

## 磁化水对小麦种子萌发、幼苗生长和生理特性的生物学效应

邱念伟<sup>\*\*\*</sup>, 谭廷鸿<sup>\*</sup>, 戴华, 沈璇, 韩冉, 林燕, 马宗琪

曲阜师范大学生命科学院, 生命有机分析重点实验室, 南四湖湿地生态与环境保护重点实验室, 山东曲阜273165

**摘要:** 为研究磁化水对作物的生物学效应, 本文详细分析了磁化水处理对小麦种子萌发、幼苗生长和生理特性的影响。研究结果显示: 磁化水处理小麦的种子发芽参数与对照相比无显著差异; 磁化水处理对小麦的株高、根长、地上部和根部鲜重等生长参数也无显著影响; 同样, 磁化水处理在叶片色素含量、可溶性糖、可溶性蛋白质含量、含水量、细胞汁液渗透势等重要生理特征参数方面也未显示出显著差异。此外, 磁化水并未显著影响小麦叶片的光合作用。综上所述, 磁化水处理对小麦种子萌发和幼苗生长无明显的生物学效应。

**关键词:** 磁化水; 小麦; 种子萌发; 幼苗生长; 生理特性

## Biological Effects of Magnetized Water on Seed Germination, Seedling Growth and Physiological Characteristics of Wheat

QIU Nian-Wei<sup>\*\*\*</sup>, TAN Ting-Hong<sup>\*</sup>, DAI Hua, SHEN Xuan, HAN Ran, LIN Yan, MA Zong-Qi

Key Lab of Wetland Ecology and Environmental Protection of Nansi Lake, Key Lab of Analytical Chemistry for Life Science, College of Life Sciences, Qufu Normal University, Qufu, Shandong 273165, China

**Abstract:** To explore the biological role of magnetized water to crop plants, the effects of magnetized water on seed germination, seedling growth and substance metabolism of wheat were investigated. The results showed that the seed germination indexes had no difference between magnetized water treated seeds and control seeds of wheat. There was no significant changes in growth indexes such as shoot length, root length, shoot fresh weight, and root fresh weight of wheat seedlings after treated with magnetized water too. Same results were found in water content, osmotic potential of cell sap, soluble protein content, soluble sugar content and pigment contents of wheat leaves. Furthermore, magnetized water had no effect on photosynthesis of wheat leaves. In conclusion, magnetized water had no significant biological effects on seed germination and seedling growth of wheat.

**Key words:** magnetized water; wheat; seed germination; seedling growth; physiological characteristics

磁化水被认为是一种被磁场磁化了的水。让水以一定流速, 沿着与磁力线垂直的方向, 通过一定强度的磁场, 普通水就会变成磁化水。经磁化后, 水的物理和化学性质发生一系列变化, 两氢键键角由 $105^\circ$ 变成 $103^\circ$ , 水由原来的13~18个大分子团变成5~6个小分子团, 水的物理化学性质如渗透力、溶解度、表面张力、电导率、透光率、挥发性、pH等均发生变化(Chang和Weng 2006; Pang和Deng 2008; Cai等2009)。1945年, 比利时的韦梅朗(Vermeiren)首先发现磁化水能减少水垢的形成, 并获得专利, 磁化水开始引起世人关注。我国在上世纪60年代初也开始了磁化水及磁化器的研究。磁化水最早仅用于水容器的防垢和冶金领域, 70年代后期应用对象已涉及建筑材料、化工、矿山及农业和医学等领域。尤其是近20年来, 磁疗保健

风靡我国, 但磁化水的医学保健作用被过分夸大, 其医疗效果饱受使用者和社会质疑。

相对于医学, 生物磁学及磁化水在农业上的应用研究较少, 但相关研究持续至今, 我国学术期刊上相关报道已达上百篇。很多报道认为磁化水可以疏松土质, 促进种子发芽和幼苗生长(陈胜文等2008; Nasher 2008; 王建林等2011), 并具有显著增产效果(聂继云和董雅凤1998)。此外, 磁化水还能够改良盐碱地, 提高棉花的耐盐碱能力(卜东升等2010; 谢君2010), 提高玉米对重金属镉的耐受能

收稿 2011-05-23 修定 2011-07-02

资助 作物生物学国家重点实验室开放课题(2011KF07)和山东省高等学校科技计划项目(J09LC16)。

\* 共同第一作者。

\*\* 通讯作者(E-mail: nianweiqiu@163.com; Tel: 0537-4456415)。

力(刘璇等2008)。不过磁化水的生物学效应机制还不清楚,相关研究成果并未得到广泛的权威认证,在农业生产上推广应用有限。国际上关于磁化水的研究状况与国内类似,相关研究存在激烈争论(Colic和Morse 1999),少数有关磁化水的植物生物学效应的报道大多为企业宣传,并未被国际权威杂志认可,且质疑声音较多,维基百科中有专门的讨论磁化水有效性的网站(Wikipedia 2011),加拿大Simon Fraser大学的Stephen博士甚至建立了磁化水打假专门网站,直接把磁化水称为伪科学(pseudoscience)或者江湖骗术(quackery),认为磁化水相关研究缺乏严格的数据支持,实验对照的设计很不合理,研究结果不具可重复性(Stephen 2011)。伏尔更斯坦(1985)也把磁化水列入近代生物物理学伪科学名单。但国内质疑磁化水生物学效应的报道仅1篇,作者主要从物理学角度分析了磁化水的理论不可行性,并做了简单的浇花实验和发芽实验,均未发现磁化水的生物学效应(李鹤龄1997)。

虽然生物磁学属于边缘学科,且在磁化水能否被磁化,其物理化学性质是否稳定,是否具有生物学效应等方面存在较大争论,但是由于磁化水生产的投资少,操作简单,无毒,无污染,很多科技工作者仍致力于把磁化水的神奇作用变成现实。支持者认为磁化水分子团变小,自由度增加,能提高水和养分输送能力,促进新陈代谢,有利于作物的生长发育,可具有显著的增产效果(曹宏等1999)。如:浇灌磁化水可使麦类作物增产20%~30%(Hozayn和Qados 2010),甚至用磁化水浸种即可使小麦和玉米增产(曹宏和赵国林1998)。但这类研究报道对磁化水增产的机制研究并不深入,需要更为严格深入地进行验证和论证。本文利用小麦为实验材料,系统检测了磁化水处理小麦种子萌发、幼苗生长和物质代谢方面的变化,旨在探讨磁化水对小麦的生物学效应机制,却并未发现磁化水对小麦的生物学效应。

## 材料与amp;方法

### 1 材料的培养和处理

材料选用籽粒饱满的小麦(*Triticum aestivum* L. ‘山农D040’)。磁水器为沈阳润鼎公司生产(型号: FCSH-I),磁体为钕铁硼稀土永磁材料,蒙乃尔

合金外壳,磁隙磁感应强度为0.5特斯拉(Tesla, T),水流经磁场的速度为 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。蒸馏水磁化后浸泡小麦种子,在温室 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下萌发,分析发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数。待种子长出根后,用磁化水配制Hoagland营养液培养,人工气候室的昼夜温度为 $25\text{ }^{\circ}\text{C}/20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,光周期16 h/8 h,光照强度为 $100\text{ }\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,相对湿度60%~80%,每天更换磁化水。小麦培养4周时测定生长参数并进行生理特性分析。为了避免其他因素对小麦发芽及生长的影响,采用植物培养箱(型号: KBWF240,德国BINDER)精确控制培养条件,用溶液培养法精确控制根系生长条件。

## 2 测定方法

### 2.1 种子萌芽试验

实验设磁化水(magnetized water, MW)和对照(去离子水, CK) 2种处理,每种处理5个重复,每个重复随机选取100粒小麦种子,置于铺有滤纸的培养皿,加水保持湿润,置于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的恒温培养箱中催芽。以胚根长度超过种子长度的1/2为发芽标准,每天记录发芽数,计算种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数。

发芽率(%)=发芽7 d全部正常发芽的种子数/供试种子数 $\times 100$ ;发芽势(%)=发芽3 d正常的发芽种子数/供试种子数 $\times 100$ ;发芽指数( $G_i$ )= $\sum G_t/D_t$  ( $G_t$ :  $t$ 日内的发芽数;  $D_t$ : 对应的发芽日数);活力指数( $V_i$ )= $G_i \times S$ ,式中 $S$ 为发芽7 d时小麦平均整株鲜重。

### 2.2 萌发小麦种子淀粉酶活力的测定

小麦浸种后第3天,取种子1 g,用pH 6.4的柠檬酸缓冲液提取淀粉酶,采用3,5-二硝基水杨酸比色法测定淀粉酶活性(张志良和瞿伟菁2004)。每种处理做5个重复。

### 2.3 小麦株高、根长、鲜重和叶片含水量的测定

小麦培养第4周时,测定生长参数。以小麦茎基部到小麦最上叶尖端的高度作为小麦株高。在根茎结合部将植株剪开,分别测地上部鲜重和根鲜重。称量叶片鲜重后,迅速将叶片于 $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 杀青10 min,然后烘干至恒重,称其干重。叶片含水量=(鲜重-干重)/鲜重。每个处理做10个重复。

### 2.4 光合色素的提取与含量测定

光合色素的提取与含量测定参照张其德(1985)的方法,用80%的丙酮提取叶片色素。叶片生理指

标均以第3叶为材料。每个处理做5个重复。

## 2.5 叶片可溶性蛋白质含量和可溶性糖含量的测定

用Bradford (1976)的方法测定叶片可溶性蛋白测定,以牛血清白蛋白作为标准,每个处理做5个重复。可溶性糖用10%三氯乙酸提取,含量测定参照赵世杰等(1994)的方法,每个处理做5个重复。

## 2.6 叶片渗透势的测定

取叶片500 mg左右,挤出细胞汁液,用蒸汽压渗透压计(Vapor Pressure Osmometer 5520, Hansatech Instrument Ltd., UK)测定细胞汁液浓度,然后用范特霍夫公式计算出渗透势。每个处理做10个重复。

## 2.7 叶绿素荧光动力学参数的测定

小麦幼苗上午8点移到暗室中进行暗适应,测量前叶片至少暗适应30 min。然后用Handy PEA (Plant Efficiency Analyser; Hansatech Instrument Ltd., UK)测定叶绿素荧光动力学参数。测定光源为6个发光二极管提供的波长为650 nm的红光,光照强度为3 000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,光聚集在直径为4 mm<sup>2</sup>的实验材料上,荧光信号的记录时程为2 s。每个处理做20个重复。

## 2.8 光合参数的测定

净光合速率、气孔导度、细胞间隙CO<sub>2</sub>浓度和蒸腾速率等光合参数采用英国PP System公司的Ciras-2型光合测定系统测定。测定条件: CO<sub>2</sub>浓度360  $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ 、湿度80%,光照强度1 000  $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,温度25 °C。每个处理测定5个重复。

## 2.9 统计分析

两个处理实验数据统计分析用成组数据*t*检验,分析过程用Excel中的*t*-test运算函数。与对照组

数据相比,处理组数据上标注“\*”号表示差异显著,标注“ns”表示差异不显著。

## 实验结果

### 1 磁化水处理对小麦种子萌发的影响

水是种子萌发的第一要素,只有吸水后,种子细胞才能活化,恢复分裂能力,快速生根发芽。种子萌发的快慢与种子的吸水速度及水的物理化学性质密切相关,如果水经磁化后物理化学性质发生改变,将会影响种子细胞的活性,在种子发芽力和种子活力方面呈现出生物学效应。小麦种子发芽较快,70%左右的种子在25 °C条件下24 h内发芽,对外界环境的变化也比较敏感。但表1结果显示,磁化水处理的小麦种子发芽率、发芽势、发芽指数、活力指数、淀粉酶活性等反应种子发芽力和种子生活力的重要参数与对照相比差异均不显著( $P>0.05$ ),说明磁化水不具有促进小麦种子萌发和早期生长的生物学效应。李鹤龄(1997)也发现,磁化水并不能提高小麦、啤酒大麦和糜子等种子的发芽率。但是更多的实验认为磁化水具有提高发芽率和种子生活力的作用。陈胜文等(2008)的数据显示,磁化水处理的番茄种子发芽率比对照提高了8%,发芽指数提高了6%,并使番茄种子淀粉酶活性提高了35%。用磁化水浸泡甜玉米种子比用普通水浸种的发芽率高23%,发芽势高30%,活力指数高30%(王建林等2011)。

### 2 磁化水处理对小麦幼苗生长的影响

为观察磁化水对小麦生长的影响,将小麦从催芽开始共培养了4周,整个培养过程中均未发现磁化水促进小麦幼苗生长的效应。表2结果显示,

表1 磁化水处理对小麦种子萌发参数的影响

Table 1 Effect of magnetized water treatments on the germination index of wheat seeds

处理	发芽率/%	发芽势/%	发芽指数	活力指数	淀粉酶活性/ $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$
对照(CK)	90.6±3.7	89.2±3.5	218.9±11.2	35.9±2.5	1.67±0.09
磁化水(MW)	88.6±2.3 <sup>ns</sup>	87.4±2.8 <sup>ns</sup>	215.6±7.3 <sup>ns</sup>	36.4±2.6 <sup>ns</sup>	1.61±0.05 <sup>ns</sup>

表2 磁化水处理对小麦幼苗生长的影响

Table 2 Effect of magnetized water treatments on the growth of wheat seedlings

处理	苗高/cm	根长/cm	地上部鲜重/g	根鲜重/g
对照(CK)	31.8±3.5	20.7±2.2	0.788±0.100	0.353±0.038
磁化水(MW)	29.5±2.7 <sup>ns</sup>	21.1±3.2 <sup>ns</sup>	0.764±0.094 <sup>ns</sup>	0.347±0.029 <sup>ns</sup>



磁化水处理小麦幼苗的苗高, 根长、地上部鲜重、根鲜重等生长参数与对照相比均无明显差异 ( $P>0.05$ ), 说明磁化水不影响小麦幼苗的生长。与本文的结果相反, Hozayn和Qados (2010)用磁化水培养小麦55 d后发现, 小麦幼苗高度比对照增加16.2%, 每个分蘖小麦的鲜重增加了44.1%。陈胜文等(2008)研究发现磁化水培养的番茄幼苗株高比对照高12.1%, 植株干重比对照约增加20.9%。刘璇等(2008)研究结果则显示, 磁化水培养的玉米鲜重是对照的169.6%。这些报道均认为磁化水可以非常显著地促进作物幼苗生长。

### 3 磁化水处理对小麦叶片水分状况的影响

水是作物赖以生存的物质基础, 很多报道认为磁化水可以促进水和养分输送能力, 因而可能对植物体内水分含量和细胞吸水能力产生显著影响。但本文结果显示, 磁化水处理小麦叶片含水量和细胞汁液渗透势与对照叶片相比并无显著差异 ( $P>0.05$ ), 说明叶片细胞的水分状况和吸水能力不受磁化水影响(表3)。Hozayn和Qados (2010)用磁化水培养小麦55 d后, 也未发现小麦含水量的变化。渗透势与细胞可溶性成分的总浓度相关, 说明磁化水处理并没有改变小麦叶片可溶性组分的总浓度 ( $P>0.05$ )。

表3 磁化水处理对小麦叶片水分状况的影响

Table 3 Effect of magnetized water treatments on water condition of wheat leaves

处理	含水量/%	细胞汁液浓度/ mmol·L <sup>-1</sup>	细胞汁液渗透势/MPa
对照(CK)	76.3±2.5	770.7±34.2	-1.852±0.099
磁化水(MW)	76.9±2.7 <sup>ns</sup>	764.3±40.8 <sup>ns</sup>	-1.868±0.083 <sup>ns</sup>

### 4 磁化水处理对小麦幼苗叶片可溶性蛋白质和可溶性糖含量的影响

蛋白质和糖是植物体内最重要的两类有机物质, 代谢活跃的叶片细胞中往往含有更多的蛋白质, 而光合能力强的叶片中可溶性糖含量往往较高。表4结果显示: 磁化水处理的小麦叶片可溶性蛋白质和可溶性糖含量与对照相比均无显著差异 ( $P>0.05$ )。但有很多文献报道, 磁化水处理可以显著提高种子或幼苗体内可溶性蛋白和可溶性糖含量(曹宏等1999; 陈胜文等2008)。何兴华等(2003)

表4 磁化水处理对小麦叶片可溶性蛋白质和可溶性糖含量的影响

Table 4 Effect of magnetized water treatments on soluble protein and sugar contents in wheat leaves

处理	可溶性蛋白含量/ mg·g <sup>-1</sup> (FW)	可溶性糖含量/ μmol·g <sup>-1</sup> (FW)
对照(CK)	5.32±0.27	26.61±1.85
磁化水(MW)	5.50±0.30 <sup>ns</sup>	24.63±2.53 <sup>ns</sup>

的实验结果则发现并不是所有的磁化水都具有这种效应, 仅当水以1 m·s<sup>-1</sup>的速度流经0.2 T和0.4 T磁场时, 磁化水才能提高小麦和玉米幼苗体内的可溶性糖含量。

### 5 磁化水处理对小麦幼苗叶片光合功能的影响

#### 5.1 磁化水处理对小麦幼苗叶片光合色素含量的影响

光合色素含量是反映叶片功能的重要指标, 并对各种环境变化比较敏感。本文结果显示, 磁化水并不能显著增加小麦叶片叶绿素和类胡萝卜素含量(图1) ( $P>0.05$ )。但有文献报道, 磁化水可以显著提高小麦和玉米叶片的叶绿素a和叶绿素b含量(何兴华等2003)。还有报道发现, 磁化水处理可以显著增加小麦叶片的叶绿素a含量, 而叶绿素b和类胡萝卜素含量变化不显著(Hozayn和Qados 2010)。

#### 5.2 磁化水处理对小麦幼苗叶片光合参数的影响

作物生长的快慢与叶片的光合功能密切相关,

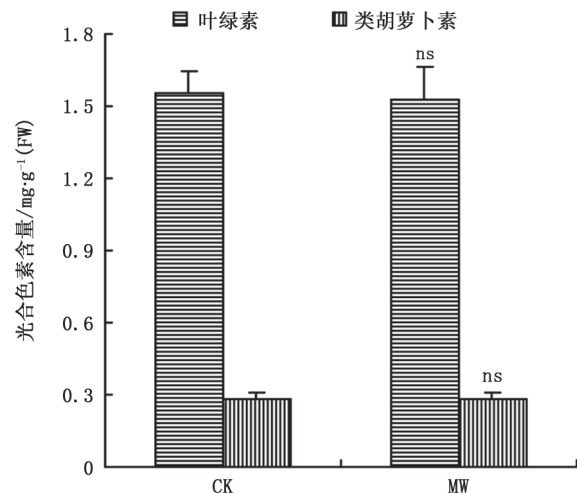


图1 磁化水处理对小麦叶片光合色素含量的影响  
Fig.1 Effect of magnetized water treatments on pigment contents in wheat leaves

表5结果显示, 磁化水处理与对照小麦叶片的光合速率差异不显著( $P>0.05$ ), 这可能是磁化水并不能促进小麦幼苗生长的重要原因。同时, 叶片的气孔导度、细胞间隙 $\text{CO}_2$ 浓度和蒸腾速率也均无显著变化( $P>0.05$ )。说明磁化水处理并未改变叶片的气孔密度和气孔开度, 也未改变叶面水分子的蒸发速率。王文明等(2010)则发现用磁化水滴灌枣树后, 枣树的光合速率和蒸腾速率显著下降, 但提高了枣树在夏季“午休”时的光合速率。

### 5.3 磁化水处理对小麦幼苗叶片叶绿素荧光参数的影响

叶绿素荧光技术是探测叶片光合作用的快

速、灵敏、无损伤的探针, 可以灵敏检测激发能的传递、光系统原初光化学反应、电子传递及光合碳同化效率等各个光合过程以及光合结构的状态, 在不同植物学分支科学和农学研究中广泛应用(Strasser等2000)。其中, 快速叶绿素荧光诱导动力学曲线主要反映PSII的原初光化学反应及光合机构电子传递状态等过程的变化。图2结果显示, 磁化水处理的小麦叶片叶绿素荧光诱导曲线与对照曲线的特征相似。说明磁化水处理并未显著影响PSII光化学反应过程。

叶绿素荧光动力学曲线中包含非常丰富的光合信息, 可以解析出50多个叶绿素荧光参数, 这些

表5 磁化水处理对小麦幼苗叶片光合参数的影响

Table 5 Effect of magnetized water treatments on photosynthetic indexes of wheat leaves

处理	净光合速率/ $\mu\text{mol}(\text{CO}_2)\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	气孔导度/ $\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	细胞间隙 $\text{CO}_2$ 浓度/ $\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$	蒸腾速率/ $\text{mmol}(\text{H}_2\text{O})\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$
对照(CK)	10.94±0.81	0.788±0.100	287.0±6.6	0.353±0.038
磁化水(MW)	10.26±0.62 <sup>ns</sup>	0.764±0.094 <sup>ns</sup>	271.7±14.5 <sup>ns</sup>	0.347±0.029 <sup>ns</sup>

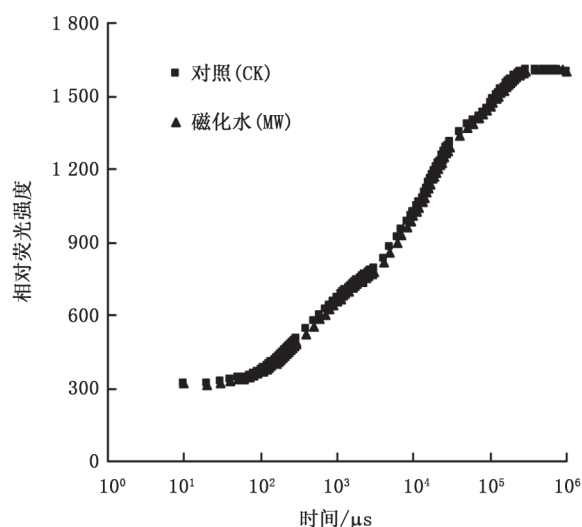


图2 磁化水处理对小麦叶片叶绿素荧光动力学曲线的影响

Fig.2 Effect of magnetized water treatments on the chlorophyll fluorescence induction curve of wheat leaves

荧光参数可以灵敏反映内外环境对叶片光合功能的影响。为便于观察处理与对照在荧光参数方面的差异, 常以对照荧光参数为1, 将处理荧光参数绘制成雷达图(图3)。雷达图结果显示, 磁化水处理的小麦 $T_{im}$ 、 $PI_{abs/cso/csm}$ 、 $SFI$ 、 $S_m$ 稍高于对照, 而

$dV/dt_0$ 、 $dVG/dt_0$ 稍低于对照。这些参数表示磁化水处理小麦叶片的PSII光化学活性稍高于对照, 但统计结果显示, 两个处理差异并不显著( $P>0.05$ )。虽然叶绿素荧光参数对外界环境比较敏感, 但磁化水对叶绿素荧光参数的影响还未见报道。

## 讨 论

磁化水作为一种简易、经济、无污染且能显著促进作物生长、提高肥效和增加产量的技术, 已经研究了50余年, 但是在生产上几乎没有推广和应用, 说明磁化水的生物学效应存在着不确定性。我们通过多次反复实验, 并未发现磁化水对小麦种子萌发和幼苗生长具有促进作用。

磁化水对小麦种子萌发和幼苗生长无促进作用的根本原因可能是: 水不能被磁化。这一根本性的问题一直存在激烈争议。如果水不能被磁化, 磁化水的特性及其生物学效应也就失去了理论基础。质疑者认为纯水是逆磁体, 磁导率很小; 即使水在外磁场作用下产生负磁化强度, 但当外磁场一经撤消, 负磁化强度会以光的速度迅速消失(伏尔更斯坦1985; 李鹤龄1997), 用最灵敏的高斯计也

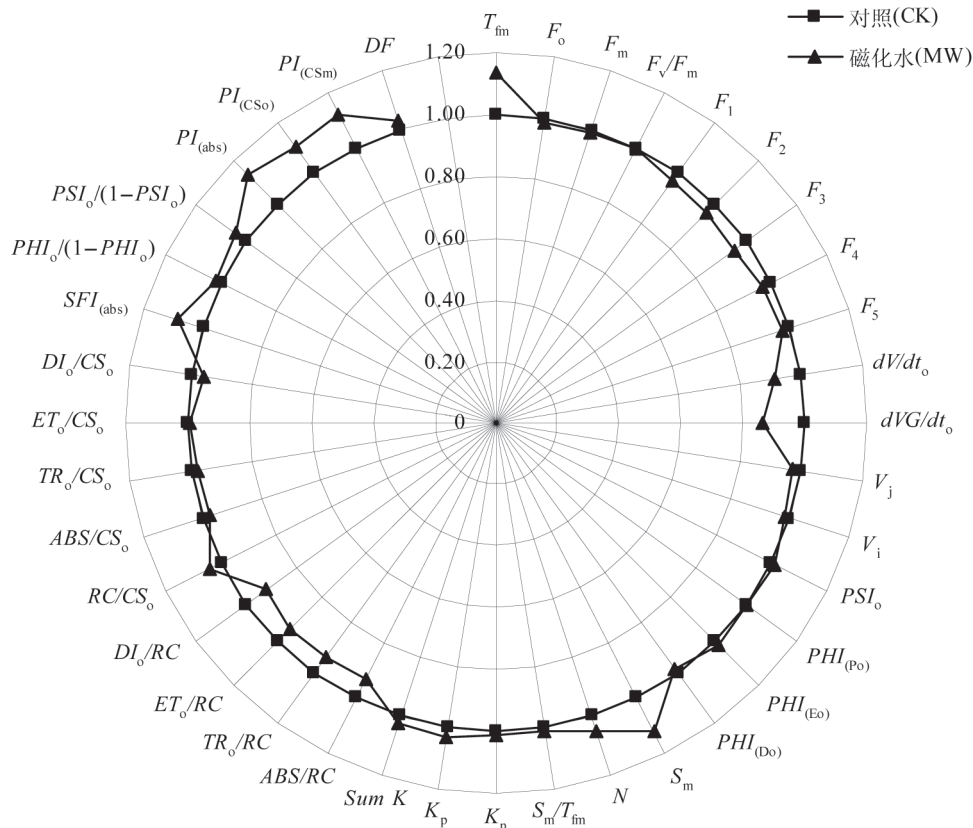


图3 磁化水处理小麦与对照小麦叶片叶绿素荧光参数雷达图

Fig.3 Radar plot of fluorescence data of magnetized water treated and control wheat leaves

$T_m$ : 暗适应后从照光到达最大荧光所需的时间;  $F_0$ : 暗适应后的最小荧光强度;  $F_m$ : 暗适应后的最大荧光强度;  $F_v/F_m=(F_m-F_0)/F_m$ : PSII 最大光化学效率;  $F_1$ 、 $F_2$ 、 $F_3$ 、 $F_4$ 、 $F_5$ : 分别表示50  $\mu$ s、100  $\mu$ s、300  $\mu$ s、2 ms、30 ms时的荧光, 即O/L/K/J/I相的荧光强度;  $dV/dt_0$ : 300  $\mu$ s时光反应中心关闭净速率;  $dVG/dt_0$ : 100  $\mu$ s时光反应中心关闭净速率;  $V_j$ : 在J相时的相对可变荧光强度, 表示电子经过 $Q_A$ 时耗散的能量占反应中心捕获能量的比例;  $V_i$ : 在I相时的相对可变荧光强度, 表示电子经过 $Q_B$ 时耗散的能量占反应中心捕获能量的比例;  $PSII_0=1-V_j$ ; 即 $\psi_0$ , 表示电子经过 $Q_A$ 时越过 $Q_A$ 的能量占反应中心捕获能量的比例;  $PHI_{(p_0)}$ 、 $PHI_{(E_0)}$ 和 $PHI_{(D_0)}$ : 分别表示PSII最大光化学效率( $\phi_{p_0}$ )、吸收的光能用于光化学反应的效率( $\phi_{E_0}$ )和用于热耗散的量子比率( $\phi_{D_0}$ );  $S_m=Area/F_v$ : 指标准化面积, 表示质体醌库大小;  $N$ : 从开始照光到到达 $F_m$ 的时间段内 $Q_A$ 被还原的次数;  $S_m/T_m$ : 质体醌库还原速率;  $K_n$ : 非光化学反应的速率常数;  $K_p$ : 光化学反应的速率常数;  $Sum K=K_p+K_n$ : 总速率常数;  $ABS/RC$ 、 $TR_0/RC$ 、 $ET_0/RC$ 和 $DI_0/RC$ : 分别表示单位反应中心复合吸收的光量、被反应中心捕获的光量、用于电子传递的能量和以热能形式耗散的能量;  $RC/CS_0$ 、 $ABS/CS_0$ 、 $TR_0/CS_0$ 、 $ET_0/CS_0$ 和 $DI_0/CS_0$ : 分别表示单位激发态面积反应中心数目、吸收的光量、被反应中心捕获的光量、用于电子传递的能量和以热能形式耗散的能量;  $SFI_{(abs)}$ : 结构功能指数(structure and function index of plants);  $PHI_0/(1-PHI_0)=TR_0/DI_0$ : 表示捕获的光能与耗散能量的比例;  $PSII_0/(1-PSII_0)=(1-V_j)/V_j$ : 表示电子经过 $Q_A$ 时越过 $Q_A$ 的能量与耗散能量的比值;  $PI_{(ABS)}$ 、 $PI_{(CS_0)}$ 和 $PI_{(CS_m)}$ : 分别表示以吸收光能(ABS)、基础荧光( $F_0$ )和最大荧光( $F_m$ )为基础的性能指数(performance index of plants);  $DF$ : 表示光合驱动力(drive force for photosynthesis)。相关参数的推导、运算及详细生理意义参见李鹏民等(2005)和Strasse等(2000)文献。

无法测出磁化水的磁感应强度是质疑者最直接的证据。虽然磁化水的去垢作用得到公认, 但这是因为水中混有铁磁物质, 这些物质可以被磁化, 彼此粘结成结晶核, 使水中的饱和碳酸盐、硫酸盐和硅酸盐等在容器内部结晶, 而不在管壁上结晶, 从而使管壁上的沉淀物相应减少(Alimi等2007), 而纯水是不能被磁化的。

第二个原因是水经磁场处理后的物理化学性

质变化不规律, 性能不稳定。虽然磁化水支持者认为水流经磁场后, 物理化学性质发生了改变, 但也承认磁化水并不具有磁性, 关于磁场对水作用的机理目前尚未解决, 也很难获得均一、稳定的磁化水(Ibrahim 2006)。物理学文献显示, 不同的磁化器(主要有磁化杯、磁化器、电磁场等3种)、磁感应强度、磁化时间、通过磁场的次数、磁化水的放置时间及不同水质产生的磁化水的物理化



学性质均不相同(Chibowski等2003)。相关结果甚至相互矛盾,如:对于去垢作用, Polar公司认为水通过磁处理器的最佳流速为 $1.5\sim 3.0\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,相应的磁感应强度应达到 $0.6\sim 0.8\text{ T}$ (罗大兵1999),而有的文献则认为 $0.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的流速磁化效果最好(韩建伟和李永明2009)。而对于静态磁场,水必须切割磁场才能被磁化,搅拌磁化效果更好(丁振瑞等2010),但很多用磁化杯磁化水的相关实验并没有搅拌。水经磁场处理后的pH有的升高(韩建伟和李永明2009),也有的降低(朱元保等1999);pH变化幅度仅为 $0.01\sim 0.30$ ,而大部分作物最适pH大都在 $6.0\sim 7.0$ ,且细胞缓冲能力很强,不一定会产生显著的生物学效应。其他特性变化幅度也很小,如电导率变化不超过10%; $60\text{ g}$ 水 $1\text{ h}$ 的挥发量的差别仅为数毫克;水的密度变化仅为几个微克( $\mu\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )(朱元保等1999)。还有文献报道,水的磁化效果具有一定的记忆性,在完全静止的水中,磁处理效果大约能保持 $48\text{ h}$ ,而在剧烈搅拌、鼓泡或湍流作用下则只能保持 $8\text{ h}$ (Coey和Cass 2000)。另外,很多支持磁化水生物学效应的文献认为,水经磁化后渗透力、疏水性、溶解度均增强,水的黏度和表面张力均降低(Pang和Deng 2008; Szczes等2011),但物理学数据却显示水经不同磁化条件磁化后,其物理化学性质呈现不规则的多极性变化(丁振瑞等2010),这种多级性变化对不同植物有利、有害甚至无效的情况均可能存在。但学术文献中鲜见磁化水负效应报道,这种现象不符合实际。如果磁化水的生物效应确切的话,未观察到磁化水对小麦的生物学效应的重要原因可能是:本文磁化的是去离子水,因为有文献报道冷开水、自来水、去离子水在相同磁化条件下的磁化效果显著不同(朱元保等1999; Ibrahim 2006; 丁振瑞等2010),去离子水的磁化效果最弱。

磁化水对植物的生物学效应同样存在不确定性。相关文献中磁化水促进种子萌发的报道最多,如王俊花等(2005)发现用 $0.2\sim 0.5\text{ T}$ 磁感应强度处理的磁化水均能促进黄瓜种子发芽,其中 $0.4\text{ T}$ 效果最好。肖望等(2003)则发现促进西瓜种子萌发的最佳磁感应强度是 $0.08\text{ T}$ 。但也有很多文献发现磁化水不能提高多种植物种子的发芽率(李鹤龄1997; 陈延和赵梁军2000),本文实验中也未观察到

磁化水对小麦种子萌发的促进作用,这些实验结果的差异是否与磁感应强度有关需要进一步验证。促进生长和代谢的水磁化条件也不一致。大部分文献选择的是单一磁强, $0.05\sim 0.5\text{ T}$ 对幼苗生长均有促进作用(陈胜文等2008; 刘璇等2008)。而何兴华等(2003)发现水的流速和磁感应强度均影响磁化水的生物学效应,当水以 $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的流速流经 $0.2\text{ T}$ 的磁场时,磁化水不影响小麦和玉米种子的呼吸,其他流速则促进种子呼吸;这两种作物及同种作物的其他生理指标对磁感应强度和流速的敏感性又各不相同。对静态磁化而言,水的磁化时间也影响其生物学效应,磁化 $0.5\text{ h}$ 的水对大豆、玉米、水稻的催芽效果最好,而磁化 $1\text{ h}$ 促进根生长的效果最好(周先容等2008)。与上述结果不同,我们用 $2\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的流速流经 $0.5\text{ T}$ 磁场的水培养小麦近4周,并未观察到磁化水对小麦幼苗生长的促进作用。由于各种文献的磁化条件均不相同,磁化水促生长效应的可靠性很难进行比较和判断。

磁化水增产的报道也较多,分别可以使萝卜、黄瓜和油菜增产48%、57%和60%,大豆、西红柿、玉米和小麦分别增产48.1%、20%、34%和18.9%(聂继云和董雅凤1998),还能增加小麦秸秆产量约30%(Hozayn和Qados 2010)。不同磁感应强度及磁化次数条件的磁化水增产效果也有差异(曹宏和赵国林1998; 陆宝祖2007)。上述文献认为:磁化水具有较强的渗透性和对可溶性无机盐的溶解能力,能使溶于水中的营养组分较易较快地运输到植物的根茎叶上,从而加快植物的光合作用和干物质的积累,达到增产效果(Ueno和Shigemitsu 2007)。但这种笼统的解释缺乏科学依据,文献仅提供了产量数据且大多不符合统计学要求,降低了实验结果的可靠性。作物生长和增产的物质基础是光合作用,相关文献均未测定作物的光合特征,只有少数文献报道了磁化水可以增加光合色素含量(何兴华等2003; Hozayn和Qados 2010)。我们详细分析了磁化水处理小麦的叶片光合作用光反应和暗反应过程,均未观察到磁化水对小麦光合的促进作用。本文测定结果还显示:磁化水并不影响小麦叶片的细胞汁液浓度、叶片细胞的水分状况(表3)以及叶片可溶性糖和蛋白质含量等重要生理参数(表4)。由于磁化水性质

的不确定和不稳定,磁化水对植物生理特性和产量的影响也不易判断。

综上所述,磁化水磁化机制还不清楚,磁化水的特性还不稳定,磁化水的性质并不稳定,相关报道甚至相互矛盾;同时,磁化水生物学效应相关报道的水磁化条件各异,实验结果缺乏可比性,大量存在着实验内容不系统、数据不可靠、论证不充分等问题。由此可以看出,磁化水的生物学效应并不确定,要在农业上广泛推广磁化水,还需要谨慎的、严格的、全面的论证,避免得出错误结论。

### 参考文献

- 卜东升,奉文贵,蔡利华,周龙(2010). 磁化水膜下滴灌对新疆棉田土壤脱盐效果的影响. 农业工程学报, 26 (增刊2): 163~165
- 曹宏,赵国林(1998). 磁化水浸种对旱地小麦和玉米生长发育及产量的影响. 中国农学通报, 14 (6): 14~16
- 曹宏,赵国林,张承烈(1999). 生物磁学在农作物生产中的应用. 植物生理学通讯, 35 (2): 163~168
- 陈胜文,刘士哲,肖英银,黄亮华(2008). 磁化水对番茄种子萌发及幼苗生长的影响. 广西园艺, 19 (3): 3~5
- 陈延,赵梁军(2000). 赤霉素和磁化水对仙客来种子萌发和幼苗发育的影响. 北京园林, 16 (3): 15~21
- 丁振瑞,赵亚军,段书兴,陈凤玲,梁伟华,陈金忠(2010). 水在搅拌状态下磁化致其物理性质变化的研究. 河北农业大学学报, 33 (4): 115~118
- 伏尔更斯坦 MV著,龚少明译(1985). 现代物理学与生物学概论. 上海: 复旦大学出版社, 150~154
- 韩建伟,李永明(2009). 磁化水的物理化学性质及机理初探. 才智, 28: 47
- 何兴华,程昌明,陈杰(2003). 磁化水对作物种子的生物效应研究. 西南农业大学学报, 25 (2): 120~122
- 李鹤龄(1997). “磁化水”质疑. 宁夏大学学报(自然科学版), 18 (3): 285~288
- 李鹏民,高辉远,Strasse RJ (2005). 快速叶绿素荧光诱导动力学分析在光合作用研究中的应用. 植物生理与分子生物学学报, 31 (6): 559~566
- 刘璇,张婷婷,黄馨瑶,侯元生,黄慧哲(2008). 磁化水对玉米耐受重金属镉的影响. 厦门大学学报(自然科学版), 47 (增刊2): 278~281
- 陆宝祖(2007). 磁化水灌溉对棉花增产的效应研究. 安徽农学通报, 13 (7): 132
- 罗大兵(1999). 水的磁法处理技术——赴挪威考察见闻. 工业水处理, 19 (2): 43~44
- 聂继云,董雅凤(1998). 磁化水与农作物增产. 植物杂志, 6: 24
- 王建林,陆翠珍,陈汀汀,周桂珍(2011). 磁场及磁水对超甜玉米种子萌芽的影响. 安徽农业科学, 39 (3): 1265, 1267
- 王俊花,邵林生,王瑞钢,郝军正(2005). 磁化水对黄瓜发芽的影响. 种子世界, 12: 24~25
- 王文明,姜益娟,郑德明,王家强,柳维扬,刘国东(2010). 磁化水滴灌对枣树光合作用与蒸腾作用的影响. 新疆农业科学, 47 (12): 2421~2425
- 肖望,叶素琴,王玉玲,关志琼(2003). 磁化水浸种对西瓜种子萌发及幼苗生理的影响. 生物技术, 13 (6): 39~41
- 谢君(2010). 棉田磁化水滴灌对土壤脱盐碱效果研究. 新疆农垦科技, (6): 70~71
- 张其德(1985). 测定叶绿素的几种方法. 植物学通报, 3 (5): 60~64
- 张志良,瞿伟菁(2004). 植物生理学实验指导(第3版). 北京: 高等教育出版社, 39~41
- 赵世杰,许长城,邹琦,孟庆伟(1994). 植物组织中丙二醛测定方法的改进. 植物生理学通讯, 30: 207~210
- 周先容,何士敏,向邓云(2008). 磁化水处理大豆、玉米和水稻种子的生物学效应. 安徽农业科学, 36 (17): 7113~7115
- 朱元保,颜流水,曹祉祥,文陵飞,陈宗璋(1999). 磁化水的物理化学性能. 湖南大学学报(自然科学版), 26 (1): 21~25
- Alimi F, Tlili M, Amor MB, Gabrielli C, Maurin G (2007). Influence of magnetic field on calcium carbonate precipitation. Desalination, 206: 163~168
- Bradford MM (1976). A rapid and sensitive method for the quantization of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Anal Biochem, 72: 248~254
- Cai R, Yang HW, He JS, Zhu WP (2009). The effects of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds. J Mol Struct, 938 (1-3): 15~19
- Chang KT, Weng CI (2006). The effect of an external magnetic field on the structure of liquid water using molecular dynamics simulation. J Appl Phys, 100: 043917~043922
- Chibowski E, Hotysz L, Szczes A (2003). Time dependent changes in zeta potential of freshly precipitated calcium carbonate. Colloids Surfaces A: Physicochem Eng Aspects, 222: 41~54
- Coe JMD, Cass S (2000). Magnetic water treatment. J Magn Magn Mater, 209: 71~74
- Colic M, Morse D (1999). The elusive mechanism of the magnetic ‘memory’ of water. Colloid Surface A: Physicochem Eng Aspects, 154 (1-2): 167~174
- Hozayn M, Qados AMSA (2010). Magnetic water application for improving wheat (*Triticum aestivum* L.) crop production. Agr Biol J N Am, 1 (4): 677~682
- Ibrahim IH (2006). Biophysical properties of magnetized distilled water. Egypt J Sol, 29 (2): 363~369
- Nasher SH (2008). The effect of magnetic water on growth of chickpea seeds. Eng Tech, 26 (9): 4~8
- Pang XF, Deng B (2008). The changes of macroscopic features and microscopic structures of water under influence of magnetic field. Physica B, 403: 3571~3577
- Stephen L (2011). Magnetic water treatment and pseudoscience. <http://www.chem1.com/CQ/magscams.html>
- Strasser RJ, Srivastava A, Tsimilli-Michael M (2000). The fluorescence transient as a tool to characterise and screen photosynthetic samples. In: Yunus M, Pathre U, Mohanty E (eds). Probing Photosynthesis: Mechanisms, Regulation and Adaptation. London: Taylor & Francis, 445~483
- Szczes A, Chibowski E, Hotysz L, Rafalski P (2011). Effects of static magnetic field on water at kinetic condition. Chem Eng Proc, 50 (1): 124~127
- Ueno S, Shigemitsu T (2007). Biological effects of static magnetic fields. In: Barnes FS, Greenebaum B (eds). Bioengineering and Biophysical Aspects of Electromagnetic Fields. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 204~244
- Vermeiren T (1945). Magnetic water treatment device. Belgian Patent. 460560, 489479
- Wikipedia (2011). Magnetic water treatment. [http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic\\_water\\_treatment](http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_water_treatment)