

# 干旱对小麦幼苗 Cu、Mn 含量的影响及其机理研究

谭晓荣,戴媛,伏毅

(河南工业大学生物工程学院,河南郑州450001)

**摘要:**采用液体培养法,研究了不同干旱处理方法,即每天间断干旱1 h、2 h、3 h、4 h和连续干旱24 h,对小麦幼苗两种微量元素Cu、Mn的吸收、分布及叶绿素含量的影响。结果表明:间断干旱1 h、2 h处理,小麦幼苗根、茎、叶的Cu、Mn含量及叶绿素含量均有所增加,间断干旱2 h处理增加更显著;间断干旱3 h、4 h和连续干旱处理均使小麦幼苗根茎叶中Cu、Mn含量及叶绿素含量降低,连续干旱处理降低最显著。随着干旱程度的增加,小麦幼苗Cu、Mn含量呈“钟型曲线”变化,即先随干旱程度增加而增加,当干旱达到一定程度后随干旱程度增加而减少。小麦幼苗Cu、Mn含量和叶绿素含量变化趋势一致,三者高度相关。说明适度的干旱处理可增加小麦幼苗中Cu、Mn两种微量元素的含量,而过度干旱则导致小麦幼苗中Cu、Mn含量降低。

**关键词:**干旱;小麦幼苗;铜;锰;叶绿素

**中图分类号:** S512.101 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2010)01-0152-08

干旱是植物最易遭受的逆境胁迫之一,也是限制农作物产量的重要因素。对于干旱损伤机制的研究以及在此基础上通过提高作物的抗旱能力来增加粮食产量、节约资源和改善环境是我国农业持续高效发展的重大课题。干旱对植物代谢产生多方面影响,如生长受抑,含水量下降,光合、呼吸速率下降,多种酶活性改变,生物大分子损伤,蛋白质降解,细胞内容物大量外渗等<sup>[1]</sup>,这些过程都与金属离子有着不可分割的密切关系<sup>[2]</sup>,因此研究干旱条件下金属离子的吸收转运与分布,对于研究植物干旱损伤机制及金属离子在干旱损伤中的作用,提高作物的抗逆性具有重要的意义。关于干旱影响金属离子吸收分布方面的直接研究较少,主要是其它方面研究的附带结果,也没有明确的结论,多数研究结果显示,在干旱条件下植物体内的金属元素含量下降,少数报道显示金属元素含量上升<sup>[3~7]</sup>。如干旱胁迫下,烤烟烟株体内的P、K、Ca、Mg、Fe、Mn含量减少<sup>[3]</sup>;汪洪<sup>[4]</sup>等研究证明,土壤水分供应不足,显著降低了玉米植株各器官中Zn的吸收量;马文涛<sup>[5]</sup>等研究显示,不同干旱程度下甜橙、红橘和柚叶中Fe、Cu、B含量下降,红橘和柚叶中的Zn含量显著降低,只有甜橙叶中的Zn含量极显著地增加;张凯<sup>[6]</sup>等报道了一定缺水条件下比供水充足条件下的小麦籽粒中Zn、Cu含量低,Fe、Mn含量高;Lockett等报道一些野生水果中的微量元素含量在旱季高于雨季<sup>[7]</sup>。

小麦是我国的主要作物,铜、锰等微量元素是小麦生长所必需的,缺乏这些微量元素,将影响小麦的

生长及产量,对小麦籽粒的营养品质也有所影响<sup>[8]</sup>。铜、锰也是植物光合作用所需的营养元素,改变铜、锰的供应条件,植物光合作用将受到显著影响<sup>[9]</sup>。增加作物中的微量元素含量并通过食用富含矿物质元素的主食来解决人体矿物质元素缺乏是最经济有效的方法<sup>[10]</sup>。笔者推测前人关于干旱条件下金属离子含量变化研究结果不一致的原因是干旱程度不同,金属离子吸收随干旱程度增加呈“钟型曲线”变化,因此才会出现不同研究结果。为了验证这种推测正确与否,本研究选择小麦作为供试材料,Cu、Mn含量及叶绿素含量作为检测指标,采用不同干旱方式处理小麦幼苗,即模拟自然干旱情况的间断干旱和连续干旱处理,并与正常小麦幼苗比较,分析Cu、Mn在小麦幼苗干旱及复水过程中在各器官中的吸收、分布、转运情况及叶绿素含量变化,研究不同干旱程度对小麦两种微量元素及叶绿素含量的影响,并探讨通过适度干旱处理在不损伤植株的前提下增加小麦体内微量元素Cu、Mn含量的可能性。

## 1 材料与与方法

### 1.1 材料的培养与处理

小麦种子(郑麦-9023)经常规消毒、浸种、催芽后选发芽一致的种子均匀撒在纱网上,用Hoagland培养液,于容量为1400 mL(直径20 cm,高7 cm)的无色透明聚乙烯盆上自然光照培养,每盆约150粒种子,每4 d更换一次营养液,在整个培养期间使用加氧泵通入新鲜空气。

收稿日期:2009-01-11

基金项目:河南省教育厅自然科学计划项目(2006210002)

作者简介:谭晓荣(1972—),女,内蒙古乌市人,博士,副教授,从事植物逆境生理研究。E-mail:tanxr2000@yahoo.com.cn.

将 10 d 苗龄小麦幼苗分成 3 组,共 6 个处理:① 对照,营养液正常培养;② 间断干旱复水处理,有 4 种,分别为每天干旱 1 h、2 h、3 h 和 4 h,处理之后均复水;③ 连续干旱复水处理,正常培养至第 3 天连续干旱 24 h,第 4 天复水。干旱处理方式按照 Price 和 Hendry<sup>[11]</sup>的方法:将小麦幼苗从培养液中取出,置于空气中自然干旱(温度  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ,相对湿度 50% ~ 60%)。处理时间共 8 d,在处理 0、2、4、6、8 d 时取样测定各项指标。

## 1.2 指标测定

1.2.1 水势测定 采用小液流法测定水势<sup>[12]</sup>。水势计算方法参照范德霍夫(Van't Hoff)方程式<sup>[13]</sup>:  $\varphi_s = -8.32 \times (273 + t) \times C_s / 1000$ 。式中,  $\varphi_s$  为植物组织水势,  $t$  为试验温度,  $C_s$  为等渗溶液浓度。

1.2.2 Cu、Mn 含量测定 处理第 8 天取样,按文献[14]方法测定,略改动。将小麦幼苗分为根、茎、叶三部分,叶再分为 1 叶、2 叶、3 叶,用 18 M $\Omega$  去离子水洗净。于 105 $^\circ\text{C}$  杀青 0.5 h,再于 65 $^\circ\text{C}$  烘干 6 h。称取小麦幼苗各部分干样 0.3 g 左右置于 50 mL 烧杯中,加入 30 mL 消化液( $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4 = 4:1, \text{V/V}$ ),盖上表面皿,静置过夜。于电炉上加热进行消化,待白烟冒尽,溶液为淡黄色,蒸至近干,停止加热,补加硝酸 3 mL,微热溶解,冷却至室温后直接转移至 25 mL 容量瓶中,用 18 M $\Omega$  去离子水稀释定容,静置,

取上清液用原子吸收分光光度计(AA-6300,岛津)进行测定。

1.2.3 叶绿素含量测定 采用分光光度计法<sup>[15]</sup>测定叶绿素含量。

1.2.4 数据处理 试验重复 3 次,数据以平均值  $\pm$  SD 表示,所有处理与正常处理(对照)小麦进行比较,做  $t$ -检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同干旱处理方式对小麦幼苗叶和根水势的影响

为了检测不同干旱方式对小麦幼苗水分状况的影响,测定了不同处理条件下的水势变化(图 1)。在整个处理过程中,各种处理条件下叶与根水势均低于正常,间断干旱处理时间越长,小麦幼苗水势越低,干旱程度越大,各处理多数与对照差异达显著或极显著水平(表 1);连续干旱处理叶和根水势均迅速下降,叶水势下降至  $-0.76 \text{ MPa}$  ( $P < 0.01$ ),根下降至  $-1.24 \text{ MPa}$  ( $P < 0.01$ ),根下降幅度大于叶,复水后均有所回升,但仍低于其它处理。在处理结束后(第 8 天),连续干旱处理小麦幼苗水势最低,说明连续干旱处理对小麦幼苗水势影响大于间断干旱处理,即干旱程度大于间断干旱。

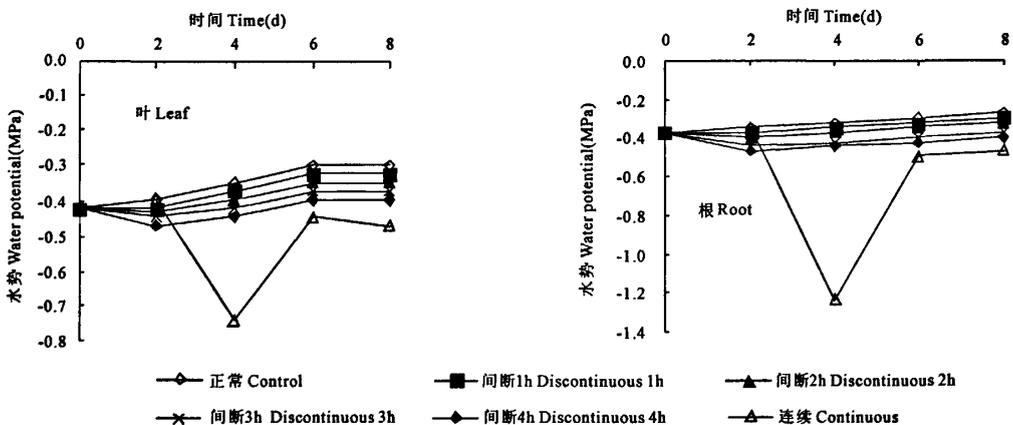


图 1 不同干旱处理方式对小麦幼苗叶和根水势的影响

Fig. 1 Effects of different drought treatments on water potential of wheat seedling leaves and roots

### 2.2 不同干旱处理方式对小麦幼苗 Cu、Mn 含量的影响

如图 2 所示,间断干旱 1 h、2 h 均使小麦幼苗一、二、三叶 Cu 含量升高,间断干旱 2 h 处理增量最多,分别达到对照的 137%、126%、123%。间断干旱 3 h、4 h 和连续干旱使小麦幼苗三片叶 Cu 含量均下

降,连续干旱处理下降最多,分别为对照的 79%、79%、81%。小麦幼苗三片叶 Mn 含量在不同处理方式下变化不一,间断干旱 1 h、2 h 使第一、二叶 Mn 含量增加,其中间断干旱 2 h 处理第二片叶 Mn 含量增加最多,为对照的 128%,间断干旱 3 h、4 h 和连续干旱使第一、二叶 Mn 含量减少,其中间断干旱 3

h 处理使第二片叶 Mn 含量下降最多,为对照水平的 80%。各种处理条件下第三片叶 Mn 含量均高于对照水平,间断干旱 2 h 最高,达到对照水平的 131%,连续干旱处理最低,为对照的 113%。小麦幼苗的三片叶中各金属元素含量的高低顺序如下: Mn, 1 叶

> 2 叶 > 3 叶; Cu, 2 叶 > 3 叶 > 1 叶; 同时测定的 Fe、Zn 含量则为, Fe(与 Mn 相同), 1 叶 > 2 叶 > 3 叶; Zn, 3 叶 > 2 叶 > 1 叶(与 Mn 相反)(另文发表), 反映出各元素间在叶中分布差异较大。

表 1 不同干旱处理与对照处理间水势差异显著性

Table 1 Significance of different drought treatments compared with control

时间 Time(d)	部位 Position	正常 - 1 h Control - 1 h	正常 - 2 h Control - 2 h	正常 - 3 h Control - 3 h	正常 - 4 h Control - 4 h	正常 - 连续 Control - Continuous
2	叶 Leaf	不显著 Not significant	**	不显著 Not significant	**	不显著 Not significant
	根 Root	**	*	**	*	不显著 Not significant
4	叶 Leaf	*	*	*	*	**
	根 Root	不显著 Not significant	**	*	**	**
6	叶 Leaf	不显著 Not significant	**	**	**	*
	根 Root	不显著 Not significant	*	**	**	**
8	叶 Leaf	不显著 Not significant	*	**	**	**
	根 Root	不显著 Not significant	*	**	*	**

注: \* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )。下表(图)同。

Note: \* and \*\* represent the significance of difference at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$  levels, respectively. There are the same in following table(Fig.).

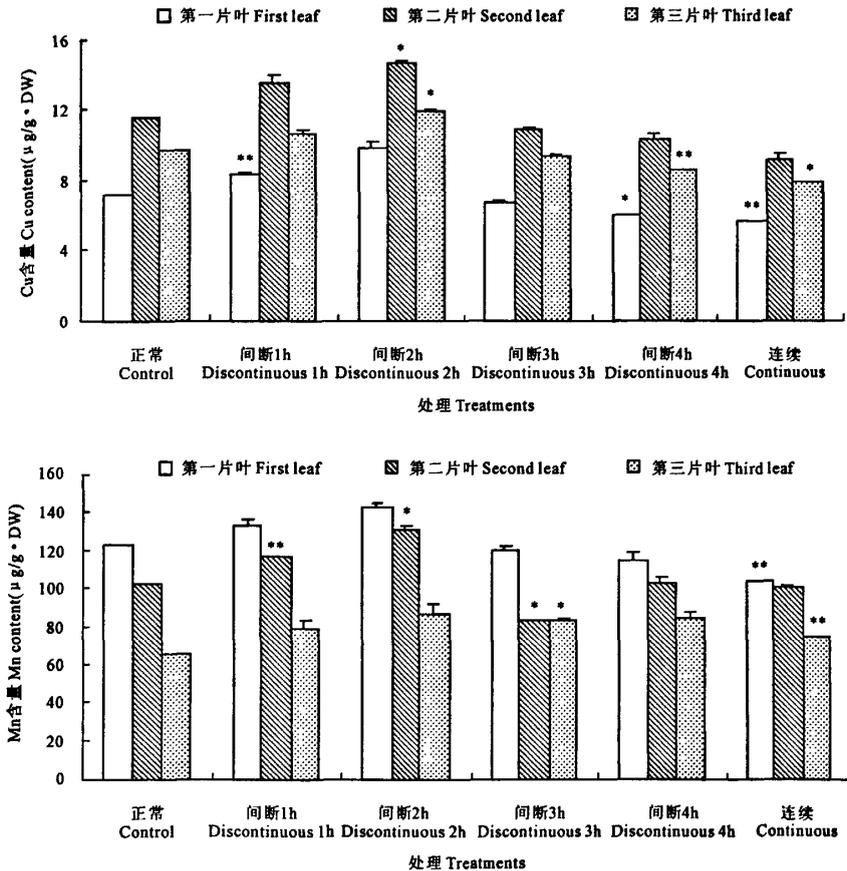


图 2 不同干旱处理方式对小麦幼苗叶 Cu、Mn 含量的影响

Fig. 2 Effects of different drought treatments on copper and manganese content of wheat seedling leaves

如图 3 所示,间断干旱 1 h、2 h 小麦茎和根 Cu、Mn 含量均高于对照,间断干旱 3 h、4 h 和连续干旱小麦茎和根 Cu、Mn 含量均低于对照。其中间断干旱 2 h 茎的 Cu、Mn 含量最高,为对照水平的 114%、120%,连续干旱使茎的 Cu、Mn 含量显著低于对照,分别是对照的 83%、70%;间断干旱 2 h 处理小麦幼苗根 Cu、Mn 含量显著高于对照,分别为对照的 120%、126%,连续干旱处理小麦幼苗根 Cu、Mn 含量显著降低,分别是对照的 65%、58%。

如图 4 所示,间断干旱 1 h、2 h 使小麦幼苗 Cu、Mn 总含量增加,间断干旱 3 h、4 h 和连续干旱使小麦幼苗 Cu、Mn 总含量降低。间断干旱 2 h 小麦幼苗 Cu、Mn 含量显著高于对照,分别是对照的 123%、124%,连续干旱处理使小麦幼苗 Cu、Mn 含量显著低于对照,都只有对照的 75%。所有处理中,间断干旱 2 h 第一叶 Cu 含量增加幅度最大,为对照的 137%,连续干旱处理根 Mn 含量降低最多,为对照

的 58%。

如图 5 所示,小麦幼苗第一片叶、茎、根和总 Cu、Mn 含量随着干旱程度的加剧而呈现出高度的相关性,相关系数分别达到 0.9477、0.9472、0.9596 和 0.9953,而在第二、三片叶中却没有相关性,说明小麦幼苗 Cu、Mn 的吸收及在第一片叶、茎、根中分布一致,但在二、三片叶中分布不一致,反映出两者的移动性差异,Cu 的移动性大于 Mn。

综上所述,小麦幼苗各部位和总 Cu、Mn 含量变化趋势非常相似,两者相关系数达 0.9953,但 Mn 总含量远远高于 Cu,约为后者的 13 倍,随着干旱程度增加,呈“钟型曲线”变化,即先随干旱程度增加而增加(间断干旱 1 h、2 h),到达最高点(间断干旱 2 h)后随干旱程度增加而降低(间断干旱 3 h、4 h 和连续干旱),除第三片叶 Mn 含量在所有处理条件下均高于对照外,其它处理均是间断干旱 1 h、2 h 高于对照,间断干旱 3 h、4 h 和连续干旱低于对照。

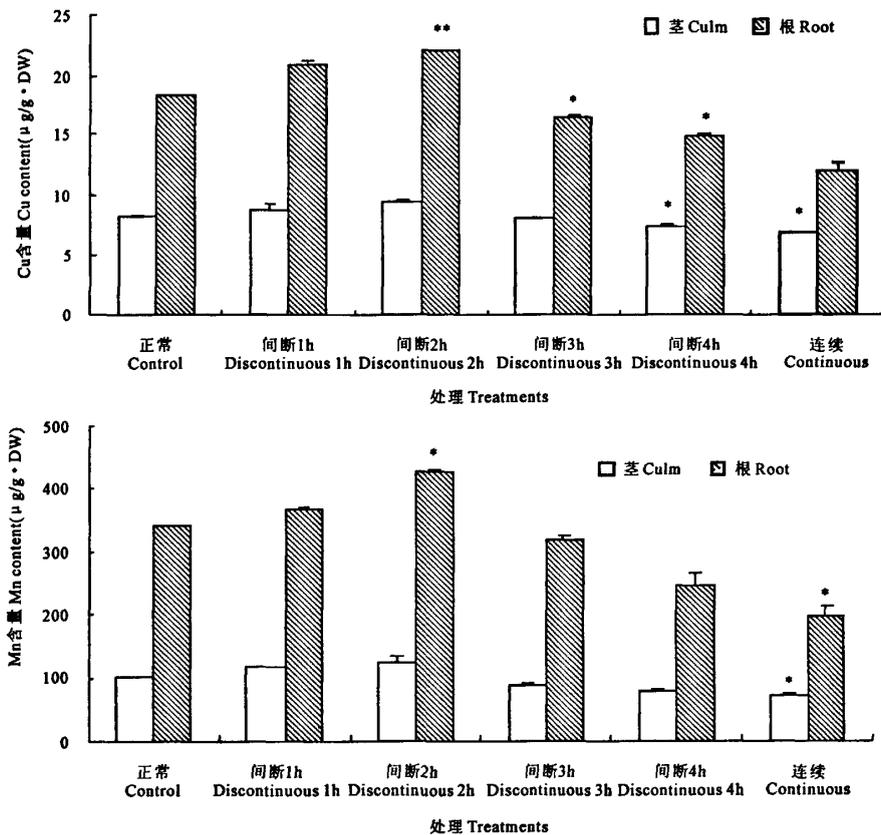


图 3 不同干旱处理方式对小麦幼苗茎和根 Cu、Mn 含量的影响

Fig. 3 Effects of different drought treatments on copper and manganese content of wheat seedling culms and roots

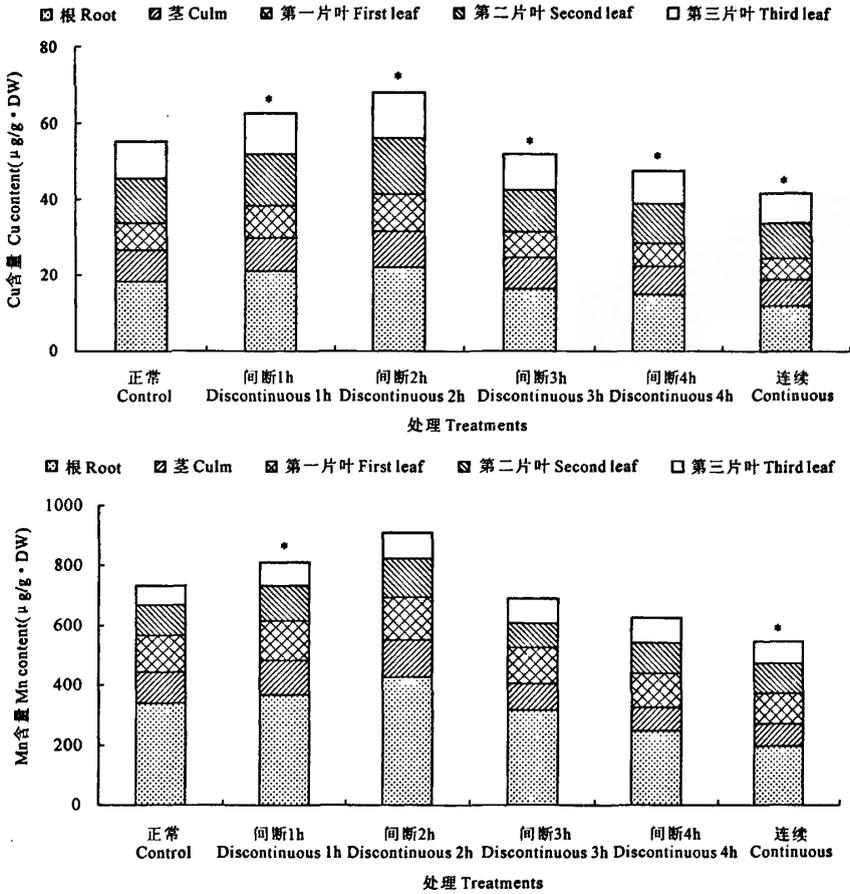


图 4 不同干旱处理方式对小麦幼苗 Cu、Mn 总含量的影响

Fig.4 Effects of different drought treatments on total content of copper and manganese in wheat seedlings

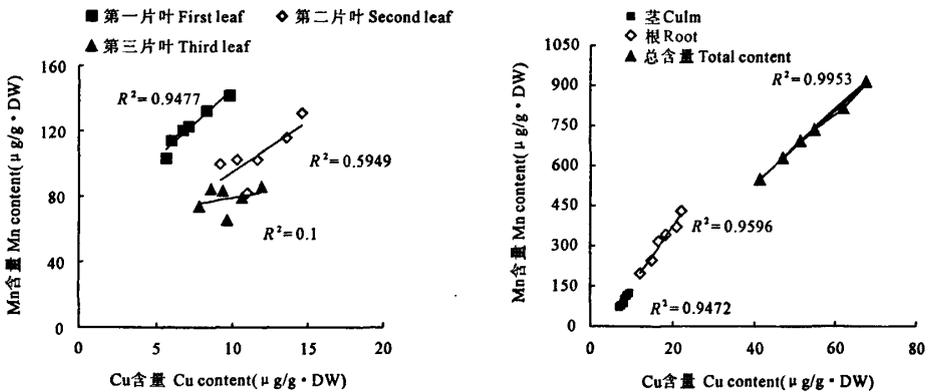


图 5 不同干旱处理小麦幼苗 Cu 含量与 Mn 含量的相关性

Fig.5 Cu content in relation to Mn content of wheat seedlings

2.3 不同干旱处理方式对小麦幼苗叶绿素含量的影响

由于 Cu 和 Mn 均与光合作用有着密切的关系，我们在实验中也同时测定了小麦幼苗的叶绿素含

量。如图 6 所示，在整个处理过程中，叶绿素 a、叶绿素 b 和类胡萝卜素含量变化趋势基本相同。随着处理时间的延长，间断干旱 1 h、2 h 处理小麦幼苗三种色素含量均呈逐渐上升趋势，间断干旱 3 h、4 h 处

理呈先升高后下降的趋势,且间断干旱 1 h、2 h 叶绿素 a,叶绿素 b 和类胡萝卜素含量始终高于对照水平,间断干旱 3 h、4 h 在处理初期略微高于对照,处理后期一直低于对照。连续干旱 24 h 处理后叶绿素含量迅速下降,低于所有处理水平,复水后叶绿素含量变化不大。说明连续干旱处理对叶绿素含量的影

响较严重。以上结果表明轻度干旱处理可增加叶绿素含量,而重度干旱则降低叶绿素含量。

如图 7 所示,随着干旱程度的加剧,小麦幼苗叶绿素含量与 Cu、Mn 含量都表现出高度的相关性,相关系数分别达到 0.9014 和 0.8817。

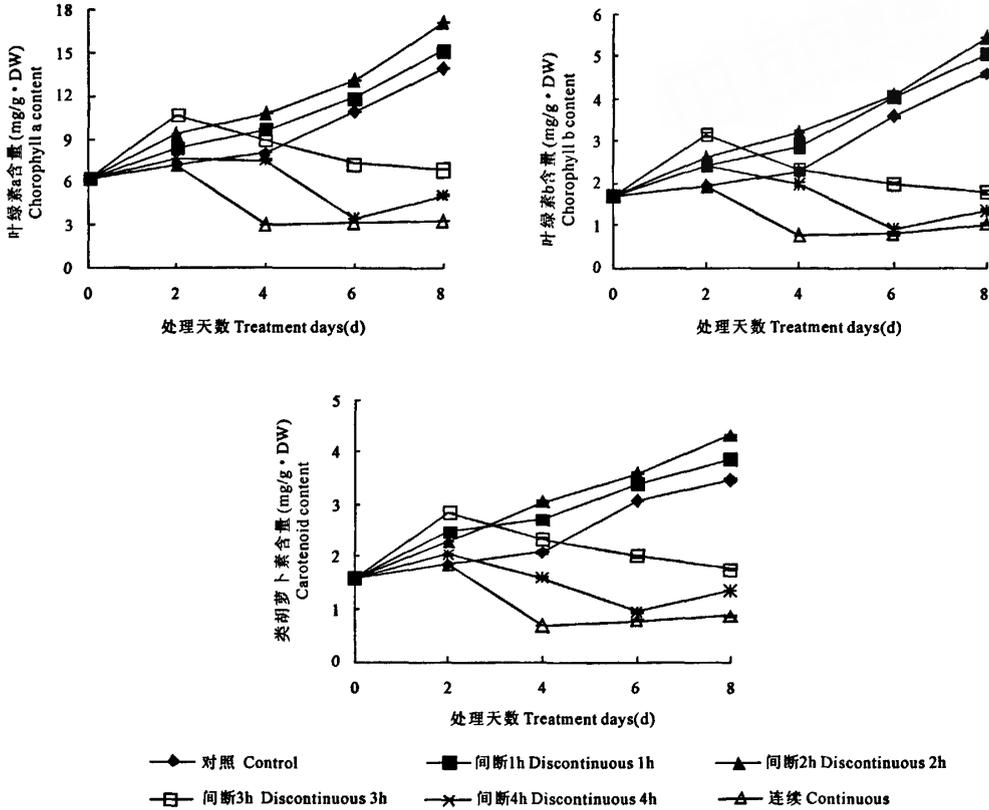


图 6 不同干旱处理方式对小麦幼苗叶绿素含量的影响

Fig.6 Effects of different drought treatments on chlorophyll content of wheat seedlings

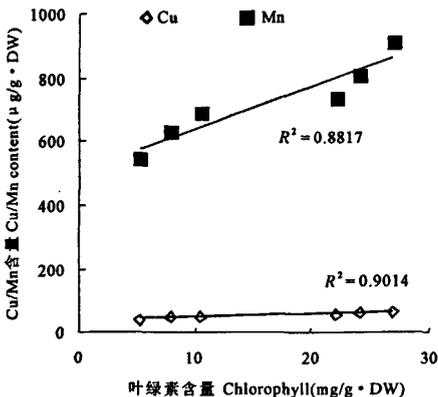


图 7 不同干旱处理小麦幼苗 Cu、Mn 含量与叶绿素含量的相关性  
Fig.7 Cu/Mn content in relation to chlorophyll content of wheat seedlings

### 3 讨论

#### 3.1 干旱影响小麦幼苗 Cu、Mn 含量与水分代谢有关的机制

干旱胁迫下,植物体内的水分代谢受到严重影响,与水分代谢密切相关的金属离子代谢同时也受到影响。本试验中随着干旱程度的增加,小麦幼苗的水势逐渐降低,说明干旱影响了小麦的水分代谢。根系是植物吸收水分、矿质元素和微量元素的主要器官,根系水势降低,必然影响金属离子的吸收。Watt<sup>[16]</sup>等发现,干旱胁迫下植物根系表皮细胞细胞壁上疏水物质积累,可能影响矿质元素在根系质外体中吸收和跨膜运输。李仰锐等报道干旱使植株各

部位 Cu 含量降低(除轻度干旱处理茎部高于对照外),且干旱程度越大降低越多;而各部位 Mn 含量在两种干旱处理条件下均增加,且干旱程度越大增加越多<sup>[17]</sup>。张凯<sup>[6]</sup>等报道一定缺水条件下比供水充足条件下的小麦籽粒中 Mn 含量高,Cu 含量低,两者结果类似,但与本文结果不同。本试验结果显示轻度干旱使小麦幼苗体内的 Cu、Mn 含量升高,重度干旱处理使 Cu、Mn 含量降低,说明适当的干旱胁迫能够促进小麦吸收 Cu、Mn 等微量元素。

### 3.2 干旱影响小麦幼苗 Cu、Mn 含量与叶绿素有关的机制

铜、锰在植物叶绿体中都具有重要作用。叶绿体中 50% 以上的 Cu 结合于质体蓝素,参与光合作用的电子传递过程,也是其它叶绿体酶的组份,醌的合成也需要它<sup>[6,18]</sup>。植物叶绿体中的 Mn 直接参与光合作用中的放氧过程,在植物生命周期中有着重要的作用<sup>[15]</sup>,Mn 是维持叶绿体结构所必需的,据报道在缺 Mn 细胞中叶绿体内不能形成片层<sup>[19]</sup>。叶绿素作为植物进行光合作用的主要色素,在光合作用的过程中担负着光能吸收与转运的重要作用,其含量的高低能够反映光合作用水平的强弱<sup>[20]</sup>。植物在缺 Cu 或 Mn 的环境下,其光合速率下降,叶绿素含量也出现明显的变化<sup>[9]</sup>。本文结果显示,在不同处理方式下,小麦幼苗叶绿素含量与 Cu、Mn 含量变化趋势基本一致,相关性极高,Cu 和叶绿素的相关系数为 0.9014,Mn 为 0.8817,轻度干旱处理(间断干旱 1 h、2 h)使小麦幼苗叶绿素含量升高,重度干旱处理(间断干旱 3 h、4 h 和连续干旱 24 h)使小麦幼苗叶绿素含量降低。

魏孝荣<sup>[21]</sup>等研究证明,施锰肥能够增加小麦体内的叶绿素含量,干旱情况下,锰肥可使玉米叶片的净光合速率和短时水分利用效率明显提高,可以对干旱所导致的光合速率和水分利用效率的降低起到补偿作用。从本试验结果来看,小麦幼苗在适度的干旱处理(每天干旱 1 h、2 h)环境中,机体产生保护机制,体内的 Cu、Mn 含量增加,叶绿素含量增加,降低了干旱对光合系统的影响,增强了抵御干旱伤害的能力。但是,较重度的干旱处理使小麦幼苗的抗旱保护机制受到影响,不足以抵御重度干旱所引起的损伤,体内的 Cu、Mn 含量降低,叶绿素含量降低,推测原因是由于叶绿体失水严重,结构遭到破坏,产生功能性障碍,也可能是干旱影响叶绿素的生物合成,且促进已形成的叶绿素加速分解所致<sup>[22]</sup>。

### 3.3 干旱影响小麦幼苗 Cu、Mn 含量与金属离子吸收和运输有关的机制

土壤中的微量元素均是以离子状态吸收进入植

物体内,干旱使土壤中的离子分布发生改变,水份不足又影响了离子的运输,所以植物体内微量元素的含量会受到干旱环境的影响。Gong<sup>[23]</sup>等的研究认为,干旱促进金属含量增加的原因可能是:金属元素从根系向地上部的运输是在木质部导管中进行的,运输动力是蒸腾拉力和根压,干旱处理致使小麦失水,蒸腾拉力增大,故运输速率增大,植株体内金属含量增加;干旱抑制金属元素吸收的原因可能是:植物根部对金属元素的吸收主要是以离子形态进行的,干旱导致小麦根系活力下降,吸收离子的能力减弱,也可能是干旱导致根系部分死亡,减少了吸收表面,使吸收量下降。本试验中观察到干旱较严重的小麦幼苗根部发黄,甚至干枯,推测根部损伤是导致小麦幼苗吸收矿质营养降低的因素之一。

试验处理小麦处于三叶期,而处理过程中也是 2、3 叶发育时期,从图 5 来看,小麦幼苗 2、3 叶中 Cu、Mn 含量随干旱处理并不表现相关性,而在根、茎及一叶中却高度相关,说明干旱处理影响了 Cu、Mn 在新叶中的运输和分布,可能与微量元素在小麦韧皮部及木质部的运输和转移速率不同有关<sup>[24]</sup>,也可能由于干旱影响了正常的矿质元素运输,使矿质元素在各部位发生不同的积累效应。

## 4 结 论

间断干旱 1 h、2 h 处理小麦幼苗的 Cu、Mn 含量和叶绿素含量均高于对照,其中间断 2 h 最高,而间断干旱 3 h、4 h 和连续干旱处理小麦幼苗的 Cu、Mn 含量和叶绿素含量低于对照,其中连续干旱最低。说明在不同干旱条件下,小麦幼苗体内的 Cu、Mn 含量随干旱程度的加剧,呈现出“钟形曲线”变化,并且与叶绿素含量表现出极高的相关性,适度的干旱能够增加小麦幼苗 Cu、Mn 含量及叶绿素含量,过度干旱降低三者含量。

### 参 考 文 献:

- [1] Selote D S, Bharti S, Chopra R K. Drought treatment reduces O<sub>2</sub>-accumulation and lipid peroxidation in wheat seedlings[J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2004, 314:724—729.
- [2] Curie C, Briat J F. Iron transport and signaling in plants[J]. *Annual review of plant biology*, 2003, 54:183—206.
- [3] 董顺德,张迎春,孙德梅,等.干旱胁迫下烤烟矿质养分含量与烟叶产、质量的关系[J]. *烟草科技*, 2005, (2):30—34.
- [4] 汪洪,金继运,周卫,等.不同水分状况下施锌对玉米生长和锌吸收的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2003, 9(1):91—97.
- [5] 马文涛,樊卫国.干旱胁迫对实生红橘、甜橙和柚叶中营养元素含量的影响[J]. *西南农业学报*, 2007, 20(4):630—633.
- [6] 张凯,崔玉亭,周顺利,等.两种水分条件下冬小麦籽粒部分

- 微营养含量及其基因型差异研究[J]. 华北农学报, 2007, 22(5):19—23.
- [7] Lockett C T, Calvert C C, Grivetti L E. Energy and micronutrient composition of dietary and medicinal wild plants consumed during drought[J]. International Journal of Food Science Nutrition, 2000, 51(3):195—208.
- [8] 涂仕华, 冯文强. 锰对小麦生长的影响及与其它元素的交互作用[J]. 西南农业学报, 1999, 12:13—20.
- [9] H·Marschner. 高等植物矿质营养[M]. 曹一平, 陆景菱译. 北京: 北京农业大学出版社, 1991:46.
- [10] Nowack B, Schwyzer I, Schulin R. Uptake of Zn and Fe by wheat (*Triticum aestivum* var. *Greina*) and transfer to the grains in the presence of chelating agents (ethylenediaminedisuccinic acid and ethylenediaminetetraacetic acid)[J]. Journal of agricultural and food chemistry, 2008, 56(12):4643—4649.
- [11] Price A H, Hendry G A F. Iron-catalysed oxygen radical formation and its possible contribution to drought damage in nine native grasses and three cereals[J]. Plant, Cell and Environment, 1991, 14:477—484.
- [12] 侯福林. 植物生理学实验教程[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [13] Nicolas L T, David A D, Harvey A M. Targets of stress induced oxidative damage in plant mitochondria and their impact on cell carbon/Nitrogen metabolism[J]. Journal of Experimental Botany, 2004, 55(1):394.
- [14] 张 瑾. 十六种活血化瘀中草药中微量元素的测定[J]. 分析科学学报, 2000, 61(1):55—57.
- [15] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 1990:33—36.
- [16] Watt M, Vanderweele C M, Mccully M E, et al. Effects of local variations in soil moisture on hydrophobic deposits and dye diffusion in maize roots[J]. Botanica acta, 1996, 109:492—501.
- [17] 李仰锐, 隋方功, 徐卫红, 等. 水分胁迫对夏玉米(收获期)中微量元素含量的影响[J]. 莱阳农学院学报, 2005, 22(2):115—118.
- [18] 印莉萍, 黄勤妮, 吴 平. 植物营养分子生物学及信号转导[J]. 北京: 北京科学出版社, 2006:294—300.
- [19] 彭令发, 郝明德, 邱莉萍, 等. 干旱条件下锰肥对玉米生长及光合色素含量的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2004, 22(3):35—37, 42.
- [20] 王晶英, 赵雨森, 王 轶, 等. 干旱胁迫对银中杨生理生化特性的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1):197—200.
- [21] 魏孝荣, 郝明德, 邱莉萍. 土壤干旱条件下锰肥对夏玉米光合特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3):255—258.
- [22] 陈善福, 舒庆尧. 植物耐干旱胁迫的生物学机理及其基因工程研究进展[J]. 植物学通报, 1999, 16(5):555—560.
- [23] Gong J M, Lee D A, Schroeder J I. Long-distance root-to-shoot transport of phytochelatin and cadmium in *Arabidopsis*[J]. Proceedings of the National Academy of Science on the USA, 2003, 100:10118—10123.
- [24] Garnett T P, Graham R D. Distribution and remobilization of iron and copper in wheat[J]. Annals of Botany, 2005, 95:817—826.

## Effect of drought on content of copper and manganese in wheat seedlings and related mechanism

TAN Xiao-rong, DAI Yuan, FU Yi

(Bioengineering Institute, He'nan University of Technology, Zhengzhou, He'nan 450001, China)

**Abstract:** Two kinds of drought treatments: discontinuous drought treatment(1 h, 2 h, 3 h, 4 h each day) and 24 h continuous drought treatment were adopted to wheat seedlings. Copper and manganese content in different parts of seedlings and chlorophyll content were detected to investigate the effect of different drought treatments. The results indicated that the content of copper, manganese and chlorophyll all increased in wheat seedlings under discontinuous drought treatment of 1 h and 2 h, while the treatment of 2 h was more effective. The discontinuous drought treatment of 3 h, 4 h and continuous drought treatment led to decrease of the content of copper, manganese and chlorophyll, with seedlings of continuous drought treatment decreasing observably. The experiment demonstrated that mild drought treatment could increase the content of copper and manganese in wheat seedlings, while severe drought treatment decreased them.

**Keywords:** drought; wheat; copper; manganese; chlorophyll