

磁化水膜下滴灌对棉田水盐分布特征及棉花生长特性的影响

彭 遥¹, 周蓓蓓¹, 张继红¹, 唐湘伟¹, 周英霞¹, 陈晓鹏¹, 王全九^{1,2}

(1. 西安理工大学水利水电学院, 西北旱区生态水利工程国家重点实验室培育基地, 西安 710048;

2. 中科院水利部水土保持研究所, 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 通过田间小区磁化水滴灌试验, 研究了磁化水膜下滴灌对土壤水盐分布特征、棉花生长特性及产量的影响。结果表明, 磁化水灌溉可以提高土壤含水量, 促进棉花根系对水分的吸收, 0—100 cm 土层内磁化强度为 3 000 Gs 时的土壤含水量最大, 保水效果最好。磁化水灌溉可以有效降低土壤盐分含量, 加快土壤盐分的淋洗, 0—100 cm 土层内各磁化水处理土壤平均含盐量表现为 3 000 Gs < 4 000 Gs < 1 000 Gs < 5 000 Gs < 0 Gs, 磁化淡水处理的土壤脱盐率为 2.7%~28.2%, 3 000 Gs 磁化处理的土壤脱盐率最高; 磁化微咸水处理的土壤积盐率为 21.7%~33.9%。磁化水滴灌可以促进棉花生物量及产量的增长, 淡水、微咸水磁化处理的产量较未磁化处理增加了 8.98%~31.4%, 3 000 Gs 磁化处理下的棉花产量最高。从棉花生长特征、产量、水分利用效率等方面综合考虑, 3 000 Gs 为最佳磁化强度处理。

关键词: 磁化水; 土壤水盐分布; 棉花生长特性; 棉花产量; 水分利用效率

中图分类号: S156.4 文献标识码: A 文章编号: 1009-2242(2019)05-0334-09

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcxb.2019.05.049

Effects of Mulched Drip Irrigation with Magnetized Water on Soil Water-salt Distribution and Growth Characteristics of Cotton

PENG Yao¹, ZHOU Beibei^{1,2}, ZHANG Jihong¹, TANG Xiangwei¹,

ZHOU Yingxia¹, CHEN Xiaopeng¹, WANG Quanjiu^{1,2}

(1. State Key Laboratory Base of Eco-hydraulic Engineering in Arid Area, Xi'an University of Technology,

Xi'an 710048; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of

Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100)

Abstract: A field experiment was conducted to study the soil water-salt distribution and cotton growth using magnetized water for mulched drip irrigation. Results showed that magnetized water used in the experiment could improve the soil water retention and holding capacity effectively, and promote the water absorption of cotton roots. The soil moisture content of 3 000 Gs magnetized water irrigation treatment was highest at the soil layer of 0—100 cm. The magnetized water irrigation could reduce the soil salt content effectively, due to the magnetized water treatment could facilitate the soil salt leaching from the main root area of cotton into the below. At the 0—100 cm soil layer, the salt contents under magnetized water irrigation treatments were 3 000 Gs(low) < 4 000 Gs < 1 000 Gs < 5 000 Gs < 0 Gs. The soil desalination rates under mulched drip irrigation with magnetized fresh water were 2.7% ~ 28.2%, among which the 3000Gs treatment had the most significant impact on reducing soil salinity. The soil desalination rates for magnetized brackish water treatments were 21.7% ~ 33.9%. The magnetized water irrigation could improve the cotton biomass and output. The yields of seed cotton of magnetized water were increased by 8.98% ~ 31.40% compared with ordinary water. The 3 000 Gs treatment was the best magnetic treatment by taking into consideration of both cotton output and water use efficiency.

Keywords: magnetized water; soil water-salt distribution; growth characteristics of cotton; cotton output; water use efficiency

收稿日期: 2019-02-27

资助项目: 国家重点研发计划项目(2016YFC0501405-4); 国家自然科学基金项目(41830754, 51679190)

(第一作者: 彭遥(1993—), 男, 硕士研究生, 主要从事农业水土环境与生态环境研究。E-mail: 302854746@qq.com <http://www.cnki.net>
通信作者: 周蓓蓓(1982—), 女, 博士, 副教授, 主要从事农业水土与生态环境研究。E-mail: happyangle222@gmail.com

新疆是我国盐碱土分布面积最大的地区,占全国盐碱土面积的 30%左右^[1]。土地盐碱化不仅会引起盐分胁迫,对作物生长发育造成危害,从而导致作物减产^[2-3],而且使得土壤质量恶化,地下水矿化度提高,地下水资源不能得到充分利用。棉花是新疆地区种植范围最广的经济作物,盐碱地的改良及土壤次生盐碱化的防治是促进棉花增产增收乃至农业可持续发展的重要手段。随着人类对磁现象的认识、研究和利用的深化,将灌溉用水通过装有磁极设备的管道并以适当速度垂直经过磁场空间后成为磁化水,其物理和化学性质发生了一些有益变化。如表面张力系数和黏度系数降低,浸润能力提高,电导率、pH、渗透压、溶解氧含量、化学位移和光学性能发生改变,缔合度减少等^[3-7]。磁化水活化技术将灌溉用水进行物理改良,与膜下滴灌相结合应用,操作简便,投资低,具有十分良好的应用前景。近年来,磁化水膜下滴灌技术在干旱和半干旱地区得到大力推广,用以提高耕作区微咸水利用效率。目前,众多学者对磁化水膜下滴灌的研究主要集中于磁化水的理化性质、土壤水盐分布、种子萌发及棉花生长发育、产量等方面。王全九等^[8]通过不同矿化度下的磁化微咸水点源入渗试验,发现磁化处理能降低土壤入渗速率,减缓湿润锋推进速率,使得湿润体的含水量相对增加,土壤持水性增强。郑德明等^[9]通过设置磁化次数来研究磁化水对棉田土壤的抑盐效果,结果表明,磁化水可以减少土壤可溶性盐的溶解度,随着磁化次数的增加,土壤含盐量下降。卜东升等^[10]通过研究磁化水处理下的土壤水盐变化,得出磁化水处理下的土壤脱盐程度高于淡水对照处理,土壤盐分得到有效抑制,磁化水处理能更好地促进棉花生长发育,进而提高棉花品质和产量。彭海玉等^[11]通过研究磁处理水对水稻种子萌发的影响,发现对水进行磁

化处理可以提高水稻种子萌芽期间 α -淀粉酶的活性,从而提高种子在常温下的发芽率和萌发系数,促进种子在低温下的萌发。陆茜等^[12]研究表明,磁化水能够影响土壤微生物的活性,对黄萎病菌和枯萎病菌起到良好抑制作用,提高棉花抗病性。

目前磁化水在农业上的实际应用尚不成熟,磁化水膜下滴灌对于土壤脱盐及作物增产的适宜理化性能指标阈值不明确,针对以上情况本文通过田间试验主要研究了 2 种水质下磁化处理的土壤水盐分布特征,分析棉田土壤的脱盐特性及磁化水对棉花生长发育和产量的影响,为合理利用磁化水膜下滴灌棉田提供理论依据,以期能够为全疆盐碱地改良、棉花增产提供合理指导。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2017 年 4—10 月在新疆巴音郭楞蒙古自治州水利科研所重点灌溉试验站(86°12'E, 41°33'N)进行,试验站地处南北疆分界线附近,塔里木盆地东北边缘,属于典型的暖温带大陆性干旱气候,平均气温 10.7 °C,年日照时间 3 036.2 h,无霜期 210 d,年均降水量 49 mm,年均蒸发量 2 700 mm,8 级以上大风年平均为 15 d,风沙日数 23.1 d,浮尘日数 24.2 d,地下水埋深为 5.1~6.2 m,地下水矿化度为 2.27~2.88 g/L。

在试验区挖取 100 cm 深的土壤剖面测定土壤容重、土壤颗粒组成等指标,取 3 个重复。利用环刀法测定土壤容重,利用 Mastersizer 2000 激光粒度仪测定土壤颗粒组成。利用 Hydrus-1D 中的 Rosetta 神经网络算法通过容重和颗粒组成反推土壤的水分特征曲线参数,采用 van Genuchten 模型计算得到 33,1 500 kPa 对应的体积含水量即为各土层的田间持水量和凋萎系数。具体土壤物理性质见表 1。

表 1 土壤基本物理性质

土层深度/cm	容重/(g·cm ⁻³)	黏粒(<0.002 mm)/%	粉粒(0.002~0.05 mm)/%	砂粒(0.05~2 mm)/%	土壤类型	饱和含水量/(cm ³ ·cm ⁻³)	田间持水量/(cm ³ ·cm ⁻³)	凋萎含水量/(cm ³ ·cm ⁻³)
0—100	1.54	3.04	37.60	59.36	粉砂壤土	0.424	0.24	0.05

1.2 试验设计与方法

1.2.1 棉田磁化水试验的布置 棉花大田试验区设置 2 列 5 行共计 10 组处理,每个处理试验区的建设面积为 7.0 m×5.6 m,前后两端各有 3.0 m 长的缓冲棉花区域。第 1 列为磁化淡水灌溉处理,第 2 列为磁化微咸水灌溉处理。每列 5 个试验区的灌溉用水经不同强度磁极磁化,磁化强度分别为 0(CK),1 000,2 000,3 000,5 000 Gs。试验区采用膜下滴灌的灌溉方式,有完整的供水系统,灌溉淡水为农田干渠用水,主要来自孔雀河,平均灌水矿化度为 0.71 g/L;灌溉微咸水为地下井水,平均灌水矿化度为 2.74 g/L。图 1 为磁化水活化系统,

磁化器采用 4 种不同磁场强度的 CHQ 型外置永磁磁化器(包头鑫达磁性材料厂),分别安装在出水管道外壁,磁场强度经 GsG 型高斯计(长春市长城教学仪器有限公司)进行校对。当微咸水及淡水通过磁化处理器时,其磁性发生改变,从而产生不同强度磁化水。棉花试验田采用 1 膜 2 管 4 行的滴灌方式,顺着滴灌带平行方向种子间距 15 cm,采用机械播种方式,每个种坑中播置 2 颗种子,播种深度 2~5 cm,垂直滴灌带方向分为宽行、窄行、膜间,距离分别为 40,20,30 cm,滴灌带的滴头流量为 1.8 L/h,滴头制造偏差 ≤10%,滴头间距为 40 cm,见图 2。

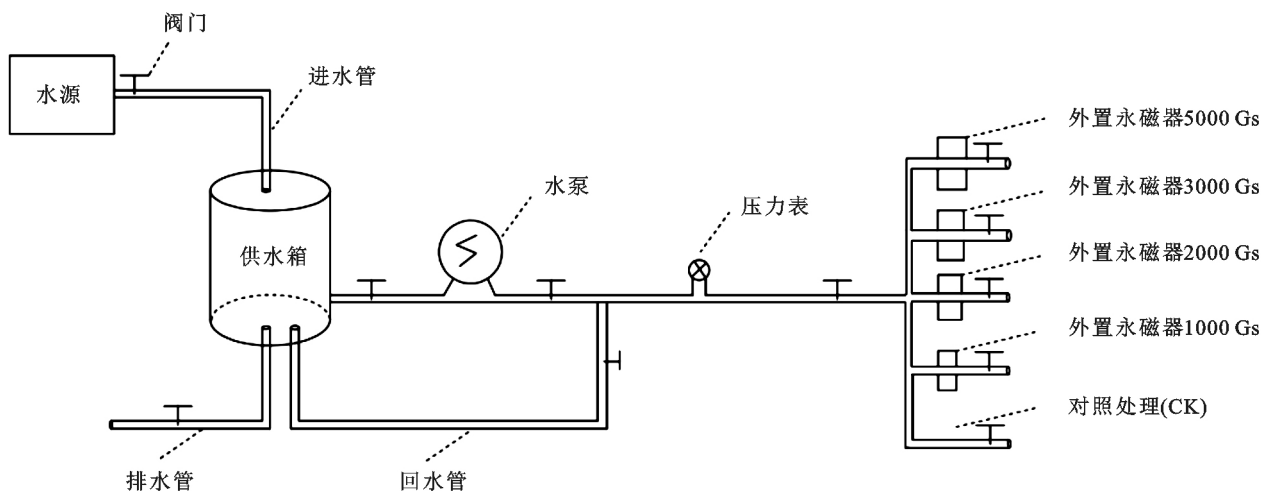


图 1 磁化水活化系统

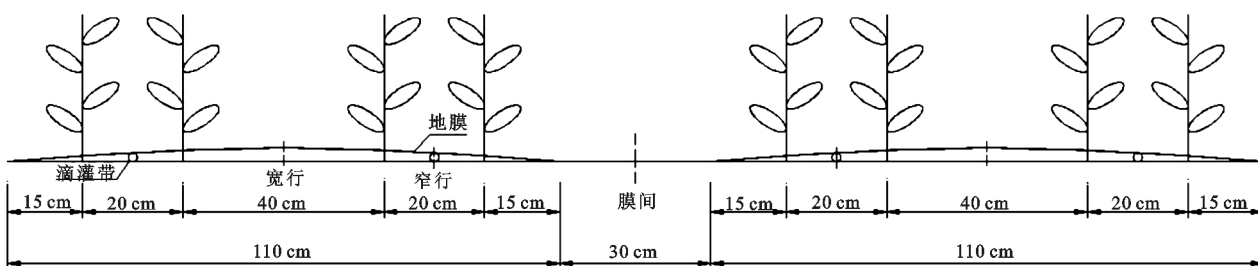


图 2 棉花种植模式示意

1.2.2 棉田磁化水灌水施肥量 根据当地多年棉花需水规律,棉花全生育期内各处理小区的灌水量均为 487.5 mm,施氮、磷、钾量分别为 300,100,100 kg/hm²。

灌溉时水表严格控制灌水量,为保证棉花全生育期能够得到充足的水分,灌水次数设置为 15 次,灌水间隔为 5 天,棉花全生育期的计划灌水施氮方案见表 2。

表 2 生育期内灌水方案

灌水次序	灌水日期(月-日)	灌水量/mm	施氮量/(kg·hm ⁻²)	灌水次序	灌水日期(月-日)	灌水量/mm	施氮量/(kg·hm ⁻²)
1	06-17	30	10	9	07-27	30.0	30
2	06-22	30	15	10	08-01	37.5	30
3	06-27	30	20	11	08-06	37.5	20
4	07-02	30	30	12	08-11	37.5	15
5	07-07	30	30	13	08-16	37.5	10
6	07-12	30	30	14	08-21	37.5	0
7	07-17	30	30	15	08-26	30.0	0
8	07-22	30	30				

1.2.3 试验测定指标与方法 土壤含水量:棉花播种前、苗期、蕾期、花铃前期、花铃后期和吐絮期于试验小区棉花长势均匀且无少苗处,在垂直滴灌带方向相邻的膜间、窄行、宽行处进行取样。采用土钻分层法取样,取土深度分别为土壤表层、0—10,10—20,20—30,30—40,40—60,60—80,80—100 cm,采用烘干法测量土壤含水量。

行 3 株,外行 3 株,作以标记。在棉花苗期、蕾期、花期、铃期和吐絮期测定株高、茎粗的大小,株高采用钢卷尺测定,茎粗采用电子数显游标卡尺测量。

土壤含盐量:采用 DDS-307 型电导率仪测定 1:5 的土壤水浸提液的电导率,再根据电导率仪标定的相关曲线公式进行换算得出土壤含盐量。

干物质累积量:在棉花苗期、蕾期、花期、铃期和吐絮期每个试验小区随机取 4 株棉花,在 105 °C 杀青 30 min,80 °C 烘干至恒重,分别称取根、茎、叶、蕾、铃的质量。

棉花产量:于收获期在每个试验小区选取 3 片棉花长势均一、面积为 6.67 m² 的条田,测定该区域的籽棉产量。每个小区随机选取 10 株棉花测定其有效结铃数、单铃重。

株高与茎粗:每个试验小区选择长势均一,具有代表性的植株作为测定对象。每个试验小区选取内

1.3 理论分析
1.3.1 磁化水对耗水量的变化特征 棉花生育期土

壤含水量空间变异性较大,各处理小区的土壤初始含水量无法控制一致。为进一步分析生育期内土壤水分含量对棉花生长的影响,将磁化水灌溉水量与棉花生长发育所消耗水量的变化联系起来,采用生育阶段作物耗水量来比较各处理的差异,各磁化强度处理的棉花不同生育期的耗水量通过水量平衡公式计算得出,计算公式为:

$$ET_a = P + I + G - R - SI \pm \Delta W \quad (1)$$

式中: ET_a 为作物生育期内实际蒸散量即实际耗水量(mm); I 为实际灌水量(mm); P 为降雨量(mm); G 为作物生育期内的地下水补给量(mm); R 为地表径流量(mm); SI 为深层渗漏量(mm); ΔW 为土层内土壤储水量的变化(mm)。

1.3.2 磁化水对土壤盐分的变化特征 为探究磁化水对全生育期土壤积盐量的影响,在试验小区土壤剖面挖取0.6 m深,单位面积为 1 m^2 的土体单元,并利用单元土体积盐量来量化生育期每次灌水前后的盐分变化,通过盐分平衡公式^[13]计算并分析不同磁化水处理下积盐量的变化,计算公式为:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = S_R + S_I + S_G + S_S + S_F - S_C - S_P - S_D \quad (2)$$

式中: ΔS 为生育期灌前灌后土体盐量变化(g); S_1 为时段初的土壤储盐量(g); S_2 为时段末的土壤储盐量(g); S_I 为灌水盐分增加量(g); S_F 为施肥盐分增加量(g); S_R 为降雨盐分增加量(g); S_G 为地下水补给盐分增加量(g); S_C 为作物吸收盐分消耗量(g); S_P 为盐分沉淀量(g); S_D 为排水渗漏盐分损失量(g)。

2 结果与分析

2.1 磁化水对棉花生育期土壤水盐分布的影响

土壤水、盐和作物的关系十分密切^[14],试验田区域干旱少雨,温度变幅显著,土壤以壤质砂土或砂质壤土为主。试验区的土壤颗粒粗大且比表面积小,相对于其他土质土壤,土壤大孔隙较多,容易造成土壤水分及盐分的大量流失,进而影响作物的正常生长发育。因此,调控土壤水盐平衡对于提高土壤水分的利用效率有着重要意义。

2.1.1 磁化水对棉花生育期土壤含水量的影响 由图3可知,磁化淡水处理与磁化微咸水处理的棉花生育期内0—100 cm土层土壤平均体积含水量的变化规律基本一致,呈现先减小后增大再减小的趋势。由于播种前土壤进行春灌用以保水保墒及淋洗压盐(400 mm上下),因此播种前的土壤含水量较高。苗期时水分有明显的下降,是由于此阶段棉花植株矮小,土壤裸露面积大,且受风沙气候影响导致土面蒸发剧烈,因此苗期含水量减小。随着生育期的推进,

气温不断升高,棉花的吸水耗水能力增强,灌水量、灌水频率相应增大,从苗期以后土壤含水量不断增大并且在花铃期时达到最大。土壤含水量在吐絮期减小,是由于此阶段棉花对水分的需求较小,灌水量与灌水频率随之减少。

对比分析磁化淡水处理及磁化微咸水处理下棉花全生育期内的土壤平均含水量得出,磁化淡水处理下棉花全生育期土壤平均体积含水量分别为13.0%,13.9%,14.4%,18.2%,11%;磁化微咸水处理下棉花全生育期土壤平均体积含水量分别为11.2%,12.2%,14.0%,15%,12.9%,同一磁化强度下棉花各生育期磁化淡水处理的土壤平均体积含水量均大于磁化微咸水处理,这是由于微咸水的矿化度(2.74 g/L)高于淡水(0.71 g/L),磁化水活化技术对高矿化度水具有一定局限性,随着矿化度的增加,土壤湿润体平均体积含水量逐渐降低。

通过对比5种磁化强度处理棉花全生育期内的土壤平均含水量得出,磁化处理的土壤含水量均大于未磁化处理,各磁化处理下的土壤平均含水量总体表现为 $3\ 000 \text{ Gs} > 2\ 000 \text{ Gs} > 5\ 000 \text{ Gs} > 1\ 000 \text{ Gs} > 0 \text{ Gs}$,当磁化强度为 $3\ 000 \text{ Gs}$ 时,棉花全生育期土壤平均体积含水量最大;当磁化强度为0时,棉花全生育期土壤平均体积含水量最小。这是由于灌溉水经过磁化处理后,水分子间距变长,促使部分氢键变弱或者断裂,使得大的缔合态水分子团簇结构脱离为自由单体和二聚体分子^[15-17],其渗透压力增加,使得更多水分渗入到土壤小孔隙中,从而土壤含水量增加。由此说明,磁化水滴灌可以增强土壤持水性,保证棉花根系的充分吸水,从而促进棉花的正常生长发育。

2.1.2 磁化水对棉花生育期耗水量的影响 由表3可知,棉花全生育期的耗水量大于实际灌水量,说明棉花生长发育过程中不仅消耗了很大一部分的灌溉水量,而且还消耗了一部分来自于土层的含水量。随着生育期的推移,棉花各生育期的耗水量呈先增加后减少的趋势,铃期耗水量最大,苗期和吐絮期的耗水量与铃期相比明显减小。棉花苗期各磁化处理下土壤耗水量较小,是由于苗期时棉花处于萌发阶段,需水量低,土壤水分消耗主要由土壤蒸发产生,耗水较小;随着生育期的生长,棉花需水量增大,灌水量增大,棉花耗水量在花铃期达到最大;吐絮期棉花需水量小,灌水量、灌水次数减少,因此耗水量变小。0,1 000,2 000,3 000,5 000 Gs淡水处理的总耗水量分别为505.72,508.65,522.81,531.09,522.44 mm,较磁化微咸水处理分别增加了0.7%,0.4%,0.3%,0.3%,0.7%。淡水、微咸水不同磁化强度处理下的耗水量整体表现为 $3\ 000 \text{ Gs} > 2\ 000 \text{ Gs} > 5\ 000 \text{ Gs} > 1\ 000 \text{ Gs} > 0 \text{ Gs}$,3 000 Gs磁化水处理下棉花的耗

水量最大。灌溉水经过磁化处理后,表面张力有所降低,土壤基质势相对提高,土壤水吸力减弱,毛管作用力

增强,进而促进了土壤中棉花根系的吸水能力,因此磁化水处理的棉花耗水量较非磁化水处理有明显的增加。

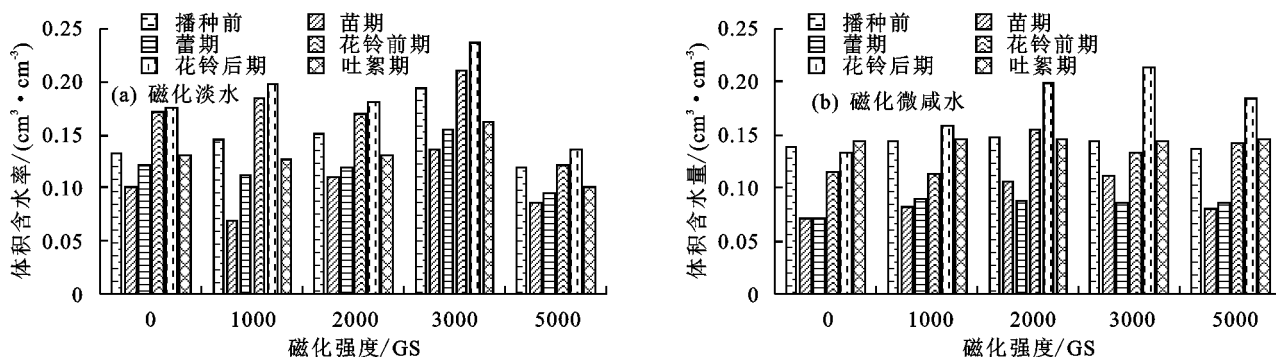


图 3 磁化水灌溉处理棉田含水量变化

表 3 磁化水灌溉处理棉花生育期阶段耗水量

单位: mm

水质	磁化强度/Gs	实际灌水量	苗期耗水量	蕾期耗水量	花期耗水量	铃期耗水量	吐絮期耗水量	全生育期耗水量
淡水	0	500	68.37	120.91	90.46	188.97	37.01	505.72
	1000	500	61.17	104.08	111.53	191.52	40.36	508.65
	2000	500	41.70	129.98	77.23	192.98	80.91	522.81
	3000	500	32.58	138.19	76.09	188.03	96.20	531.09
	5000	500	56.91	126.97	75.92	196.27	66.38	522.44
微咸水	0	500	32.63	90.58	72.84	234.47	71.70	502.23
	1000	500	77.21	68.64	50.10	224.56	98.14	518.66
	2000	500	41.74	101.70	73.92	227.04	76.71	521.12
	3000	500	57.55	92.17	69.00	211.53	100.68	530.93
	5000	500	33.71	101.53	98.34	222.45	62.73	518.76

2.1.3 磁化水对棉花生育期土壤含盐量的影响 从图 4 可以看出,盐分随土壤垂直剖面深度表现为在 0—10 cm 处含盐量递减,10—40 cm 处含盐量快速增大,40—100 cm 处含盐量递减并趋于稳定,土层 40 cm 处含盐量最高。这是由于土壤湿润范围一般在 40 cm 土层处,土壤盐分随水分运移,因此湿润锋处的土壤含盐量较大,土壤盐分迁移过程中,盐分在蒸发作用下会一定程度的向上层土壤迁移,但在根系吸力及毛管力作用下,深层土壤中的水盐会向上层土壤不断进行补给,土壤 40 cm 处的含盐量仍旧最大。

对比同一磁化强度处理下淡水与微咸水处理的棉花全生育期内土壤平均含盐量得出,磁化淡水处理的土壤平均含盐量均小于磁化微咸水处理。这是由于微咸水中的盐分含量原本就高于淡水,因此通过灌溉带入土壤的盐分较多。磁化强度对土壤含盐量的影响显著,各磁化处理下的土壤平均含盐量表现为 3 000 Gs < 2 000 Gs < 5 000 Gs < 1 000 Gs < 0 Gs。与未磁化处理相比,磁化水灌溉处理下的土壤含盐量有较大幅度的减少,这与王泳等^[18]得出磁化水相对 CK 处理能够有效促进土壤吸附性阳离子的转换,降低 Na⁺ 含量,提高盐分淋洗能力的试验结果一致。

磁化强度为 3 000 Gs 时棉花根区层 0—40 cm 的土壤含盐量变化较为稳定,且含盐量最低,脱盐效果最为显著。这是由于灌溉水经磁化处理后,水的微观分子结构发生了变化,水分缔合度和黏滞能力降低,对盐分的淋洗能力增强。因此,利用磁化水灌溉能更好淋洗土壤根区层的盐分,从而降低棉花生长发育过程的盐分胁迫。

2.1.4 磁化水对棉花生育期土壤积盐量的影响 利用盐分平衡公式计算得出的不同磁化强度处理淡水及微咸水膜下滴灌的土壤积盐量。由表 4 可知,各磁化淡水处理下 0—100 cm 土层呈脱盐现象,1 000, 2 000, 3 000, 5 000 Gs 处理的脱盐量分别为 216.5, 262.9, 784.1, 164.9 g, 脱盐率分别为 2.9%, 9.7%, 28.2%, 2.7%, 其中 3 000 Gs 处理的土壤脱盐率明显高于其他处理,而 CK 处理产生积盐,积盐量为 355.9 g, 积盐率为 4.8%。磁化微咸水处理下 0—100 cm 土层呈现积盐现象,0, 1 000, 2 000, 3 000, 5 000 Gs 处理积盐量分别为 1 522.2, 1 400.9, 991.4, 636.6, 1 463.4 g, 积盐率分别为 31.0%, 21.7%, 33.9%, 23.0%, 29.9%, 其中 3 000 Gs 处理的土壤积盐量最低,CK 处理的土壤积盐率高于其他磁化处理。由此

可以得出,与淡水灌溉相比,微咸水灌溉更容易造成盐分累积;磁化水处理相较于未磁化处理能够有效降

低土壤的盐分含量,提高水分的淋洗能力,减少盐分对棉花生长的胁迫作用。

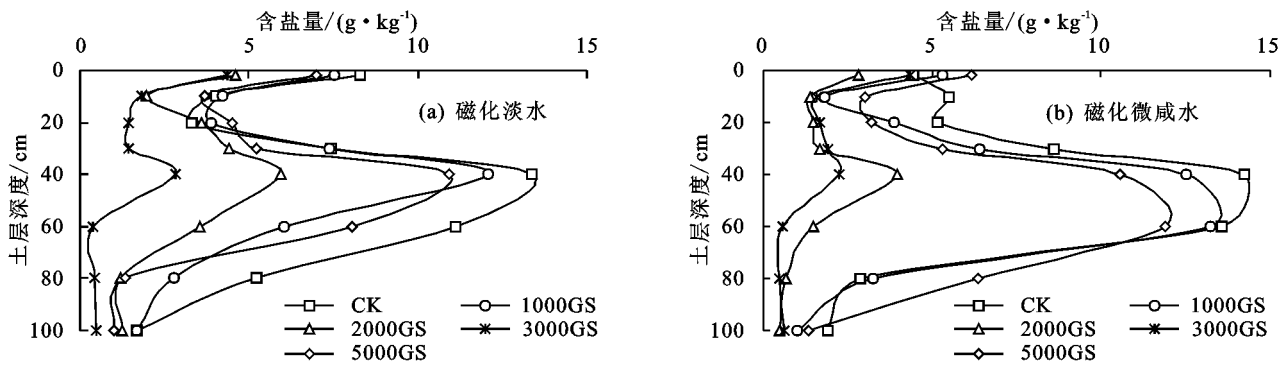


图 4 磁化水灌溉处理棉花土壤盐分垂直分布

表 4 磁化淡水和微咸水处理下单元土体盐量平衡

水质	磁化强度/Gs	初始土壤储盐量/g	最终土壤储盐量/g	积盐量/g
淡水	0	7473.58	7829.44	355.86
	1000	7383.54	7167.01	-216.53
	2000	2716.94	2454.09	-262.85
	3000	2777.93	1993.81	-784.11
	5000	6077.91	5913.03	-164.89
微咸水	0	4914.01	6436.22	1522.21
	1000	6448.71	7849.58	1400.87
	2000	2923.13	3914.50	991.38
	4000	2751.31	3387.92	636.61
	5000	4895.27	6358.69	1463.42

2.2 磁化水对棉花生长发育特性的影响

2.2.1 磁化水对棉花株高的影响 株高是棉花体内生理生化反应的一种表现形式,是棉花生长发育特征的一项重要营养指标,可以通过直接观察或测量来判断棉花长势以及生长发育情况。有研究^[19]表明,株高大小能够影响棉花单株结铃数,进而影响棉花产量。在全生育期内对棉花进行 5 次株高测量,于播种后第 103 天进行打顶,打顶 15 天后进行复测。

由图 5 可知,淡水、微咸水磁化处理的棉花株高随着播种天数的变化趋势基本一致,呈先增大后稳定的趋势。0~45 天棉花增长较为缓慢,0,1 000,2 000,3 000,5 000 Gs 磁化淡水处理下增长率分别为 0.39,0.42,0.49,0.49,0.43 cm/d;磁化微咸水处理下增长率分别为 0.39,0.5,0.56,0.57,0.52 cm/d,说明此阶段棉花自身生长发育较为缓慢,磁化强度对此阶段棉花株高的影响不大。45~90 天棉花处于蕾期和花铃期,棉花耗水量较大,生长较为旺盛,株高呈线性快速增长,各磁化处理间的差异逐渐增大。0,1 000,2 000,3 000,5 000 Gs 磁化淡水处理下增长率分别为 0.83,0.9,0.96,1.08,0.94 cm/d;0,1 000,2 000,3 000,5 000 Gs 磁化微咸水处理下分别为 0.7,

0.78,0.92,0.97,0.83 cm/d,3 000 Gs 处理下的棉花株高增长较快。棉花进入盛铃期后,棉花生育生长较为平缓,开始结铃,生殖生长占主导地位,又由于对棉花进行了打顶,棉花株高维持在一定高度,趋于稳定。此阶段各磁化淡水处理对棉花株高有更明显的影响,各磁化淡水处理下株高分别为 64,69.2,76,83,72,表现为 0 Gs<1 000 Gs<5 000 Gs<2 000 Gs<3 000 Gs,各处理差异均达显著水平($P<0.05$);各磁化微咸水处理下株高分别为 56.7,66,76.9,80.2,69.5 cm,整体表现为 0 Gs<1 000 Gs<5 000 Gs<2 000 Gs<3 000 Gs,各处理差异均达显著水平($P<0.05$)。由此说明磁化水灌溉能够影响棉花株高的日增长量,合适的磁化强度能够优化调节棉花的营养生长。

2.2.2 磁化水对棉花茎粗的影响 茎粗是判断棉花生长发育是否良好的另一项重要指标^[20],一般情况下,茎杆越粗壮代表着植物体内养分的储存与运输分配能力越强,棉花生长越旺盛,单株结铃数越多,产量越高。从播种后的第 43 天起测量棉花茎粗,从图 6 可以看出,随着生育期的推移,棉花茎粗在播种后 40~100 天内快速增长,100 天后增长缓慢并趋于稳定。40~100 天内 0,1 000,2 000,3 000,5 000 Gs 磁化淡水处理的茎粗增加率分别为 0.066,0.089,0.099,0.110,0.094 cm/d,生育末期的棉花打顶后的稳定茎粗分别为 8.3,9.25,10.9,11.49,10.1 cm,各处理差异均达显著水平($P<0.05$),各磁化处理的茎粗大小表现为 0 Gs<1 000 Gs<5 000 Gs<2 000 Gs<3 000 Gs,说明 3 000 Gs 磁化淡水处理下的棉花茎粗增长最快且茎粗最大。40~100 天内磁化微咸水处理的棉花茎粗增加率分别为 0.062,0.065,0.081,0.095,0.068 cm/d,生育末期最终茎粗分别为 9.00,9.33,10.69,11.14,10.00 cm,各处理差异均达显著水平($P<0.05$),各磁化强度处理的茎粗大小表现为 0 Gs<1 000 Gs<5 000 Gs<2 000 Gs<3 000 Gs,说明 3 000 Gs 磁化

微咸水处理下的棉花茎粗生长最优,且磁化处理的茎粗明显大于未磁化处理。棉花茎粗的大小主要受棉花自身营养的累积和植株体内水分含量影响,由此说

明磁化水灌溉处理能够提高根系土壤的持水性,降低盐分胁迫作用,促进根系吸收水分及营养物质,进而促进棉花茎秆生长。

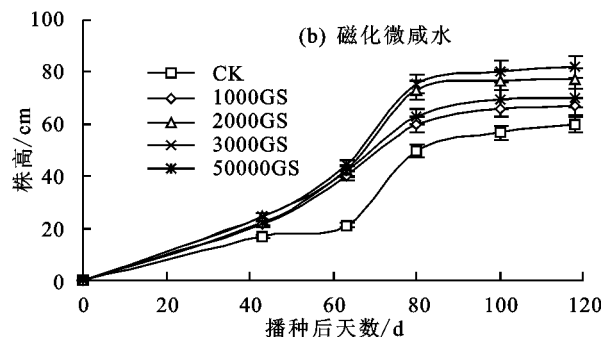
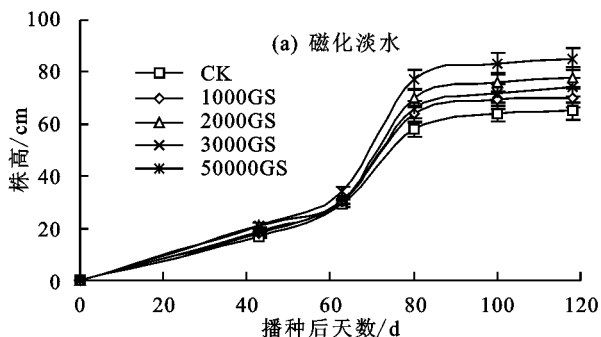


图 5 磁化水灌溉处理棉花株高随时间变化

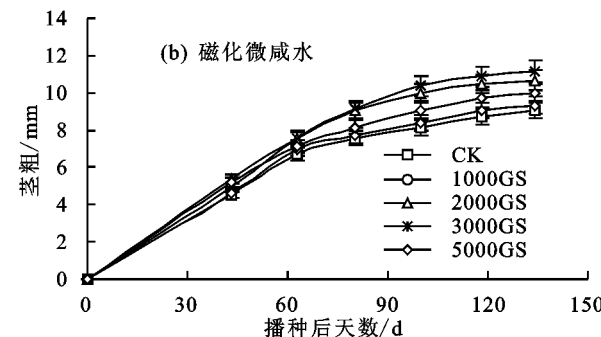
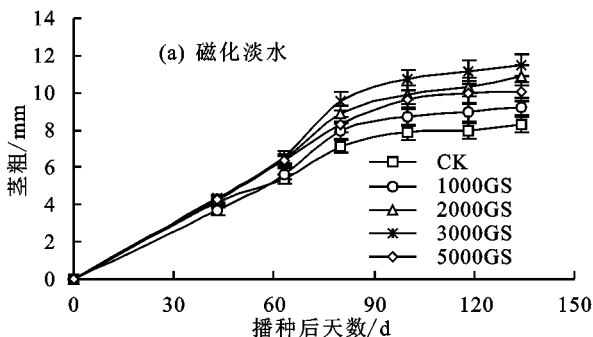


图 6 磁化水灌溉处理棉花茎粗随时间变化

2.2.3 磁化水对棉花生物量的影响 由图 7 可知,在同一磁化强度处理下,棉花生殖器官和营养器官干物质累积量随着生育时间的推进呈现先增长后略微减少的趋势,盛铃期时总生物量达到最大值。棉花生殖器官与营养器官干物质累积量的分配比随着生育期的推进而逐渐加大,苗期至花期阶段,棉花生长发育缓慢,总干物质质量较小,棉花主要以营养器官生长为主,其干物质质量占总生物量比例远大于生殖器官占总生物量的比例;花铃期至吐絮期阶段,棉花营养器官生长缓慢,生殖器官生长占主导地位,其干物质累积量逐渐增大并在盛铃期时超过营养器官干物质累积量。

为 3 000 Gs 时有利于棉花营养生长及时向生殖生长进行转换,进而提高了棉花产量,起到一定增产效果。2.2.4 磁化水对棉花产量的影响 棉花的单株有效结铃数、单株铃重是棉花产量的重要构成因素。由表 5 和图 8 可知,磁化处理对棉花单株有效结铃数,单铃重和籽棉产量的影响显著。随着磁化强度的增加,棉花单株有效结铃数、单铃重和籽棉产量逐渐增大,均在 3 000 Gs 处理下达到最大值,但磁化强度为 5 000 Gs 时棉花产量及其构成要素有所减小。1 000, 2 000, 3 000, 5 000 Gs 磁化淡水处理的棉花产量较 CK 处理分别增大了 8.98%, 21.26%, 26.93%, 16.58%; 1 000, 2 000, 3 000, 5 000 Gs 磁化微咸水处理的棉花产量较 CK 处理分别增大了 12.4%, 26.8%, 31.4%, 17.9%。由此说明,在合适的磁场强度范围内,利用磁化水灌溉可以促进棉花地上部生长,使得棉花单株有效结铃数和单铃重增大,进而促进棉花产量的提高。

对比同一磁场处理下淡水处理与微咸水处理的干物质累积量得出,0, 1 000, 2 000, 3 000, 5 000 Gs 磁化淡水处理的干物质累积量较磁化微咸水处理分别增大了 18.0%, 16.0%, 10.3%, 6.2%, 14.5%。磁化强度对棉花生育期的干物质累积量有显著影响,磁化淡水、微咸水处理的棉花生殖器官和营养器官干物质累积量相对于未磁化处理均有较大程度的增加,随着磁化强度的增加,各生育期的干物质累积量均呈现先上升后下降趋势,各磁化处理下棉花干物质总量、生殖器官与营养器官干物质整体表现为 0 Gs < 1 000 Gs < 5 000 Gs < 2 000 Gs < 3 000 Gs, 说明磁化强度

磁化淡水处理下的单株有效结铃数、单铃重与籽棉产量均高于磁化微咸水处理,说明与磁化微咸水灌溉相比,利用磁化淡水灌溉能够明显提高棉花产量。通过对比 2 种水质下磁化处理对棉花增产的影响得出,磁化微咸水处理的棉花增产率大于磁化淡水处理,说明磁化微咸水处理对于棉花增产效果更为明显。

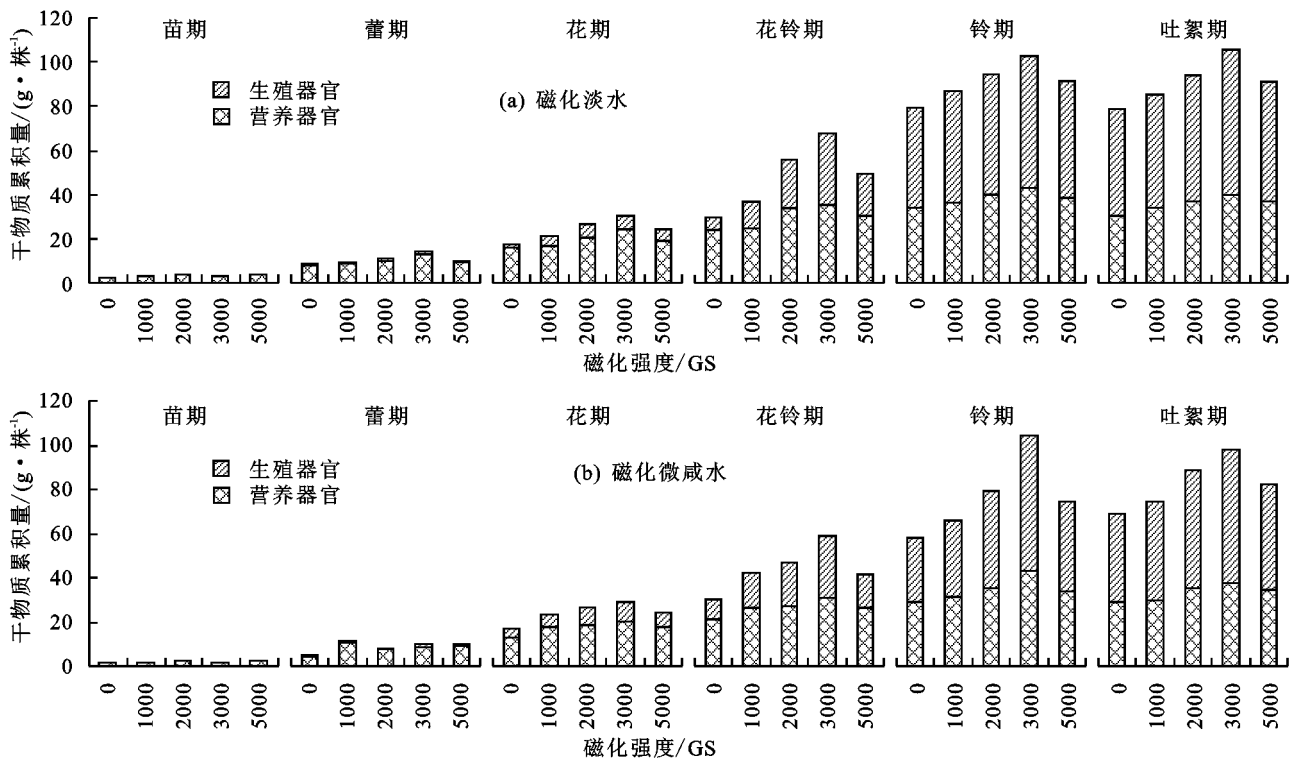


图 7 磁化水灌溉处理棉花生育期生物量变化

表 5 磁化水处理对棉花产量构成的影响

水质	磁化强度/Gs	产量构成因素			
		单株有效 结铃数/个	单铃重/ g	籽棉产量/ (kg·667m ⁻²)	增产率/ %
淡水	0	6.06±0.19d	5.53±0.18d	315.26±8.04e	
	1000	6.48±0.20c	5.63±0.21c	343.58±8.43d	8.98
	2000	7.02±0.27b	6.11±0.17a	382.28±6.86b	21.25
	3000	7.24±0.23a	6.11±0.19a	400.16±5.15a	26.92
	5000	6.65±0.21c	5.80±0.15b	367.54±5.87c	16.58
微咸水	0	5.95±0.18d	5.09±0.15d	297.73±7.59d	
	1000	6.34±0.15c	5.49±0.20c	334.66±5.52c	12.40
	2000	6.79±0.22b	5.80±0.17b	377.53±7.27a	26.80
	3000	7.16±0.30a	6.13±0.18a	391.14±6.13a	31.37
	5000	6.48±0.21c	5.60±0.15c	351.11±7.06b	17.93

注:表中数据为平均值±标准差;同列数据不同小写字母表示不同处理差异达 P<0.05 显著水平。

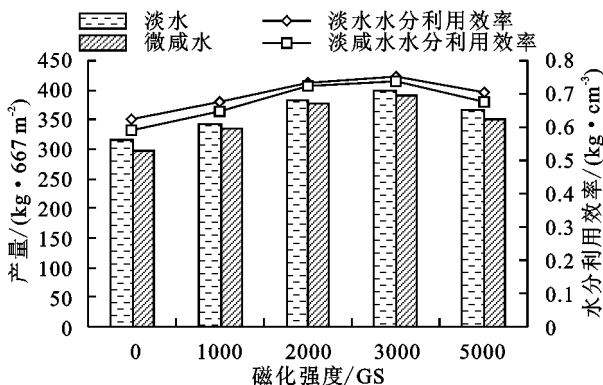


图 8 磁化水处理下棉花产量与水分利用效率的关系

水分利用效率(WUE)是棉花生育期内水分吸收利用并进行产量转化的重要参数,其定义为单位面积

作物产量与全生育期耗水量的比值。由图 8 可知,淡水、微咸水不同磁化处理下,水分利用效率与棉花产量呈正相关关系,棉花产量随着水分利用效率的增加而增大。分析 2 种水质下不同磁化强度处理对水分利用效率的影响得出,2 种水质磁化处理的水分利用效率均表现为 0 Gs<1 000 Gs<5 000 Gs<2 000 Gs<3 000 Gs,各磁化处理的水分利用效率较 CK 处理均有不同程度的增大,随着磁化强度的增加,水分利用效率呈现先增加后减少的趋势,1 000,2 000,3 000,5 000 Gs 磁化淡水处理的水分利用效率较 CK 处理分别增大了 8.4%,17.3%,21%,12.9%;1 000,2 000,3 000,5 000 Gs 磁化微咸水处理的水分利用

效率较 CK 处理分别增大了 8.8%, 22.2%, 24.2%, 14.1%。磁化微咸水处理下的水分利用系数的增长幅度大于磁化淡水处理,说明利用磁化微咸水灌溉对于提高水分利用效率的效果更明显。

3 结论

(1)磁化水灌溉能够有效提高土壤含水量,淡水、微咸水各磁化水灌溉处理的土壤含水量均高于 CK 处理,具体表现为 $3\ 000\ G_s > 2\ 000\ G_s > 5\ 000\ G_s > 1\ 000\ G_s > 0\ G_s$,且磁化淡水处理的土壤含水量均大于磁化微咸水处理,说明磁化水滴灌可以有效提高土壤含水量,增强土壤持水性,保证棉花根系的充分吸水,从而促进棉花的正常生长发育。0—100 cm 土层内棉花全生育期内各磁化处理的耗水量均大于实际灌水量。棉花苗期耗水量较小,随着生育期的延长,棉花需水量增加,灌水量与灌水次数增加,耗水量在棉花花铃期达到最大,在吐絮期逐渐减小。不同磁化强度处理下的棉花耗水量表现为 $3\ 000\ G_s > 2\ 000\ G_s > 5\ 000\ G_s > 1\ 000\ G_s > 0\ G_s$ 。

(2)磁化水灌溉能够有效降低土壤含盐量,磁化水灌溉处理的土壤含盐量均低于 CK 处理,各磁化水处理下的土壤含盐量表现为 $3\ 000\ G_s < 2\ 000\ G_s < 5\ 000\ G_s < 1\ 000\ G_s < 0\ G_s$,且磁化淡水处理的土壤含盐量均小于磁化微咸水处理,说明磁化水滴灌能更好淋洗土壤根区层的盐分。磁化淡水处理下的土壤脱盐效果明显,1 000, 2 000, 3 000, 5 000 G_s 磁化处理的脱盐率分别为 2.9%, 9.7%, 28.2%, 2.7%, 3 000 G_s 处理的脱盐率最高;CK 处理出现积盐,积盐率为 4.8%。磁化微咸水处理下土壤积盐效果明显,0, 1 000, 2 000, 3 000, 5 000 G_s 处理的积盐率分别为 31.0%, 21.7%, 33.9%, 23%, 29.9%。

(3)磁化水滴灌处理的棉花株高、茎粗均高于 CK 处理,各磁化处理的棉花株高、茎粗大小表现为 $0\ G_s < 1\ 000\ G_s < 5\ 000\ G_s < 2\ 000\ G_s < 3\ 000\ G_s$, 3 000 G_s磁化淡水处理下的棉花株高、茎粗最大且增长速度最快。

(4)磁化水滴灌处理的棉花生物量、产量及水分利用效率均高于 CK 处理,1 000, 2 000, 3 000, 5 000 G_s 磁化淡水处理的棉花产量较 CK 处理分别增大了 8.98%, 21.26%, 26.93%, 16.58%; 1 000, 2 000, 3 000, 5 000 G_s 磁化淡水处理的棉花产量较 CK 处理分别增大了 12.4%, 26.8%, 31.4%, 17.9%, 3 000 G_s 磁化处理下的棉花产量最高。在合理磁场强度范围内,利用磁化水灌溉可以促进棉花地上部生长,使得棉花生物量增大,产量提高。从棉花生长特征、产量、水分利用效率等方面综合考虑,3 000 G_s 为最佳

磁化强度处理。

磁化水灌溉能够明显影响土壤水盐分布及棉花生长特性,然而磁化水技术处理具有一定局限性,并不是磁场强度越大,效果越明显,在一定磁场强度范围内,磁化水对土壤水盐运移及棉花生长发育起到促进作用,超出磁场强度阈值而效果减弱。水的磁化机理十分复杂,不同作物或品种、水质、磁化强度等因素条件下的土壤水盐分布规律、作物增产效果等必将不同。因此,在磁化水处理的后续研究中,需要扩大研究范围,设置多种因素梯度,进一步深入研究磁化水对作物的作用机制,探求最佳磁化技术参数,从而达到作物高产高效的目的,促进磁化水技术在农业生产上的广泛应用。

参考文献:

- [1] 朱玉国,邹琴.新疆盐碱地高产植棉技术[J].新疆农垦科技, 2007(5):13-14.
- [2] 薛彦东,杨培岭,任树梅,等.再生水灌溉对土壤主要盐分离子的分布特征及盐碱化的影响[J].水土保持学报, 2012,26(2):234-240.
- [3] 赵宣,韩霁昌,王欢元,等.盐渍土改良技术研究进展[J].中国农学通报, 2016,32(8):113-116.
- [4] 王全九,张继红,门旗,等.磁化或电离化微咸水理化特性试验[J].农业工程学报, 2016,32(10):60-66.
- [5] 和劲松,祁凡雨,裴洛伟,等.磁场处理对液态水缔合结构影响的综合评价指标[J].农业工程学报, 2014,30(21):293-300.
- [6] 周胜,张瑞喜,褚贵新,等.磁化水在农业上的应用[J].农业工程学报, 2012,28(6):44-48.
- [7] Ghauri S A, Ansari M S. Increase of water viscosity under the influence of magnetic field [J]. Journal of Applied Physics, 2006,100(6):6459-6464.
- [8] 王全九,许紫月,单鱼洋,等.磁化微咸水矿化度对土壤水盐运移的影响[J].农业机械学报, 2017,48(7):198-206.
- [9] 郑德明,姜益娟,柳维扬,等.膜下滴灌磁化水对棉田土壤的脱抑盐效果研究[J].土壤通报, 2008,39(3):494-497.
- [10] 卜东升,奉文贵,蔡利华,等.磁化水膜下滴灌对新疆棉田土壤脱盐效果的影响[J].农业工程学报, 2010,26(增刊 2):163-166.
- [11] 彭海玉,邓政囊.磁处理水对水稻种子萌发的影响[J].广东农业科学, 1997(6):15-16.
- [12] 陆茜,罗明,董楠,等.磁化水处理对棉花枯萎、黄萎病菌的生物效应[J].新疆农业大学学报, 2016,39(4):286-291.
- [13] 刘新永,田长彦.棉花膜下滴灌盐分动态及平衡研究[J].水土保持学报, 2005,19(6):82-85.
- [14] 冯棣,张俊鹏,曹彩云,等.咸水畦灌条件下土壤水盐运移规律[J].水土保持学报, 2011,25(5):48-52.

- tion in an effluent irrigated field [J]. *Environmental Pollution*, 2017, 227: 560-568.
- [17] 辜娇峰,周航,杨文强,等.复合改良剂对镉砷化学形态及在水稻中累积转运的调控[J].*土壤学报*, 2016, 53(6): 1576-1585.
- [18] 施培俊,王冠华,吴迪,等.几种有机、无机钝化剂对铜污染土壤的钝化效果研究[J].*环境工程*, 2016, 34(6): 173-176.
- [19] Tang J, Zhu W, Kookana R, et al. Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil [J]. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 2013, 116(6): 653-659.
- [20] 刘维涛,周启星.不同土壤改良剂及其组合对降低大白菜镉和铅含量的作用[J].*环境科学学报*, 2010, 30(9): 1846-1853.
- [21] 钟振宇,赵庆圆,陈灿,等.腐殖酸和含磷物质对模拟铅污染农田土壤的钝化效应[J].*环境化学*, 2018, 37(6): 1327-1336.
- [22] 宋琳琳,铁梅,张朝红,等.施用污泥对土壤重金属形态分布和生物有效性的影响[J].*应用生态学报*, 2012, 23(10): 2701-2707.
- [23] 韦小了,牟力,付天岭,等.不同钝化剂组合对水稻各部位吸收积累Cd及产量的影响[J].*土壤学报*, 2019, 56(4): 863-894.
- [24] 宋波,唐丽嵘.桂林市土壤和蔬菜镉含量调查及食用安全性评估[J].*生态与农村环境学报*, 2012, 28(3): 238-242.
- [25] 段桂兰,王芳,岑况,等.秸秆及生物炭添加对猪粪沼渣施肥水稻重金属积累的影响[J].*环境科学学报*, 2017, 37(11): 4287-4295.
- [26] 王丹,魏威,梁东丽,等.土壤铜、铬(VI)复合污染重金属形态转化及其对生物有效性的影响[J].*环境科学*, 2011, 32(10): 3113-3120.

(上接第342页)

- [15] Nickolov Z S, Nikolay Goutev A, Matsuura H. Hydrogen bonding in concentrated aqueous solutions of 1, 2-dimethoxyethane: Formation of water clusters [J]. *Journal of Physical Chemistry A*, 2001, 105(48): 10884-10889.
- [16] Chang K T, Weng C I. The effect of an external magnetic field on the structure of liquid water using molecular dynamics simulation [J]. *Journal of Applied Physics*, 2006, 100(4): 43917-43920.
- [17] 杨晓红.磁化水及在农业上应用的磁化机理分析[J].*德州学院学报*, 2003, 19(6): 42-45.
- [18] 王淦,郭建曜,刘秀梅,等.磁化水灌溉对盐渍化土壤生化性质的影响[J].*核农学报*, 2018, 32(1): 150-156.
- [19] 李春艳,张巨松,向雁玲,等.密度与氮肥对机采棉生长特性及产量的影响[J].*南京农业大学学报*, 2018, 41(4): 633-639.
- [20] 韩秋成,任爱民,张玉娟,等.不同耕作方式对棉花生长发育的影响[J].*河北农业科学*, 2014, 18(2): 7-9.

(上接第348页)

- [14] 国家林业局. LY/T 1215-1999.森林土壤水分—物理性质的测定[S].北京:中国标准出版社,1999:22-24.
- [15] 鲁如坤.土壤农化分析方法[M].北京:中国农业科学技术出版社,2000:12,24,107,146-195.
- [16] 高雪峰,韩国栋,张国刚.短花针茅荒漠草原土壤微生物群落组成及结构[J].*生态学报*, 2017, 37(15): 5129-5136.
- [17] 赵爱花,杜晓军,臧婧,等.宝天曼落叶阔叶林土壤细菌多样性[J].*生物多样性*, 2015, 23(5): 649-657.
- [18] 王昭艳,左长清,曹文洪,等.红壤丘陵区不同植被恢复模式土壤理化性质相关分析[J].*土壤学报*, 2011, 48(4): 715-724.
- [19] 李裕元,邵明安,陈洪松,等.水蚀风蚀交错带植被恢复对土壤物理性质的影响[J].*生态学报*, 2010, 30(16): 4306-4316.
- [20] 刘洋,侯占山,赵爽,等.太行山片麻岩山区造地边坡植被恢复过程中植物多样性与土壤特性的演变[J].*生态学报*, 2018, 38(15): 5331-5339.
- [21] 寇文伯,黄正云,张杰,等.鄱阳湖湖泊细菌群落组成及结构:以松门山为例[J].*生态学报*, 2015, 35(23): 7608-7614.
- [22] 何苑峰,周国英,王圣洁,等.杉木人工林土壤真菌遗传多样性[J].*生态学报*, 2014, 34(10): 2725-2736.
- [23] Christina W, Heikki S. Do plant species of different resource qualities form dissimilar energy channels belowground [J]. *Applied Soil Ecology*, 2010, 44(3): 270-278.
- [24] Pascual J A, Garcia C, Hernandez T, et al. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(13): 1877-1883.