

外源甜菜碱对作物的抗旱作用效果研究

张建新¹, 徐福利², 吕家琰¹, 李亚兰¹, 李东¹

(1. 西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 通过小麦浸种、水培、大面积喷施和茄子盆栽试验, 研究了不同浓度外源甜菜碱对作物的抗旱作用效果。结果表明: 外源甜菜碱浓度为 25~50 mg/L 时可促进小麦种子发芽, 光合作用强度[达 7.07~7.57 $\mu\text{mol}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$]及生物学产量增加; 在外源甜菜碱浓度 100 mg/L 时小麦幼苗叶片硝酸还原酶活性最高, 达到 35.23 $\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$, 同时小麦抗旱性增强。数学模式寻优结果表明: 在外源甜菜碱浓度 26.4~68.9 mg/L, 土壤水分含量 12.6%~20.7% 时, 可获得最佳的茄子生物总量。

关键词: 外源甜菜碱; 小麦; 茄子; 硝酸还原酶; 土壤水分

中图分类号: S143.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2003)02-0086-05

甜菜碱属于季铵型水溶性生物碱, 是一种非毒性的植物渗透调节物质。大量研究表明, 许多植物体内特别是藜科和禾本科植物都含有甜菜碱。在植物生长受到干旱胁迫的环境影响下, 植物体内代谢积累甜菜碱以调节细胞内的渗透压, 减少失水, 维持植物体内水分平衡, 以适应胁迫环境而提高自身的抗旱性^[1~3,7,9]。关于外源甜菜碱的抗旱生理作用以及利用其研制的 MFB 多功能抗旱剂等研究均取得了一定进展^[4~6]。但就外源甜菜碱的抗旱作用机理及不同施用浓度与土壤水分胁迫之间对作物生理变化及生长发育的研究还不够深入, 而将外源甜菜碱用于蔬菜方面的研究未见报导。我们在人工控制干旱胁迫条件下, 研究了外源甜菜碱对小麦种子发芽、幼苗生长、生理变化、酶活性变化以及光合作用的影响, 探讨外源甜菜碱的抗旱作用机理和不同浓度外源甜菜碱与土壤水分对作物生长的变化模式以及外源甜菜碱对茄子生理性状和产量的影响等, 为农业利用提供理论依据。

1 材料与方 法

试验用甜菜碱是通过离子交换树脂法从糖蜜中提取分离纯化而得, 经分析检验纯度达 98% 以上。

1.1 小麦发芽与水培试验

供试小麦品种为晋麦 8911, 将甜菜碱配制成 5 个不同浓度水平(0、25、50、100、500 mg/L)浸种, 在室温下按 1:2 种液重量比浸种 12 h, 并以清水为

对照(ck)。用 20 cm×15 cm×10 cm 的培养盒, 每盒播种 50 粒, 加入水和 40% 聚乙二醇(PEG)溶液各 10 ml; 3 次重复, 随机排列, 在 25℃ 光照培养箱中培养, 测定在干旱胁迫条件下小麦种子发芽率和幼苗硝酸还原酶活性以及记载生长状况。

1.2 小麦大田喷施甜菜碱试验

甜菜碱的喷施浓度分为 0、10、25、50、100 mg/L 等 5 个水平, 供试小麦品种为西农 918。试验田在西北农林科技大学农作一站, 土壤类型为塿土, 质地为重壤, 土壤肥力中等, 1999 年 4 月中旬在小麦返青期进行喷施, 喷施 1 个月后, 用 LI-6400 便携式光合测定仪测定小麦旗叶光合强度。

1.3 茄子盆栽试验

供试品种为紫色茄子, 供试土壤采自西北农林科技大学农业科学院农场试验田耕层(0~20 cm), 土壤类型为塿土, 质地为重壤, 土壤肥力中等, 用米氏盆(30 cm×45 cm)在玻璃网室中进行培养试验, 每盆装土 8.5 kg, 重复 3 次, 随机排列。基肥为 N 0.3 g/kg、P₂O₅ 0.3 g/kg。试验方案见表 1。茄子四叶期移栽, 座果初期按试验设计喷施甜菜碱 2 次, 前后间隔 1 周, 并于第一次喷施甜菜碱时开始采用重量法控制土壤含水量。喷施 2 周后测定茄子叶片中蛋白质含量和硝酸还原酶活性以及生物量。蛋白质的测定采用凯氏定氮法, 硝酸还原酶活性的测定采用磺胺比色法。

收稿日期: 2002-11-11

基金项目: 杨凌农业高新技术产业示范区科研专项基金(98A11)

作者简介: 张建新(1959-), 男, 陕西咸阳人, 副研究员, 主要从事植物生理活性物质的分离与应用研究。

表1 茄子喷施甜菜碱的两因素D-饱和最优设计方案

Table 1 The D-saturated design plan for eggplant by sprinkling betaine

处 理 Treatment	土壤水分编码值(X_1) Code value of soil water	土壤水分含量(%) Soil water content	甜菜碱编码值(X_2) Code value of betaine	甜菜碱浓度(mg/L) Betaine concentration
1	-1	8.4	-1	10
2	1	16.8	-1	10
3	-1	8.4	1	90
4	-0.1315	12.0	-0.1315	45
5	1	16.8	0.3944	66
6	0.3944	14.28	1	90

2 结果与分析

2.1 干旱胁迫下外源甜菜碱浸种对小麦发芽和酶活性及幼苗生长的影响

作物幼苗生长期对水分十分敏感,如遇干旱胁迫,种子萌发和幼苗生长就会出现延缓或停止现

象。因此,在胁迫条件下,常常采用作物的生长指标如种子萌发胁迫指数(GSI)、作物幼苗生长状况(干物质和株高)等作为作物抗旱性鉴定指标。干旱胁迫条件下,不同浓度的甜菜碱浸种对小麦种子发芽的影响结果见表2。

表2 干旱胁迫条件下甜菜碱浸种小麦种子的发芽率与萌发胁迫指数

Table 2 Germination percentage and stress index of wheat seeds soaked by betaine under water stress

项 目 Item	甜菜碱浓度(mg/L) Betaine concentration				
	ck	25	50	100	500
平均发芽率(%) Mean germination percentage	83.3	85.7	85.0	84.0	79.7
与ck相比发芽率增减量(±%) Vary quantity of G. P. Contrast on ck	-	+2.4	+1.7	+1.0	-3.6
萌发胁迫指数(GSI) Germination stress index	0.93	0.95	0.94	0.94	0.89

从表2可知,在胁迫条件下甜菜碱浓度为25、50、100 mg/L的溶液浸种,小麦发芽率分别比ck提高2.4%、1.7%和1.0%;相反,高浓度(500 mg/L)甜菜碱溶液浸种,小麦发芽率降低了3.6%。萌发胁迫指数除高浓度(500 mg/L)甜菜碱浸种有所降低外,其它处理均有提高。观察小麦幼苗根系生长状况,用浓度25 mg/L、50 mg/L浸种的小麦根系较ck和高浓度(500 mg/L)要好。因此在干旱胁迫条件下,用浓度25 mg/L和50 mg/L的甜菜碱溶液浸种可增强小麦的抗旱性,提高发芽率。

从小麦水培试验的统计分析结果(表3)可知,在干旱胁迫条件下与ck相比,25 mg/L、50 mg/L、100 mg/L甜菜碱溶液浸种,对小麦幼苗株高增加有极显著或显著作用,而500 mg/L甜菜碱溶液浸种对小麦幼苗株高的影响不显著。与ck相比甜菜碱25 mg/L、50 mg/L浸种对小麦幼苗干物质质量的增加有显著作用,而100 mg/L、500 mg/L甜菜碱溶液浸种差异不显著。结果表明25 mg/L和50 mg/L的甜菜碱溶液浸种可增强小麦幼苗的抗旱性。

硝酸还原酶是作物氮素代谢中重要酶之一,在水分胁迫或干旱时硝酸还原酶活性与作物生长有密切的关系,作物生长状况或产量与单位叶面积的确

酸还原酶活性有显著的正相关^[9]。水培试验结果表明,在胁迫条件下,不同浓度的甜菜碱溶液浸种处理,与ck相比小麦幼苗叶片中硝酸还原酶活性除高浓度(500 mg/L)降低了11.5%以外,其它处理均有不同程度的提高,特别是100 mg/L处理最为显著,达到74.3%。此结果表明低浓度的外源甜菜碱会促进小麦幼苗生长,提高叶片硝酸还原酶活性,当外源甜菜碱浓度过高时又会降低硝酸还原酶活性。可以看出外源甜菜碱浓度有1个最适的范围。

2.2 甜菜碱对小麦光合作用的影响

逆境胁迫,会导致作物光合速率下降,同化产物供应减少,最终导致作物产量下降。为了探讨逆境胁迫条件下外源甜菜碱对小麦光合作用的影响,在小麦拔节期喷施不同浓度的甜菜碱,观察其生长变化。在喷施甜菜碱一个月后,测定小麦旗叶面积和光合速率以及气孔传导率的变化等,结果见表4。从试验结果来看,不同浓度的甜菜碱溶液喷施均可增大小麦旗叶面积,以25 mg/L和50 mg/L效果比较明显,叶面积增大可增强光合效率,同时,作物的蒸腾作用也会增加。喷施浓度为10、25、50 mg/L小麦净光合速率均有增加,尤以25 mg/L效果最明显,而高浓度100 mg/L可使净光合速率下降,说明低

浓度的甜菜碱溶液喷施对光合作用有促进作用,浓度过高并非有利,也进一步证实甜菜碱确实是一种非毒性的渗透调节物质,有着独特的生理功能^[6]。这

与武玉叶等关于渗透胁迫条件下可溶性糖、脯氨酸等对小麦光合作用的效应的研究结果是一致的^[2]。

表 3 干旱胁迫下不同浓度甜菜碱浸种对小麦幼苗生长和酶活性的影响

Table 3 Effect of betaine seed-soaking on wheat seedling growth and nitrate reductase activity under drought stress

项 目 Item	甜菜碱浓度 (mg/L)				
	ck	25	50	100	500
株高 (cm) Plant height	5.0±0.42	7.1±0.20	6.8±0.41	6.0±4.0	5.6±0.35
与 ck 相比株高增减量 Vary quantity of plant height contrast on ck	—	+2.1**	+1.8**	+1.0*	+0.6
干物质量(g/盒) Dry matter (g/box)	2.43±0.310	2.82±0.155	2.76±0.197	2.39±0.125	2.12±0.137
与 ck 相比干物质量增减量 Vary quantity of dry matter contrast on ck	—	+0.40*	+0.34*	-0.03	-0.30
硝酸还原酶活性 [μg/(g·h)] Activity of nitrate reductase	20.21	25.26	28.94	35.23	17.89
与 ck 相比酶活性增减量(%) Vary quantity of enzyme active contrast on ck	—	+25.0	+39.5	+74.3	-11.5

注:株高: $LSD_{0.05}=0.84$, $LSD_{0.01}=1.19$; 干物质量: $LSD_{0.05}=0.31$, $LSD_{0.01}=0.44$ 。

Note: Plant height: $LSD_{0.05}=0.84$, $LSD_{0.01}=1.19$; Dry matter quantity: $LSD_{0.05}=0.31$, $LSD_{0.01}=0.44$ 。

表 4 不同浓度甜菜碱喷施对小麦叶面积与光合作用的影响

Table 4 Effect of betaine sprinkling on leaf area and photosynthesis of wheat

项 目 Item	甜菜碱浓度 (mg/L)				
	ck	25	50	100	500
叶面积 Leaf area (cm ²)	5.89	6.25	6.35	6.33	6.16
净光合速率 [μmol/(s·m ²)] Net photosynthetic rate	6.37	6.40	7.57	7.07	5.90
气孔传导率(cm/s) Stoma conductivity	0.626	0.748	0.668	0.588	0.678

2.3 不同浓度甜菜碱及不同程度干旱胁迫对茄子生理生化指标及生长状况的影响

从以上结果可以看出,施用外源甜菜碱可调节作物体内渗透性。当施用浓度低时有促进作物生长、提高光合速率、增强作物体内硝酸还原酶活性的作用;当浓度高时又会产生负面影响,抑制作物生长发育,降低光合作用^[2,4]。因此研究甜菜碱施用浓度与

土壤水分胁迫程度的关系就显得非常重要,对外源甜菜碱的应用有重要意义。以蔬菜作物茄子为研究对象,研究外源甜菜碱的施用效果与土壤水分的关系,并分析和建立了不同水分胁迫条件下茄子喷施外源甜菜碱对其生长发育和营养物质积累以及酶活性影响的数学模型。

2.3.1 不同浓度甜菜碱与土壤水分胁迫对茄子生理生化指标及生长发育的影响

茄子蛋白质含量与喷施外源甜菜碱和土壤水分的关系关系式为:

$$Y_{\text{蛋白质}} = 20.28001 + 0.933X_1 - 1.222X_2 - 0.892X_1X_2 - 0.88X_1^2 + 1.304X_2^2 \quad (1)$$

茄子叶片硝酸还原酶与喷施外源甜菜碱和土壤水分的关系式为:

$$Y_{\text{硝酸还原酶}} = 509.8178 - 1.722X_1 + 181.168X_2 - 3.592X_1X_2 + 58.832X_1^2 - 112.521X_2^2 \quad (2)$$

茄子平均叶重与喷施外源甜菜碱和土壤水分的关系式为:

$$Y_{\text{叶重}} = 6.0335 + 0.096X_1 - 0.149X_2 - 0.974X_1X_2 - 0.260X_1^2 - 0.415X_2^2 \quad (3)$$

茄子平均根重与喷施外源甜菜碱和土壤水分的关系式为:

$$Y_{\text{根重}} = 3.609011 + 0.351X_1 - 0.346X_2 - 0.273X_1X_2 + 1.021X_1^2 - 0.367X_2^2 \quad (4)$$

茄子平均茎重与喷施外源甜菜碱和土壤水分的关系式为:

$$Y_{\text{茎重}} = 11.51097 + 3.135X_1 - 3.965X_2 - 1.436X_1X_2 + 0.530X_1^2 + 5.673X_2^2 \quad (5)$$

茄子生物总量与喷施外源甜菜碱和土壤水分的关系式为:

$$Y_{\text{生物总量}} = 21.193 + 3.407X_1 - 3.938X_2 - 0.253X_1X_2 - 0.013X_1^2 + 3.573X_2^2 \quad (6)$$

式中, X_1 代表土壤水分含量(%); X_2 代表外源甜菜碱浓度(mg/L)。

从上面(1)~(6)的关系式可以看出,不论是茄子叶片蛋白质含量、硝酸还原酶活性还是茄子叶重、茎重、根重、生物总量,外源甜菜碱的喷施浓度和土壤水分含量对其都具有明显影响,通过模型的计算可以分析这两者对茄子生理生化指标的影响程度及两者之间的关系。

2.3.2 甜菜碱喷施浓度与土壤水分对硝酸还原酶的影响 外源甜菜碱对茄子生长的影响程度,除了受到自身浓度大小的影响之外,也与土壤水分有密切的关系,其关系结果见表 5。

从表 5 可以看出,土壤水分条件越好,茄子叶片的硝酸还原酶活性越高,反映出叶片生长越好,吸收

和转化 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的能力越强。从外源甜菜碱的喷施浓度分析,随外源甜菜碱的浓度增加,叶片硝酸还原酶的活性有先降低后增加的变化趋势,其原因有待进一步研究。在土壤水分严重不足时,例如土壤水分含量为 8.4%时,喷施甜菜碱茄子叶片的硝酸还原酶含量非常低的。从两者的关系可以看出,外源甜菜碱与土壤水分含量之间也是负相关关系。

2.3.3 外源甜菜碱喷施浓度与土壤水分对茄子生物总量的影响 在本研究条件下,喷施不同浓度外源甜菜碱与不同土壤水分含量对茄子生物总量的影响从数学关系式计算的结果见表 6。

表 5 外源甜菜碱与土壤水分对茄子叶片硝酸还原酶含量的影响 [$\mu\text{g}/(\text{g} \cdot \text{h})$]

Table 5 Effect of exogenous betaine and soil water on nitrate reductase in leaves of eggplant

甜菜碱浓度 Betain concentration (mg/L)	土壤水分含量 Soil water content (%)			
	8.4	12.0	14.28	16.8
10	273.1	544.1	625.7	642.6
45	216.9	485.2	565.1	580.2
66	226.0	492.7	571.7	585.5
90	275.8	541.6	619.5	631.9

表 6 外源甜菜碱与土壤水分对茄子生物总量的影响(g)

Table 6 Effect of exogenous betaine and soil water on biomass production of eggplant

甜菜碱浓度 Betain concentration (mg/L)	土壤水分含量 Soil water content (%)			
	8.4	12.0	14.28	16.8
10	25.0	18.3	16.9	17.7
45	28.2	21.3	19.8	20.4
66	30.1	23.0	21.5	22.1
90	32.4	25.1	23.5	24.0

从表 6 可以看出,随着喷施外源甜菜碱浓度的增加,不同土壤水分胁迫条件下的茄子生物总量都在增加,反映出喷施不同浓度外源甜菜碱都可促进茄子的生长发育。但随土壤水分含量不断增加,外源甜菜碱对茄子生长发育的作用效果降低,两者之间具有负相关关系。说明外源甜菜碱适于在旱地作物上应用,且效果明显。

2.3.4 最优方案的筛选 为了最大限度地发挥外

源甜菜碱在茄子生长中的施用效果,并找出相对应的最佳土壤水分含量,通过寻优找出外源甜菜碱浓度和土壤水分含量的最佳范围,作为进一步在田间示范研究的参考,其优化结果见表 7。

从表 7 可以看出,当土壤水分含量在 12.6%~20.7%时,外源甜菜碱浓度在 26.4~68.9 mg/L 为最优方案。这与我们研制的 MFB 多功能抗旱剂的甜菜碱使用量是一致的^[6,7]。

表 7 目标性状茄子生物总量 $Y > 20$ 的最优措施方案

Table 7 The optimal measure scheme with the target of biomass production $Y > 20$

因素 Factor	编码值 Code value	X_1		X_2	
		次数 Times	频率(%) Frequency	次数 Times	频率(%) Frequency
频率 Frequency	-1	1	7.69	4	30.77
	-0.1315	3	23.08	3	23.08
	0.3944	4	30.77	2	15.38
	1	4	30.77	3	23.08
总计 Total		12	100	12	100
编码平均值 Mean value of code		11	0.3218±0.1646	11	-0.0466±0.2168
95%置信区间 95% confidence extent		11	-0.00076~0.6443	11	-0.4715~0.3783
因子实际量 Real value		12.6~20.7		26.4~68.9	

3 结 论

在室内水培、浸种、盆栽和大田试验的基础上,分析外源甜菜碱对小麦和茄子的生理生化指标及其生长发育的影响,可以得到以下结果:

1) 外源甜菜碱浸种促进了小麦种子发芽,以 25~50 mg/L 浓度范围的效果较优。

2) 小麦水培试验结果表明,在 25~50 mg/L 浓度条件下外源甜菜碱对小麦幼苗干物质积累有增加的效果;在 100 mg/L 时,小麦叶片硝酸还原酶最高,达到 35.23 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$,抗旱性增强;在 25~50 mg/L 浓度时,小麦光合作用最强达到 7.07~7.57 $\mu\text{mol}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$ 。

3) 通过分析茄子的生理生化指标与茄子生长发育同外源甜菜碱和土壤水分的变化数学模型,发现外源甜菜碱浓度大小与土壤水分含量高低之间对作物生长影响呈负相关。

4) 获得茄子最大生物量的最优外源甜菜碱的浓度为 26.4~68.9 mg/L,最佳的土壤水分条件为 12.6%~20.7%。

参 考 文 献:

- [1] 杨淑英,张建新,吕家珑,等. 外源甜菜碱对冬小麦抗旱性生理指标的影响研究[J]. 西北植物学报,2000,20(6):1041-1045.
- [2] 武玉叶,李德全,赵世杰,等. 外源渗透物质对渗透胁迫下小麦幼苗叶片水分状况和光合作用的影响[J]. 植物生理学通讯,1999,35(1):23-25.
- [3] 景蕊莲,吕小平,胡荣海. 外源甜菜碱对小麦幼苗抗旱性的影响[J]. 干旱地区农业研究,1998,16(2):1-5.
- [4] 张继澍. 植物生理学[M]. 西安:世界图书出版社,1999. 92-93.
- [5] Khan A H, Ashraf M Y, Azmi A R. Osmotic adjustment in wheat—a response to water stress[J]. Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research, 1993,36(4):151-155.
- [6] 张建新,刘拉平,彭玉奎,等. 甜菜碱对小麦幼苗抗旱生理作用研究[J]. 陕西农业科学,1997,(4):21-22.
- [7] 张建新,李亚兰,徐福利,等. MFB 多功能抗旱剂对小麦产量与品质的影响[J]. 麦类作物学报,2000,20(4):94-96.
- [8] 徐福利,严菊芳,王渭玲,等. MFB 多功能抗旱剂在旱地小麦上的应用效果初报[J]. 陕西农业科学,2000,(3):8-9.
- [9] 山 仑,陈国良. 黄土高原旱地农业的理论与实践[M]. 北京:科学出版社,1993. 298-301.

Effect of exogenous betaine on drought resistance of different crops

ZHANG Jian-xin¹, XU Fu-li², LU Jia-long¹, LI Ya-lan¹, LI Dong¹

(1. Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, CAS, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Experiments have been conducted to investigate the effects of exogenous betaine on drought resistance of wheat and eggplant. The results indicated that the germination percentage, photosynthesis intensity [being 7.07~7.57 $\mu\text{mol}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$] and biomass production of wheat were increased when the concentration of exogenous betaine was between 25 mg/L and 50 mg/L. Activity of nitrate reductase in wheat leaves reached the maximum value 35.23 $\mu\text{g}/(\text{g}\cdot\text{h})$, and the drought resistance of wheat could be enhanced when the concentration of exogenous betaine was 100 mg/L. In accordance with the results of mathematics simulation, the best biomass production of eggplant could appear when the concentration of exogenous betaine was 26.4~68.9 mg/L and the content of soil water was 12.6%~20.7%.

Key words: exogenous betaine; wheat; eggplant; nitrate reductase; soil water