

不同磁化强度水对谷子产量的影响

王洪波^{1,2}, 乔木¹, 闫曼曼¹, 周生斌¹, 王成福³, 吴旭⁴

(1.中国科学院新疆生态与地理研究所/荒漠与绿洲生态国家重点实验室,新疆乌鲁木齐 830011;2.中国科学院大学,北京 100049;
3.新疆维吾尔自治区水利科技推广总站,新疆乌鲁木齐 830000;4.新疆维吾尔自治区水利厅,新疆乌鲁木齐 830000)

摘要:结合滴灌技术,分析了不同磁化强度水对土壤含水量、土壤养分及谷子生育性状的影响,探讨了不同因素对提升谷子产量的影响,并对比分析了适宜于谷子产量提升的最佳磁场强度范围。结果表明:磁化水滴灌可有效提高土壤含水量,较CK处理提高1.5%~14.4%;磁化水滴灌可加速对土壤盐分的淋洗作用,盐分降低率较CK处理高3.6%~9.3%;磁化水滴灌可有效促进谷子植株对Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺的吸收;磁化水滴灌可提升谷子的产量,较CK处理提高2.9%~23.9%;适宜于谷子产量提升的最佳磁场强度范围为2 400~3 600 Gs。磁化水灌溉能有效促进谷子植株的生长发育及产量提高。

关键词:磁化水;滴灌;谷子;土壤含水量;产量

中图分类号:S156.4;S515 文献标志码 A

Effect of different magnetization intensities water on foxtail millet yield

WANG Hong-bo^{1,2}, QIAO Mu¹, YAN Man-man¹, ZHOU Sheng-bin¹, WANG Cheng-fu³, WU Xu⁴

(1. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Science, Urumqi 830011, China; 2. University of Chinese Academy of Science, Beijing 100049, China;

3. The Xinjiang Uygur Autonomous Region water conservancy science and Technology Extension Station, Urumqi 830010, China;

4. Department of Water Resources of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830010, China)

Abstract: Magnetization water irrigation technology in agriculture has important significance for promoting crop growth and increasing crop yield. The effect of different magnetization water on foxtail millet growth and yield, and its changes on soil moisture content, soil nutrient and foxtail millet growth traits were analyzed in combination with drip irrigation techniques. also the influence of different factors on grain yield was discussed, the optimal magnetic field strength range suitable for millet yield improvement was analyzed in this paper. The results show that the magnetization treatment can effectively increase the soil moisture content, which is 1.5%~14.4% higher than that of CK treatment; and accelerate the leaching of salt, and the increasing rate is 3.6% to 14.4%; and promote the absorption and utilization of Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺ in foxtail millet; Magnetized drip irrigation can increase the yield of millet, which is 2.9%~23.9% higher than that of CK treatment. and the optimal magnetic field intensity range suitable for the increase of foxtail millet yield is 2 400~3 600 Gs. Therefore, the magnetized water irrigation can effectively promote the growth and development of millet plants and yield, can be used as a technology to promote the use of a large area.

Key words: magnetized water; drip irrigation; foxtail millet; yield

农业磁化水灌溉是一项能促进农作物生长和增产的灌溉技术,原理是灌溉水被磁化后,其结构发生了改变,由原来的大分子团簇变成单个水分子

或者二聚体,水表面张力系数降低^[1-3];变小的分子团加速了土壤中矿物质的结晶^[4];在细胞代谢过程中具有更强的渗透性、溶解性^[5];促使土壤中的养

分更易于被作物根系吸收利用,从而更有效地促进作物的生长^[6-7]。利用这一原理,国内外已开展了磁化水技术在农业灌溉上的试验与应用研究,在水稻、大豆以及小麦等农作物上取得了一定成果^[8-9]。但原有单一的滴灌或磁化水灌溉存在诸多不足:首先,单一的农作物磁化水灌溉其所处的环境是开放系统,受微地形、土壤质地、地下水等的干扰,磁化水控制的范围相对较小、分布和强度不均一;其次,单一的农作物滴灌技术不能更有效促进作物对土壤养分、水分的吸收利用,会影响作物产量进一步的提升。因此利用上述的磁化水灌溉的原理,将磁化水与滴灌结合,在新疆干旱绿洲环境下开展谷子磁化水滴灌丰产技术试验。本试验研究不同磁化强度水对谷子产量的影响,结合土壤含水量、土壤盐分、土壤氧分等的变化,旨在探究影响谷子产量提升的因素及适宜于谷子产量提升的最佳磁场强度范围。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

谷子磁化水滴灌丰产技术试验于2016—2017年在玛纳斯县下庄子村开展,试验田面积为19.3 hm²。试验区土地规整、集中连片,有完善的滴灌系统,地下水埋深在1 m以下。试验区地理坐标为86°27'31"E,44°14'19"N,属于旱半干旱气候区。年平均气温7.2℃,全年无霜期165~172 d,多年平均降水量187.3 mm,年平均蒸发量1 805.8 mm。供试土壤为灌淤土,土壤质地为沙壤土,其保水、保肥性较差。供试土壤盐分为0.631 g·kg⁻¹,全氮0.065 g·kg⁻¹,有效磷18.13 mg·kg⁻¹,速效钾484.05 mg·kg⁻¹。谷子种植模式为一膜六行,滴灌带按照三管六行进行铺设,播种量为7.5 kg·hm⁻²,播种深度在3~5 cm,播后镇压2~3次。于2016年4月16日播种,4月25日出苗,9月27日收获。全生育期灌水总量5 625 m³·hm⁻²,灌水下限为田间持水量的65%,滴灌5次。施肥以基肥为主,追肥为辅,耕作前施入农家肥2 500~4 000 kg·hm⁻²,播种时施入磷酸二氨150 kg·hm⁻²。追肥的最佳时期是拔节后至抽穗期,据此随灌水施肥2次,拔节期施入尿素180 kg·hm⁻²,抽穗期施入尿素75 kg·hm⁻²,其它田间管理措施同大田。

1.2 灌水磁化处理与设计

试验装置选取外圈直径105 mm、内圈直径85 mm的农业注水磁化器,滴头流量50 L·h⁻¹。试验设计3个磁场强度1 200、2 400、3 600 Gs及无磁化(CK)处理,每个处理3次重复。试验采取随机区组设计及依据农田特点,将磁化器按N至S极垂直切割

水流方向连接于主管与支管接口处。每次灌水流经磁化器均被磁化,据此构建成磁化水滴灌试验和对照滴灌试验,其它田间管理措施同大田。

1.3 测定方法

1.3.1 土壤含水量的测定 在谷子生长发育的主要生育期(幼苗期、拔节期、抽穗期、成熟期)分别在灌前一天和灌后第三天,用土钻取30 cm土层土样,采用烘干法测定含水量。

1.3.2 土壤盐分及其盐离子测定 在播种前及收获后,用土钻距滴灌带10 cm处取30 cm土层土样,土壤样品经风干后过1 mm和0.25 mm筛,利用离子色谱仪、DDSJ-308A型电导率仪、梅特勒G20型电位滴定仪测定土壤总盐、八大盐离子的含量。

1.3.3 谷子株高、叶片数的测定 采用定点定株的方式,在谷子生长发育的主要生育期(幼苗期、拔节期、抽穗期、成熟期)对其进行测定。每个处理定3个点,每点选代表性的谷子植株5株,共15株做定点定株调查,每处理取平均值。

1.3.4 谷子产量的测定 每个处理随机取3个样点,每个样点取6.67 m²,对长势不均匀的试验田视情况适当增加样点数。每个样点选取有代表性的双行,实数收获穗数,计算每公顷收获穗数;每个样点内随机抓取10个穗,计数平均穗粒数。将10穗脱粒,取1 000粒称重,重复3次,求取平均值计为千粒重。最终产量计算见公式(1):

$$Y = S \times G \times W \times 0.85 \times 10^{-6} \quad (1)$$

式中, Y 为产量(kg·hm⁻²); S 为穗数(个·hm⁻²); G 为穗粒数(个); W 为千粒重(g);0.85是历史多年实际产量与理论产量计算的比值。

1.4 数据处理

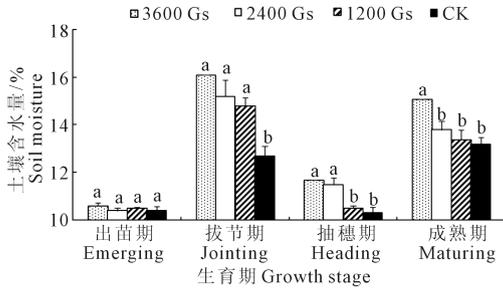
利用DPS和SPSS软件对数据进行显著性差异检验($P < 0.05$),利用Microsoft Excel进行数据分析处理。

2 结果与分析

2.1 磁化水滴灌对土壤含水量的影响

在谷子生长发育的4个关键时期对土壤含水量进行测定,由图1知,磁化处理土壤含水量均高于CK处理。各个时期土壤含水量均表现为:3 600 Gs > 2 400 Gs > 1 200 Gs > CK,以3 600 Gs最佳。在谷子出苗期,各处理间的土壤含水量差异不显著;在谷子拔节期,磁化处理与CK(无磁化)处理存在显著性差异,磁化处理土壤含水量明显高于CK处理。在抽穗期3 600 Gs、2 400 Gs与CK处理差异显著,但1 200 Gs与CK不存在显著性差异。在成熟期,

3 600 G_s与其它处理存在显著性差异,但 2 400 G_s、1 200 G_s与 CK 处理差异不显著,各磁化处理分别较 CK 提高了 14.4%、4.5%、1.5%。结果表明:磁化处理可有效提高土壤含水量,以 3 600 G_s 最佳,在 4 个生育时期,3 600 G_s 处理分别较 CK 提高了 1.9%、23.8%、13.6%、14.4%。



注:同时期不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$),下同

Note: Different letters in the same growth stage meant significant difference at 0.05 level among treatments, the same as below

图 1 不同处理的土壤含水量(0~30 cm 土层平均值)

Fig.1 Soil moisture content (average value of 0~30 cm) under different treatments

2.2 磁化水滴灌对土壤盐分的影响

由表 1 知,滴灌后各处理的土壤总盐含量均表现为下降,是因为滴灌灌溉方式可以将盐分淋洗到耕作层以下。磁化水滴灌对土壤的洗盐压盐效果显著高于 CK 处理,磁化处理的土壤盐分降低率均高于 CK 处理。降低率表现为:3 600 G_s>2 400 G_s>1 200 G_s>CK,磁化处理的降低率较 CK 分别高 9.3%、5.5%、3.6%。土壤中的阴离子(SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 HCO_3^-)及 Na^+ 含量均表现为下降,其降低率均表现为:3 600 G_s>2 400 G_s>1 200 G_s>CK,其中 3 600 G_s 处理的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ 4 种盐离子的降低率分别为 53.0%、41.2%、14.6%、20.6%,均高于 CK 处理。各处理土壤中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 的含量均表现为下降,但 CK 处理土壤中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 含量下降幅度均低于磁化处理。3 600 G_s 处理的 Ca^{2+} 、 K^+ 、 Mg^{2+} 的降低效果最佳。结果表明:磁化水滴灌有效地降低土壤中的总盐及离子的含量,以 3 600 G_s 处理最佳。

表 1 不同处理下的土壤盐分和盐离子的变化(0~30 cm 土层平均值)

Table 1 Variation of soil salinity and salt ions (average value of 0~30 cm) under different treatments

处理 Treatment	项目 Items	总盐 Total salt	SO_4^{2-}	Cl^-	HCO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+
3600 G _s	播种前/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Preplanting	0.84	0.083	0.017	0.329	0.083	0.023	0.033	0.063
	收获后/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) After harvest	0.65	0.039	0.010	0.281	0.064	0.019	0.026	0.050
	降低量/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Reduce amount	0.19	0.044	0.007	0.048	0.019	0.004	0.007	0.013
	降低率 Decrease rate/%	22.6	53.0	41.2	14.6	22.9	17.4	21.2	20.6
	2400 G _s	播种前/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Preplanting	0.85	0.082	0.016	0.328	0.084	0.023	0.034
收获后/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) After harvest		0.69	0.042	0.012	0.296	0.067	0.020	0.029	0.053
降低量/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Reduce amount		0.16	0.040	0.006	0.032	0.017	0.003	0.005	0.011
降低率 Decrease rate/%		18.8	48.8	37.5	9.8	20.2	13.0	14.7	17.2
1200 G _s		播种前/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Preplanting	0.83	0.085	0.018	0.331	0.082	0.022	0.032
	收获后/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) After harvest	0.69	0.046	0.013	0.290	0.070	0.017	0.028	0.056
	降低量/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Reduce amount	0.14	0.039	0.005	0.041	0.012	0.002	0.004	0.005
	降低率 Decrease rate/%	16.9	44.9	27.8	12.4	14.6	10.5	12.5	8.2
	CK	播种前/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Preplanting	0.83	0.083	0.018	0.329	0.083	0.022	0.034
收获后/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) After harvest		0.72	0.056	0.014	0.307	0.077	0.021	0.031	0.059
降低量/($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$) Reduce amount		0.11	0.027	0.004	0.022	0.006	0.001	0.003	0.003
降低率 Decrease rate/%		13.3	32.5	22.2	6.7	7.2	4.5	8.8	4.8

注: CO_3^{2-} 微量,未标注。Note: The CO_3^{2-} trace, unlabeled.

2.3 磁化水滴灌对土壤养分吸收的影响

在播种前及收获后对土壤养分进行测定,由表2知,播种前各处理的土壤养分含量相近,不存在显著性差异;收获后,3 600、2 400 G_s处理有机质、碱解氮、有效磷、速效钾的含量均与CK处理存在显著性差异;1 200 G_s处理有机质、碱解氮的含量与CK处理差异不显著,有效磷、速效钾的含量存在显著性差异。收获后,磁化处理的土壤有机质、碱解氮、

有效磷、速效钾的降低量、降低率均高于CK处理,磁化处理与CK处理差异显著,土壤养分降低率均表现为:3 600 G_s>2 400 G_s>1 200 G_s>CK。结果表明:各处理有机质、碱解氮、有效磷、速效钾的降低率均存在显著性差异,3 600 G_s处理对有机质、碱解氮、有效磷、速效钾的降低率分别达到12.1%、23.0%、28.6%、5.3%,均显著高于CK处理。

表2 不同处理下土壤养分的变化(0~30 cm 土层平均值)

Table 2 Changes of soil nutrients (average value of 0~30 cm) under different treatments

处理 Treatment	项目 Items	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	碱解氮 Alkali hydrolyzable nitrogen/(mg·kg ⁻¹)	有效磷 Available phosphorus /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium /(mg·kg ⁻¹)
3600 G _s	播种前 Preplanting	14.77±1.76a	65.41±0.70a	18.04±0.37a	484.90±5.6a
	收获后 After harvest	12.99±0.32c	50.38±1.63b	12.87±0.24c	459.38±5.82c
	降低量 Reduce amount	1.78±0.10a	15.03±1.17a	5.17±0.14a	25.52±0.39a
	降低率 Decrease rate/%	12.1±0.4a	23.0±1.45a	28.6±1.15a	5.3±0.15a
2400 G _s	播种前 Preplanting	15.01±0.23a	64.92±0.79a	18.36±0.34a	482.25±1.34a
	收获后 After harvest	13.68±0.44bc	52.93±3.57b	13.82±0.69b	458.16±5.83c
	降低量 Reduce amount	1.33±0.12b	12.00±1.19b	4.52±0.09b	24.13±0.77b
	降低率 Decrease rate/%	8.9±0.3b	18.5±0.85b	24.7±0.55b	5.0±0.2ab
1200 G _s	播种前 Preplanting	15.38±0.18a	65.32±0.39a	17.71±1.89a	485.54±2.27a
	收获后 After harvest	14.17±0.32ab	55.24±3.06ab	14.27±0.33b	462.07±3.73b
	降低量 Reduce amount	1.21±0.18b	10.10±0.30c	3.44±0.06c	23.47±1.13b
	降低率 Decrease rate/%	7.9±0.5c	15.4±0.65c	19.4±0.35c	4.8±0.25b
CK	播种前 Preplanting	14.84±1.17a	65.15±0.55a	18.39±0.71a	483.49±2.11a
	收获后 After harvest	14.52±0.39a	59.32±1.69a	16.43±0.56a	476.13±5.06a
	降低量 Reduce amount	0.32±0.03c	5.83±0.17d	1.96±0.05d	7.36±0.35c
	降低率 Decrease rate/%	2.2±0.3d	8.9±0.15d	10.7±0.40d	1.5±0.2c

注:不同字母表示不同处理间差异显著($P<0.05$),下同。

Note: Different letters meant significant difference at $P<0.05$ level among treatments. The same below.

2.4 磁化水滴灌对谷子生长发育的影响

由表3知,磁化处理在4个监测时期谷子的株高、叶片数均高于CK处理,3 600 G_s、2 400 G_s处理与CK处理的株高差异显著,但1 200 G_s处理只有在拔节期与CK处理存在显著性差异。在谷子成熟

期,株高表现为:3 600 G_s>2 400 G_s>1 200 G_s>CK,分别较CK处理提高了13.0%、7.8%、2.5%。叶片数在成熟期时,3 600 G_s磁化处理比CK处理高4.8%;在抽穗期,1 200 G_s与CK的叶片数差异显著,在其余三个时期不存在显著性差异;3 600 G_s、2 400 G_s

处理的叶片数在 4 个监测时期均与 CK 处理差异显著。试验结果表明:CK 处理的谷子植株形态矮小、叶片数少,磁化处理的谷子植株高、叶片数多。磁

化处理促进了谷子植株营养生长,增加了谷子植株光合作用的有效面积,为后期光合产物向生殖器官的累积及谷子产量的提升奠定基础。

表 3 不同处理对不同生育阶段谷子的株高和叶片数的影响

Table 3 Effects of different treatment on plant height and leaf number at different growth stages in foxtail millet field

性状 Growth traits	生育期 Growth stage	处理 Treatment			
		3600 Gs	2400 Gs	1200 Gs	CK
株高/cm Plant height	出苗期 Emerging	38.6±0.8a	36.1±0.3b	35.6±0.8bc	34.7±0.6c
	拔节期 Jointing	68.2±0.4a	65.7±1.5b	64.3±0.7b	62.1±0.7c
	抽穗期 Heading	108.2±0.8a	106.4±1.1a	101.9±1.6b	99.8±1.8b
	成熟期 Maturing	115.7±1.6a	110.3±2.3b	104.9±0.4c	102.4±1.3c
叶片数 Leaf number	出苗期 Emerging	9.3±0.3a	9.3±0.2a	9.0±0.3b	8.9±0.2b
	拔节期 Jointing	10.3±0.2a	10.1±0.3a	9.2±0.3b	9.1±0.2b
	抽穗期 Heading	14.6±0.1a	14.5±0.1a	14.2±0.1b	13.7±0.3c
	成熟期 Maturing	15.1±0.3a	14.9±0.1a	14.5±0.1b	14.4±0.2b

2.5 磁化水滴灌对谷子生物量的影响

由图 2 知,磁化处理的谷子地上部生物量均高于 CK 处理,3 600 Gs 处理与 2 400 Gs 处理间差异不显著,与 1 200 Gs 处理及 CK 处理存在显著性差异,1 200 Gs 处理及 CK 处理间不存在显著性差异。其中 3 600 Gs 处理谷子的地上部生物量达到 1 538.2 kg·hm⁻²,较 CK 提高了 31.7%,2 400 Gs 处理和 1 200 Gs 处理谷子的地上部生物量分别为 1 444.7 kg·hm⁻²、1 209.9 kg·hm⁻²,较 CK 处理提高了 23.7%和 3.6%。这说明磁化处理有利于谷子地上部生物量的累积,有利于促进谷子最终产量的形成,其中,以 3 600 Gs 磁化处理的地上部生物量最大,效果较为显著。

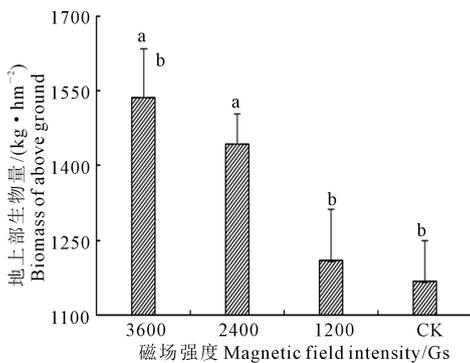


图 2 不同处理谷子的地上部生物量

Fig. 2 Above ground biomass of foxtail millet under different treatments

2.6 磁化水滴灌对谷子穗粒性状的影响

据表 4 知,不同磁化强度水处理谷子的穗长、单穗重、单穗粒重均高于 CK 处理,均表现为:3 600 Gs>2 400 Gs>1 200 Gs>CK。磁化水处理谷子的穗长较 CK 处理高 1.3~2.5 cm,3 600 Gs 处理与 1 200 Gs 处理及 CK 处理差异显著,与 2 400 Gs 处理不存在

显著性差异。磁化处理谷子的单穗重较 CK 增重 1.5~2.4 g,3 600 Gs 处理较 CK 处理提高 12.4%,2 400 Gs 处理与 1 200 Gs 处理分别较 CK 高 9.8%、7.7%,磁化处理间差异不显著,与 CK 处理差异显著。在单穗粒重上,磁化处理与 CK 处理存在显著性差异,3 600 Gs 处理最佳,较 CK 处理提高 7.6%。这说明磁化水滴灌有效地促进谷子穗长、单穗重、单穗粒重的增加,对产量的提高有利。

表 4 磁化水对谷子穗粒性状的影响

Table 4 Effect of the characters of ear or kernel after magnetized treated water in foxtail millet field

处理 Treatment	穗长/cm Ear length	单穗重/g Single panicle weight	单穗粒重/g Grain weight per spike
3600 Gs	22.8±0.7a	21.8±1.1a	16.9±0.3a
2400 Gs	22.1±0.4ab	21.3±0.5a	16.8±0.4a
1200 Gs	21.6±0.8b	20.9±0.5a	16.5±0.2a
CK	20.3±0.5c	19.4±0.4b	15.7±0.4b

2.7 磁化水滴灌对谷子产量的影响

为探究磁化水滴灌对玉米产量的影响,对谷子的穗数、穗粒数及千粒重进行了测定。由表 5 知,3 600 Gs 处理与 2 400 Gs 处理的谷子产量差异不显著,与 1 200 Gs 处理及 CK 处理存在显著性差异。最终测产以 3 600 Gs 处理最佳,产量为 8 385 kg·hm⁻²,较 CK 提高了 23.9%,2 400 Gs 与 1 200 Gs 分别较 CK 处理提高了 17.5%和 2.9%。穗数表现为:3 600 Gs>2 400 Gs>1 200 Gs>CK,3 600 Gs 与 2 400 Gs 处理之间不存在显著性差异,分别较 CK 提高 13.2%、9.3%,1 200 Gs 与 CK 处理间差异不显著。在穗粒数上,各处理间差异不显著,3 600 Gs、2 400 Gs 处理分别较 CK 处理提高了 3.0%、3.2%。千粒重以 3 600 Gs 处理最佳,为 2.56 g,较 CK 高 6.2%,

2 400 Gs 与 1 200 Gs 分别较 CK 提高 4.1%、2.5%，各处理间差异不显著。综合看，在谷子的穗数、穗粒数、千粒重及产量上，磁化处理均高于 CK 处理，有效地促进了谷子产量及产量构成要素的提升，以 3 600 Gs 处理最佳，2 400 Gs 处理次之。

表5 磁化水对谷子产量的影响

Table 5 Effect of magnetized treated water on foxtail millet yield

处理 Treatment	穗数/(个·hm ⁻²) Spike numbers	穗粒数 Grains per spike	千粒重/g 1000-grain weight	产量/(kg·hm ⁻²) Yield
3600Gs	543459±17905a	7090±48a	2.56±0.05a	8385±162a
2400Gs	524700±18487a	7101±97a	2.51±0.24a	7949±74a
1200Gs	470952±9153b	6906±87a	2.47±0.22a	6961±500b
CK	479895±17444b	6884±260a	2.41±0.10a	6767±317b

3 讨论

本研究表明，与 CK 相比，磁化水滴灌可以提高土壤水分含量，这与 Khoshravesh 等^[10]的研究结果一致。土壤含水量提高的原因是土壤中的矿物质结晶增加了土壤的渗透压，从而降低土壤水分的蒸发，因此有更多的水分留在土壤中。磁化处理土壤中的离子降低率高于 CK 处理的原因，是水经过磁化后，加快土壤中的矿物质结晶，从而降低土壤中可溶性盐的含量，这与 Madsen^[4]研究结果一致。另外，朱练峰^[11]等通过研究磁化水灌溉处理和普通水灌溉处理对水稻生长发育及产量品质的影响，结果表明，磁化水灌溉可显著增加水稻的有效穗数、干物质的积累和产量的提升，这与本试验结果一致。

磁化水滴灌影响土壤含水量、土壤离子及土壤养分，这些因素的相互作用，从而影响谷子作物的产量。磁化水滴灌提升农作物产量的可能原因：(1) 由于盐分过高会抑制作物的生长^[12-14]，磁化水加速土壤盐分向下运动，将盐分淋洗到耕作层以下^[15]，促进作物植株生理活性的增强；(2) 磁化水滴灌将更多的土壤水分保留在土壤中，由于新疆蒸发量大，更多的水分有利于植株的生长发育；(3) 磁化水滴灌在一定程度上增强了作物根系的生理活性，加速吸收土壤中的养分，Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺是叶绿素合成及光合作用的必需元素，碱解氮、有效磷、速效钾是作物生长的养分供应；(4) 磁化水滴灌促进作物株高的增长、叶片数的增加，有效地增加了光合作用的有效面积，加强植株对太阳光的吸收利用，最终促进植株地上部生物量积累及产量的增加^[16-17]。但本研究区为非盐渍化耕地，因此不存在

盐分胁迫的原因。

综合分析不同磁化强度对土壤、谷子生育性及产量的影响，针对谷子作物产量以 3 600 Gs 处理最佳，2 400 Gs 次之，3 600 Gs 处理的产量为 8 385 kg·hm⁻²，较 CK 提高了 23.9%。因此，磁化水滴灌谷子作物，可以将磁化器的磁场强度限定为 2 400~3 600 Gs。

4 结论

本试验研究表明，磁化水滴灌可有效保持土壤中水分含量，并可促进土壤盐分淋洗到耕作层以下；磁化水滴灌加速谷子植株吸收利用土壤中的养分、Ca²⁺、Mg²⁺、K⁺，从而促进谷子的生长发育及谷子植株地上部生物量的累积。磁化水滴灌有效地提高了谷子产量构成要素及产量，最终产量以 3 600 Gs 处理最佳，为 8 385 kg·hm⁻²，较 CK 提高了 23.9%，2 400 Gs、1 200 Gs 分别比 CK 处理提高了 17.5%和 2.9%。综上所述，磁化水灌溉直接影响土壤含水量及土壤盐分，间接影响了玉米作物的生长发育及生物量的累积。磁化水滴灌有效地提高谷子产量，针对谷子作物，其最佳磁场强度范围应控制在 2 400~3 600 Gs。

参考文献:

- [1] Toledo Evelyn-J.L., Ramalho Teodorico-C., Magriotis Zuy-M. Influence of magnetic field on physical-chemical properties of the liquid water Insights from experimental and theoretical models [J]. Journal of Molecular Structure, 2008, 888(1): 409-415.
- [2] Pang X-F, Deng B. The changes of macroscopic features and microscopic structures of water under influence of magnetic field [J]. Physica B: Physics of Condensed Matter, 2008, 403(19): 3571-3577.
- [3] 丁振瑞, 赵亚军, 陈凤玲, 等. 磁化水的磁化机理研究 [J]. 物理学报, 2011, 60(6): 432-439.
- [4] Madsen H E L. Crystallization of calcium carbonate in magnetic field in ordinary and heavy water [J]. Journal of Crystal Growth, 2004, 267(1): 251-255.
- [5] 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(自然科学版), 2003, 19(6): 42-45.
- [6] Ghanati F, Mohamadalkhani S, Soleimani M, et al. Change of growth pattern, metabolism, and quality and quantity of maize plants after irrigation with magnetically treated water [J]. Electromagnetic Biology & Medicine, 2015, 34(3): 211-215.
- [7] B L Maheshwari, H S Grewal. Magnetic treatment of irrigation water: its effects on vegetable crop yield and water productivity. [J]. Agricultural Water Management, 2009, 96(8): 1229-1236.
- [8] 赵国林, 曹宏. 磁化水浸种对旱地冬小麦生长发育和产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 1997, 15(3): 115-119.