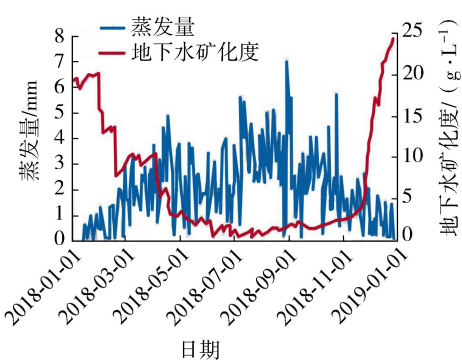


图 7 蒸发量与地下水矿化度变化曲线

度上会影响统计结果,故统计分析中剔除降雨日的蒸发与降雨数据,统计得出蒸发量与地下水矿化度相关系数为 0.66,呈极显著相关。

3.3.4 地下水埋深与地下水矿化度的关系

测试并统计研究区 2018 年地下水埋深与地下水矿化度数据,探寻它们之间的变化关系,将所得结果绘制成图 8。图 8 显示地下水矿化度随着地下水埋深的减小而降低,随地下水埋深的增大而升高。分析结果表明,两者的相关系数为 0.42,呈显著相关。

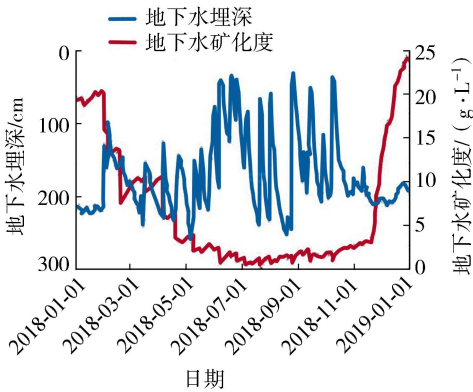


图 8 地下水埋深与地下水矿化度变化曲线

4 结 论

a. 江苏沿海滩涂地区 2007—2018 年的降雨资料统计分析结果表明,区域降水量时空分布不均,降水量充足,全年降水量主要集中在 5—9 月,此期间的降水量约占全年降水量的 73%。

b. 地下水埋深与降雨、蒸发、梁垛河水位的相关系数分别为 0.94、0.78、0.51,均呈极显著相关关系。降雨、蒸发、梁垛河水位对地下水埋深的影响从大到小排序为降雨>蒸发>梁垛河水位。

c. 地下水矿化度的变化与降雨、蒸发及地下水埋深皆具有相关关系,降雨的稀释作用会导致地下水矿化度下降,而蒸发作用会使地下水矿化度上升。此外,地下水矿化度随地下水埋深的增大呈上升趋势。地下水矿化度与降雨、蒸发呈极显著相关关系

(相关系数分别为 0.79 和 0.66),与地下水埋深呈显著相关关系(相关系数为 0.42)。

参考文献:

- [1] 徐彩瑶,濮励杰,朱明.沿海滩涂围垦对生态环境的影响研究进展[J].生态学报,2018,38(3):1148-1162. (XU Caiyao, PU Lijie, ZHU Ming. Effect of reclamation activity on coastal ecological environment: progress and perspectives[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(3): 1148-1162. (in Chinese))
- [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),2020,48(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, 48(2): 163-170. (in Chinese))
- [3] 王琪琪,濮励杰,朱明,等.沿海滩涂围垦区土壤质量演变研究:以江苏省如东县为例[J].地理科学,2016,36(2):256-264. (WANG Qiqi, PU Lijie, ZHU Ming, et al. Soil quality evolution in coastal reclamation zones: a case study of Rudong County of Jiangsu Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2016, 36(2): 256-264. (in Chinese))
- [4] 林黎,崔军,陈学萍,等.滩涂围垦和土地利用对土壤微生物群落的影响[J].生态学报,2014,34(4):899-906. (LIN Li, CUI Jun, CHEN Xueping, et al. Effects of reclamation on tidal flat and land use on soil microbial community[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(4): 899-906. (in Chinese))
- [5] CUI X C, HU J L, WANG J H, et al. Reclamation negatively influences arbuscular mycorrhizal fungal community structure and diversity in coastal saline-alkaline land in Eastern China as revealed by Illumina sequencing[J]. Applied Soil Ecology, 2016, 98: 140-149.
- [6] 方仁建,沈永明,时海东.基于围垦特征的海滨地区景观格局变化研究:以盐城海岸为例[J].生态学报,2015,35(3):641-651. (FANG Renjian, SHEN Yongming, SHI Haidong. The changes of coastal wetland landscape pattern based on the characteristics of reclamation: a case study in coastal wetland of Yancheng, Jiangsu Province, China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(3): 641-651. (in Chinese))
- [7] 许艳,濮励杰.江苏海岸带滩涂围垦区土地利用类型变化研究:以江苏省如东县为例[J].自然资源学报,2014,29(4):643-652. (XU Yan, PU Lijie. The variation of land use pattern in tidal flat reclamation zones in Jiangsu coastal area: a case study of Rudong county of Jiangsu Province[J]. Journal of Natural Resources, 2014, 29(4): 643-652. (in Chinese))
- [8] 汤立群,卢单,赵慧明,等.河口滩涂围垦对水动力环境影响研究综述[J].水利水电科技进展,2020,40(6):78-84. (TANG Liqun, LU Dan, ZHAO Huiming, et al. Review of impacts of tideland reclamation on hydrodynamic environment near estuarine area[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2020, 40(6): 78-84. (in Chinese))
- [9] 方彤瑶.滩涂围垦对水动力环境的影响[C]//左其华,窦希萍.中国海洋工程学会第十七届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(上).北京:海洋出版社,2015:516-521.
- [10] SHEN C C, SHI H H, ZHENG W, et al. Study on the cumulative impact of reclamation activities on ecosystem health in coastal waters[J]. Marine Pollution Bulletin, 2016, 103(1/2): 144-150.
- [11] 刘畅,方长明.上海市南汇东滩滩涂围垦区农业生态安全评价[J].生态科学,2014,33(3):553-558. (LIU Chang, FANG Changming. Evaluation of agro-ecological security in reclamation area of Dongtan tidal flat in Nanhui, Shanghai[J]. Ecological Science, 2014, 33(3): 553-558. (in Chinese))
- [12] 傅伯杰,张立伟.土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展[J].地理科学进展,2014,33(4):441-446. (FU Bojie, ZHANG Liwei. Land-use change and ecosystem services: concepts, methods and progress[J]. Progress in Geography, 2014, 33(4): 441-446. (in Chinese))
- [13] CHUAI X W, HUANG X J, WU C Y, et al. Land use and ecosystems services value changes and ecological land management in coastal Jiangsu, China[J]. Habitat International, 2016, 57: 164-174.
- [14] 姚荣江,杨劲松,陈小兵,等.苏北海涂典型围垦区土壤盐渍化风险评估研究[J].中国生态农业学报,2010,18(5):1000-1006. (YAO Rongjiang, YANG Jinsong, CHEN Xiaobing, et al. Evaluating soil salinization risk in typical coastal reclaimed regions in North Jiangsu Province[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2010, 18(5): 1000-1006. (in Chinese))
- [15] 牛明香,王俊.基于Landsat遥感影像的黄河三角洲东营段海岸线变化分析[J].水资源保护,2020,36(4):26-33. (NIU Mingxiang, WANG Jun. Analysis of coastline variations in Dongying section of Yellow River Delta based on Landsat remote sensing image[J]. Water Resources Protection, 2020, 36(4): 26-33. (in Chinese))
- [16] 解雪峰,吴涛,沈洪运,等.滨海新围滩涂不同改良方式对土壤盐渍化调控效应及其主控因素[J].水土保持学报,2020,34(2):340-347. (XIE Xuefeng, WU Tao, SHEN Hongyun, et al. Regulatory effect of different amelioration methodson soil salinization and its maincontrol factorsina newly reclaimed coastal tidal land[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(2): 340-347. (in Chinese))
- [17] 毛玉梅,李小平.烟气脱硫石膏对滨海滩涂盐碱地的改良效果研究[J].中国环境科学,2016,36(1):225-231. (MAO Yumei, LI Xiaoping. Environmental effect of the amelioration of heavy soda saline soil using desulfurized gypsum[J]. China Environmental Sciences, 2016, 36(1): 225-231.

(下转第 71 页)