

保水剂用量对冬小麦光合特性及水分利用的影响

杨永辉^{1,2}, 武继承¹, 何方¹, 管秀娟¹

(1. 河南省农业科学院植物营养与资源环境研究所, 河南 郑州 450002; 2. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 研究了冬小麦不同生育期(拔节、孕穗、灌浆)、不同用量保水剂(处理 1.0 kg/hm²; 处理 2, 45.0 kg/hm²; 处理 3, 52.5 kg/hm²; 处理 4, 60.0 kg/hm²)下冬小麦的光合速率、蒸腾速率、水分利用效率以及作物水分生产效率。结果表明: 整个生育期内, 冬小麦的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)及水分利用效率(WUE)均表现为: 孕穗期 > 灌浆期 > 拔节期。各生育期内, 随保水剂用量的增加, 光合速率、蒸腾速率和水分利用效率均增大。收获后, 冬小麦水分生产效率各处理均优于对照, 45.0、52.5 和 60.0 kg/hm² 的处理分别比对照高: 5.4、5.5 和 10.4 kg/(mm·hm²)。

关键词: 保水剂; 冬小麦; 净光合速率; 水分利用效率

中图分类号: S512.1+1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)04-0131-05

保水剂是一种交联密度很低、不溶于水、高水膨胀性的吸水力特别强的高分子聚合物^[1,2]。它是土壤的良好胶结剂, 能够改善土壤结构, 促进团粒的形成, 达到蓄水保墒^[2,3]。干旱缺水制约着节水农业的发展, 降水的季节分配不均导致旱作区“旱涝”并重的危害, 而采用保水剂可以蓄水保墒、调节降水的季节分配、改良土壤结构、减少无效蒸发、提高土壤水分利用效率、减少水土流失, 从而提高区域治理的整体水平, 改善干旱半干旱地区的生态环境。所以, 保水剂因其特有的结构和优异的性能正逐渐被用于生态环境的修复与改善^[4,5], 且施用保水剂可以显著提高土壤的持水能力^[6,7], 抑制土壤水分的无效损耗, 提高水资源利用效率。保水剂的应用是旱作节水农业研究的热点^[8~11], 有关保水剂的应用和对生产的影响研究已有不少^[12~18], 但大都停留在研究保水剂对土壤水分及作物产量的影响上, 而关于保水剂对作物生理特征及水分利用效率的影响的研究却较少。因此, 本文通过研究不同保水剂用量对旱作区冬小麦生长、水分利用及光合作用等方面的影响, 旨在为保水剂在豫中干旱、半干旱地区的应用和对冬小麦的作用机理、合理利用天然降水及提高土壤水分利用效率提供理论依据。

1 研究区概况

试验设在“863”节水农业禹州试验基地的旱地, 年降水量 674.9 mm, 其中 60% 以上集中在夏季, 存在较严重的春旱、伏旱和秋旱; 土壤为褐土, 土壤母质为黄土性物质, 该地区地势平坦, 肥力均匀, 耕层

有机质 12.3 g/kg、全氮 0.80 g/kg、水解氮 47.82 mg/kg、速效磷 6.66 mg/kg、速效钾 114.8 mg/kg, 排灌方便。前茬作物为玉米。

2 材料与方法

2.1 试验材料及施用方法

保水剂采用河南省农业科学院研制的营养型抗旱保水剂, 主要成分为: 聚丙烯酰胺, N、P、K 营养物质, 腐植酸有机物质和稀土等。保水剂施用方法: 将保水剂与土混合后, 开沟盖土, 沟深 5~10 cm。保水剂的施用时间为小麦出苗后第 10 天进行。选择平整均匀的地块进行试验。

2.2 试验设计

本研究设 4 个保水剂用量处理, 其中, 处理 1, 0 kg/hm²(对照); 处理 2, 45.0 kg/hm²; 处理 3, 保水剂 52.5 kg/hm²; 处理 4, 保水剂 60.0 kg/hm²。小区面积 10.5 m²(3 m×3.5 m), 总共 4×3=12 个小区。在田间采取随机设计, 重复 3 次。播种前用普通过磷酸钙(P₂O₅ 90 kg/hm²)作肥底, 施氮肥(纯氮 150 kg/hm²), 分别在小区内均匀撒施。于 2006 年 10 月中下旬播种, 2007 年 6 月 4 日成熟收获。小麦播量为 150 kg/hm²。分别在冬小麦拔节期、孕穗期和灌浆期进行光合作用的测定。从 10 月份小麦播种到 12 月份共降雨 66.8 mm, 从翌年 1 月到 6 月 4 日收获, 共降雨 113.4 mm, 其中, 1 月份没有任何降水, 从 2 月份开始到小麦收获, 每月降雨量分别为 23.4、61.6、8.2、20.2 mm。

收稿日期: 2008-10-23

基金项目: “十五”和“十一五”国家 863 节水农业项目(2002AA224291、2006AA100215); 河南省重大公益性科研项目(081100911600)

作者简介: 杨永辉(1978—), 男, 陕西西安人, 博士研究生, 主要从事土壤生态与节水农业研究。E-mail: yangyongh@mails.gucas.ac.cn。

2.3 测定项目和方法

土壤表层水分采用 FDR(Frequency Domain Reflectometry)测定,光合速率和蒸腾速率采用美国生产的 Li-6400 光合仪测定, $WUE = Pn / Tr$; 土壤储水量采用烘干法,土壤饱和和导水率采用双环法^[19]。在冬小麦每个生育期都进行土壤水分观测。

在每个小区中随机取 5 株,每处理 3 个重复,共 15 株,统计株高、穗粒数、结实小穗、穗长;小麦产量:在每小区收割均匀的 3 行小麦进行产量计算。

3 结果与分析

3.1 不同处理各生育期土壤水分变化

保水剂用量不同导致表层土壤的各生育期含水量不同,整体来看(图 1),从播种(11 月 14 日)到收获(6 月 4 日),土壤水分含量有 3 个峰值和 3 个谷值,这与降雨量和小麦需水特征有关。从各处理来看,种植初期,由于没有降雨,所以各处理土壤含水量基本相同。而受降雨和小麦生长的影响,各处理之间的土壤水分变化明显,在整个生育期,CK 的土壤含水量比其它处理都低。在 11 月 29 日~3 月 21 日,52.5 kg/hm² 处理的土壤含水量最高,其它处理的土壤含水量大小变化不一,但都比对照高。在 3 月 21 日拔节期以后作物需水量大,土壤水分迅速下降。作物成熟以后,需水量急剧降低,在降雨的补充下,土壤水分迅速提高(6 月 4 日)。说明,施用保水剂后,有效地改善土壤在各生育期对小麦的供水状况,提高了光合作用的潜力。

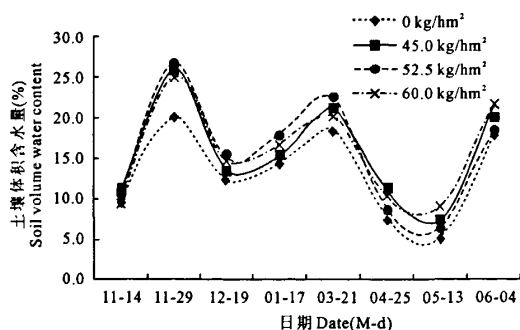


图 1 各生育期不同处理表层土壤水分变化

Fig.1 Topsoil water change of different treatments in different growth stages

3.2 不同处理对土壤饱和和导水率的影响

土壤饱和和导水率是反映土壤渗透性的一个重要指标,它的大小直接反映土壤的导水和对作物的供水能力。从各处理(图 2)来看,52.5 kg/hm² 处理的饱和和导水率最高(87.3 mm/h),其次为 45.0 和 60.0

kg/hm² 的处理,对照最低,说明提高土壤的导水性能不能是保水剂越多效果越好,而存在一个最适用量,因为保水剂用量过多,使土壤的孔隙被保水剂胶体堵塞,降低了土壤的有效孔隙度,导致饱和和导水率降低,故本研究提高土壤渗透性的最适用量为 52.5 kg/hm²。

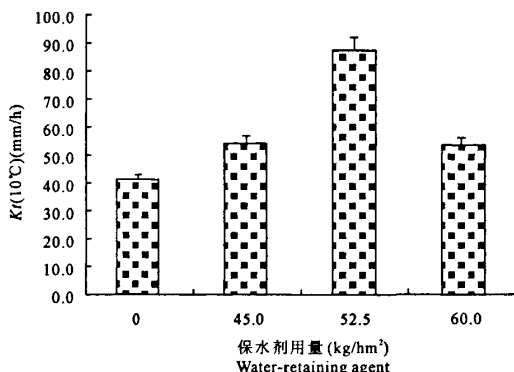


图 2 不同处理土壤饱和和导水率

Fig.2 Soil saturated hydraulic conductivity of different treatments

3.3 不同处理对各生育期小麦蒸腾速率、光合速率及 WUE 的影响

不同生育期小麦的需水特征表现不同,进而表现出蒸腾速率的差异,而保水剂通过影响土壤的水分状况,来影响小麦的蒸腾速率。从表 1 中看出,各处理的蒸腾速率,孕穗期显著增大,而灌浆期和拔节期,除 CK 外,其蒸腾速率差异不显著,说明孕穗期相对于拔节和灌浆期需要水分强烈。在拔节期,随保水剂用量的增加,小麦蒸腾速率增加,45.0 kg/hm² 处理增加不显著,而 60.0 kg/hm² 和 52.5 kg/hm² 的处理显著增加,但二者差异不显著。在孕

表 1 不同处理各生育期的小麦蒸腾速率及差异性比较 [$\mu\text{mol H}_2\text{O}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]

Table 1 The difference comparison of winter wheat Tr of different treatments in different growth stages

保水剂用量 Water-retaining agent (kg/hm ²)	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	灌浆期 Filling stage
0(CK)	3.3Cc	4.5Ab	3.9Bb
45.0	3.6Bbc	4.7Aab	4.0Bab
52.5	3.9Bab	4.9Aab	4.3Bab
60.0	4.2Ba	5.1Aa	4.5Ba

注:大写字母表示在同一行中 $P < 0.05$ 的显著水平,小写字母表示在同一列中 $P < 0.05$ 的显著水平,下同。

Note: Values followed by different capital letters mean significant difference at $P < 0.05$ within each line, while lowercase letters mean significant difference at $P < 0.05$ within each column, the same below.

穗期和灌浆期,随保水剂用量的增加蒸腾速率增加,45.0 kg/hm²和 52.5 kg/hm² 的处理较对照增加不显著,而 60.0 kg/hm²的处理显著增加。

光合速率的大小反映了作物合成干物质能力的高低。保水剂通过影响土壤的水分状况,来影响小麦的光合。从表 2 中看出,各处理的光合速率,孕穗期显著增大,灌浆期次之,拔节期最低,且差异显著,说明孕穗期光合速率强烈。在拔节期,随保水剂用量的增加,小麦光合速率显著增加,各处理间差异显著。在孕穗期,随保水剂用量的增加,60.0 和 52.5 kg/hm² 处理与 45.0 kg/hm² 处理和 CK 处理差异显著,而 60.0 与 52.5 kg/hm² 处理之间、45.0 kg/hm² 处理与 CK 之间差异不显著。在灌浆期,随保水剂用量的增加光合速率增加,52.5、60.0 kg/hm² 处理较对照和 45.0 kg/hm² 处理显著增大,且 52.5 kg/hm²处理与 60.0 kg/hm² 处理之间差异显著,而 45.0 kg/hm²较对照差异不显著。

表 2 不同处理各生育期小麦光合速率
及差异性比较[μmol CO₂/(m²·s)]

Table 2 The difference comparison of winter wheat Pn of different treatments in different growth stages

保水剂用量 Water-retaining agent (kg/hm ²)	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	灌浆期 Filling stage
0(CK)	5.5Cd	10.1Ac	7.5Bd
45.0	6.6Cc	11.1Abc	7.8Bcd
52.5	7.8Cb	12.5Aa	8.7Bb
60.0	9.1Ba	13.03Aa	9.8Ba

不同生育期小麦的蒸腾速率和光合速率差异显著,最终表现出水分利用效率的差异,而保水剂通过影响土壤的水分状况来影响小麦的水分利用效率。从表 3 中看出,各处理的水分利用效率,孕穗期显著增大,而灌浆期和拔节期水分利用效率差异不显著。拔节期随保水剂用量的增加,小麦水分利用效率增加,60.0 kg/hm² 和 52.5 kg/hm² 处理较 CK 显著增加,但两处理间差异不显著,45.0 kg/hm² 处理与 CK 差异不显著。在孕穗期,60.0 和 52.5 kg/hm² 处理较对照显著增加,但 45.0、52.5 和 60.0 kg/hm² 各处理间差异不显著,且 45.0 kg/hm² 处理与 CK 差异不显著。在灌浆期,随保水剂用量的增加水分利用效率增加,但差异均不显著。

3.4 不同生育期各处理小麦群体动态变化特征

作物受干旱或水分胁迫,其分蘖会受到重要影响。作物生育期内群体动态的变化是水分利用效率生理生态机制研究的关键,也是提高作物产量和水

分利用效率的基础。从图 3 中可以看出,在保水剂施用条件下,不同生育期的群体变化具有不同的特征。从整体来看,在整个生育期,随着小麦的生长发育,各处理的总群体都逐渐增加,在拔节期达到最高,灌浆期以后总体数不再增加。就各处理之间比较而言,在整个生育期,除拔节期外,52.5 kg/hm² 处理的总群体最低,总群体和成穗数的高低顺序为:60.0 kg/hm² > 45.0 kg/hm² > CK > 52.5 kg/hm²。说明,保水剂用量为 45 kg/hm² 和 60 kg/hm² 对小麦群体数和成穗数的提高产生重要作用。

表 3 不同处理各生育期小麦 WUE 及差异性比较

Table 3 The difference comparison of winter wheat WUE of different treatments in different growth stages

保水剂用量 Water-retaining agent (kg/hm ²)	拔节期 Jointing stage	孕穗期 Booting stage	灌浆期 Filling stage
0(CK)	1.70Bc	2.27Ab	1.90Ba
45.0	1.87Bbc	2.37Aab	1.93Ba
52.5	2.03Bab	2.53Aa	2.03Ba
60.0	2.20Ba	2.57Aa	2.20Ba

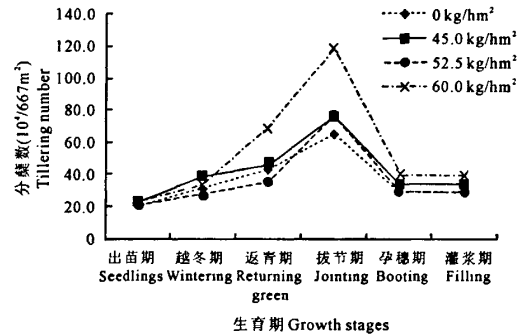


图 3 不同生育期各处理群体变化特征

Fig.3 Characteristics of population dynamics changes in different development stages

3.5 不同处理对小麦成产因素的影响

穗粒数、结实小穗、穗长及千粒重表征小麦产量潜力的大小,从表 4 可以看出,施用不同用量保水剂,株高、穗粒数、结实小穗、穗长和千粒重均有所增高;其中,随保水剂用量的增加,株高和穗长先降低再增加,穗粒数和结实小穗先增加再降低,而千粒重降低,但均高于对照。说明保水剂的施用促进了小麦各生产要素的提高,最终对小麦的产量产生重要影响。

3.6 不同处理对小麦产量、土壤耗水及水分生产效率的影响

从表 5 中可以看出,从小麦种植到小麦收获的

整个生育期,各处理的土壤储水量均降低,表明在小麦生长过程中消耗了大量的土壤水和降雨以满足小麦的生长;消耗水量最多的是 60.0 kg/hm² 的处理,其次为 45.0、CK,52.5 kg/hm² 消耗的最少;与对照相比,保水剂各处理的小麦产量分别提高了 30%、

26.2%、61.6%,且达极显著水平,60.0 kg/hm² 与 45.0 kg/hm² 和 52.5 kg/hm² 处理差异达极显著水平,45.0 kg/hm² 与 52.5 kg/hm² 处理间差异不显著;各保水剂处理水分利用效率分别比对照高:5.4、5.5 和 10.4 kg/(mm·hm²)。

表 4 不同处理对小麦成产要素的影响

Table 4 Effect of different water-retaining agent treatments on main factors of yield

保水剂用量 Water-retaining agent (kg/hm ²)	株高 Height (cm)	穗粒数 Volume of panicle grains(个)	结实小穗 Fruiting panicle (个)	穗长 Panicle length (cm)	千粒重 Weight of 1000 grains (g)
0(CK)	79.2Dd	30.3Dd	19.5Cc	8.7Bb	43.9Cc
45.0	84.4Aa	32.2Cc	20.5Bb	9.1ABa	46.4Aa
52.5	80.5Cc	38.4Aa	21.8Aa	9.0ABa	45.3Bb
60.0	83.7Bb	36.5Bb	21.3ABa	9.2Aa	44.1Cc

注:小写字母表示 $P < 0.05$ 的显著水平,大写字母表示 $P < 0.01$ 的显著水平,下同。

Note: Within each column, values followed by different lowercase letters mean significant difference at $P < 0.05$, while capital letters mean significant difference at $P < 0.01$. The same below.

表 5 不同处理对小麦产量、土壤耗水及水分生产效率的影响

Table 5 Effect of different treatments on winter wheat yield, soil water consumption and water production efficiency

保水剂用量 Water-retaining agent (kg/hm ²)	种前土壤储水量 Content of soil water before planting(mm)	降雨量 Precipitation (mm)	收后土壤储水量 Content of soil water after harvest(mm)	土壤耗水量 Water consumed by soil(mm)	小麦平均产量 Average yield (kg/hm ²)	水分生产效率 Water production efficiency[kg/(mm·hm ²)]
0(CK)	272.7	180.2	130.6Bb	322.3Cc	5928.6Cc	18.4Cc
45.0	272.7	180.2	129.4Cc	323.5Bb	7706.3Bb	23.8Bb
52.5	272.7	180.2	139.2Aa	313.7Dd	7484.1Bb	23.9Bb
60.0	272.7	180.2	120Dd	332.9Aa	9579.4Aa	28.8Aa

4 结 论

1) 保水剂用量不同对表层土壤的各生育期含水量产生重要影响,在小麦整个生育期内,土壤水分含量呈波动性变化,这与降雨和小麦需水特征有关。在整个生育期,对照的土壤含水量比其它处理都低。施用保水剂提高了土壤饱和导水率,其中,52.5 kg/hm² 处理的饱和导水率最高(87.3 mm/h),其次为 45.0 和 60.0 kg/hm² 处理,CK 最低,存在一个最适用量为 52.5 kg/hm²。说明,施用保水剂后,有效地提高了土壤在各生育期对小麦的保水和供水状况,有利于提高光合作用的潜力。

2) 小麦的净光合速率、蒸腾速率及水分利用效率表现为:孕穗期 > 灌浆期 > 拔节期。各生育期内,随保水剂用量的增加,光合速率、蒸腾速率和水分利用效率都增大。施入保水剂 45.0 kg/hm²、52.5 kg/hm² 和 60.0 kg/hm² 的小麦产量分别较对照提高了 30%、26.2%、61.6%,且达极显著水平;水分生产效率分别比对照高 5.4、5.5 和 10.4 kg/(mm·hm²)。

参 考 文 献:

[1] 杨连利,李仲谨,邓娟利.保水剂的研究进展及发展新动向[J].材料导报,2005,19(6):42—44.

[2] 李秧秧,黄占斌.节水农业中化控技术的应用研究[J].节水灌溉,2001(3):4—6.

[3] 董 英,郭绍辉,詹亚力.聚丙烯酰胺的土壤改良效应[J].高分子通报,2004,(5):83—87.

[4] 王天民.生态环境材料[M].天津:天津大学出版社,2000:335—336.

[5] 张林栋,李佐邦,任志宽.高吸水性树脂在农业中的应用试验[J].精细化工,1995,12(2):64—66.

[6] 杨永辉,赵世伟,黄占斌,等.沃特多功能保水剂保水性能研究[J].干旱地区农业研究,2006,24(5):35—37.

[7] 杨永辉,武继承,赵世伟,等.PAM 的土壤保水性能研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2007,35(12):120—124.

[8] 武继承,王志和,何 方,等.不同技术措施对降水和土壤养分的影响[J].华北农学报,2005,20(6):73—76.

[9] 武继承,杨稚娟,何 方,等.试论河南省旱地节水农业发展的有效途径[J].河南农业科学,2006,(1):5—8.

[10] 黄凤球,杨立光,黄承武,等.化学节水技术在农业上的应用效果研究[J].水土保持研究,1996,3(3):118—124.

[11] 杜晓东,王丽娟,刘作新.保水剂及其在节水农业上的应用[J].河南农业大学学报,2000,34(3):255—259.

- [12] 黄占斌,万惠娥,邓西平,等.保水剂在改良土壤和作物抗旱节水中的效应[J].水土保持学报,1999,5(4):52—55.
- [13] 周世新,宁作斌,顾云杰,等.高效营养保水剂在大田玉米生产上的试验效果[J].中国农业气象,2001,22(4):43—46,35.
- [14] 赵敏,高会东.保水剂对花生生理特性及产量构成因素的影响[J].吉林农业科学,2002,27(6):15—18.
- [15] 黄占斌,朱书全,张铃春,等.保水剂在农业改土节水中的效应研究[J].水土保持研究,2004,11(3):57—60.
- [16] 刘子凡,梁计南,谭中文,等.土壤保水剂对甘蔗抗旱性的影响[J].甘蔗,2004,11(2):11—15.
- [17] 高凤文,罗盛国,姜佰文.保水剂对土壤蒸发及玉米幼苗抗旱性的研究[J].东北农业大学学报,2005,36(1):11—14.
- [18] 陆国盈,韩世健,裴铁雄,等.不同时期施保水剂对甘蔗抗旱性和产量及品质的影响[J].广西蔗糖,2005,(4):3—7,16.
- [19] 森林土壤渗透性测定.林业管理常用标准及政策法规汇编[M].吉林:吉林电子出版社,2003:1218—1999.

Effect of dosage of water-retaining agent on photosynthetic characteristics and water utilization in different growth stages of winter wheat

YANG Yong-hui^{1,2}, WU Ji-cheng¹, HE Fang¹, GUAN Xiu-juan¹

(1. Institute of Plant Nutrition & Resources Environment, Henan Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou, He'nan 450002, China; 2. Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A study is made on the photosynthesis rate (P_n), transpiration rate (Tr), water use efficient (WUE) and water producing efficiency of crop in different growth stages of winter wheat (jointing, booting and filling stages) and different treatments with various amount of water-retaining agent, including 45.0, 52.5, 60.0 kg/hm² and 0 kg/hm² (CK). The result indicates that the P_n , Tr and WUE of winter wheat are ranged in order from higher ones to lower ones as follow: booting, filling and jointing during the growth stages. In each growth stage, the P_n , Tr and WUE all augment with the increase of water-retaining agent. In other treatments such as 45.0, 52.5 and 60.0 kg/hm², the water producing efficiency of winter wheat all excels that in CK by 5.4, 5.5 and 10.4 kg/(mm·hm²) respectively after harvest.

Key words: water-retaining agent; winter wheat; P_n ; WUE

(上接第 115 页)

Effects of calcium and calmodulin antagonist W7 on antioxidant systems of roots of tomato seedlings under drought stress

ZHANG Chun-mei^{1,2}, ZOU Zhi-rong¹, HUANG Zhi¹, ZHANG Zhi-xin¹

(1. College of Horticulture, Northwest A & F University, Yangling, Shanxi 712100, China;
2. Department of Agricultural Sciences, Hexi University, Zhangye, Gansu 734000, China)

Abstract: The effect of Ca^{2+} and calmodulin antagonist W7 on antioxidant systems of tomato (*Lycopersicon esculentum* M.) seedlings under drought stress induced by 10% polyethylene glycol (PEG-6000) was studied in hydroponics culture. The results showed that pretreated seedlings with calmodulin antagonist W7 under PEG stress had lower SOD and POD activities, and higher production rate of O_2^- , MDA and H_2O_2 , in addition, aggravated the damage of AsA and GSH; On the contrary, Ca^{2+} treatment enabled the seedlings to keep relatively high activities of SOD and POD, lower production rate of O_2^- and MDA content, at the same time, alleviated the accumulation of AsA and GSH. These results indicated that Ca^{2+} - CaM signal transduction might regulate resistance of tomato seedlings to PEG stress of tomato seedlings by affecting the activity of some antioxidant enzymes and the content of antioxidant substance. The experiment shows that Ca^{2+} - CaM signal system plays an important regulating role in alleviating PEG stress induced by 10% polyethylene glycol (PEG-6000) in seedlings.

Key words: calmodulin antagonist W7; PEG stress; tomato; antioxidant system