

研究报告 Original Papers

淹水胁迫对不结球白菜渗透调节物质含量的影响

王华^{1,2}, 侯瑞贤², 李晓锋², 朱红芳², 朱玉英^{2,*}, 侯喜林^{1,*}¹南京农业大学园艺学院, 南京210095; ²上海市农业科学院设施园艺研究所, 上海市设施园艺技术重点实验室, 上海201106

摘要: 以不结球白菜‘新矮青’品种为材料, 研究了不同时间(1、3、5、7 d)和不同程度(根淹、半淹、全淹)淹水处理及解除淹水恢复生长后叶片内渗透调节物质含量的变化规律。结果表明: (1)在根淹和半淹胁迫处理下, 不结球白菜叶片中可溶性糖、可溶性蛋白和游离脯氨酸含量随处理时间的延长呈先上升后下降的趋势; 全淹胁迫下, 这3种渗透调节物质的含量随处理时间的延长出现不同程度的下降。(2)解除淹水恢复生长7 d后, 各处理组的不结球白菜叶片中渗透调节物质的含量在短期(1 d)淹水下基本恢复正常, 在长期淹水条件下未完全恢复; 全淹处理组恢复能力较弱, 而根淹处理组恢复能力相对较强; 可溶性糖的恢复幅度高于可溶性蛋白和游离脯氨酸。

关键词: 不结球白菜; 淹水胁迫; 渗透调节物质

Effects of Waterlogging Stress on Contents of Osmotic Adjustment Substances in Pak-choi (*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* Makino)

WANG Hua^{1,2}, HOU Rui-Xian², LI Xiao-Feng², ZHU Hong-Fang², ZHU Yu-Ying^{2,*}, HOU Xi-Lin^{1,*}¹College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; ²Shanghai Key Laboratory of Protected Horticultural Technology, The Protected Horticulture Institute, Shanghai Academy of Agricultural Sciences, Shanghai 201106, China

Abstract: The contents of osmotic adjustment substances were analyzed under different waterlogging stress and after the stress removal in pak-choi (*Brassica campestris* ssp. *chinensis*). The results showed that the contents of soluble sugar, soluble protein and free proline increased firstly and then decreased during the surface submergence of soil and semi-submergence of plants, but they decreased differently during the whole-plant submergence. The experiment results also showed that the contents of three osmotic adjustment substances reached the control level basically after recovering in one-day waterlogging stress; but they had not fully recovered in other waterlogging treatments. The recovery ability of plants was weak under the whole-plant submergence, while it was relatively stronger under the surface submergence of soil.

Key words: pak-choi; waterlogging stress; osmotic adjustment substances

不结球白菜又称青菜、小白菜、油菜等, 是一种重要的叶菜类蔬菜, 由于其适应性广, 生长期短, 营养丰富, 在蔬菜高产、高效、优质栽培和周年供应中占有举足轻重的地位(朱玉英等2006)。

作物生长需要大量水分, 但土壤水分过高会严重破坏体内水分平衡, 并且能够引起土壤缺氧, 影响作物光合作用, 进而严重影响作物的生理代谢(王良桂和杨秀莲2009), 其受影响程度因淹水强度和持续时间不同而差异很大。不结球白菜普遍种植于长江中下游及其以南地区, 而这些地区是我国涝害发生最为严重的地区之一, 尤其是在夏季7~8月份时常遭遇台风、暴雨, 甚至造成不结球白菜毁产。作物受到淹水胁迫后, 可通过启动体内的一系列调节机制来抵御逆境, 其中渗透调节

是重要的生理响应机制之一。目前, 对不结球白菜在光照(黄俊等2007)、温度(吉振勇等2006)等逆境下生理指标的变化研究较多, 而对水涝胁迫下不结球白菜体内生理响应的系统研究甚少。本文探讨了淹水胁迫及胁迫解除恢复生长后不结球白菜叶片中渗透调节物质的变化规律, 旨在为不结球白菜夏季设施及露地高产优质栽培与选育耐涝品种提供理论依据。

收稿 2012-09-22 修定 2013-01-05

资助 上海市绿叶蔬菜产业体系项目和上海市科技攻关项目(09391911400)。

* 共同通讯作者(E-mail: yy5@saas.sh.cn, Tel: 021-52235455; E-mail: hxl@njau.edu.cn, Tel: 025-84395917)。

材料与方法

1 材料

材料采用不结球白菜(*Brassica campestris* L. ssp. *chinensis* Makino) ‘新矮青’品种,由上海市农业科学院设施园艺研究所青菜组提供。该品种由两个遗传性有一定差异的高代自交系复配而成。

2 试验设计

试验于2011年10~12月在上海市农业科学院设施园艺研究所温室内进行。10月9日播种于上口直径15 cm、下口直径10 cm、高10 cm的塑料营养钵中,所用育苗基质由园土、草炭、蛭石(2:1:1)混合配制而成,植株苗期间苗,生长期正常灌水,并及时喷洒农药防止病虫害的发生。

待植株长到七叶一心时,选择生长势基本一致的试验用苗随机分成4组:对照、根淹、半淹、全淹。对照进行常规的水分管理;根淹为水面淹没植株根部基质,超过基质表面0~1 cm;半淹为水面刚好淹过植株生长点;全淹为水面完全淹没植株顶部。淹水处理时,分别把苗盆放入6个长1 m、宽0.5 m、高0.5 m的敞口塑料水箱中(因容积有限,每个处理组需用2个水箱),每组处理24盆。每天及时补充散失的水分,保证处理所需的水面高度。

试验共设置淹水深度(根淹、半淹、全淹)、淹水时间(1、3、5、7 d)和处理(淹水和恢复)3个因子。每个淹水深度下分别设8个处理:(1)淹水1 d;(2)淹水1 d后恢复7 d;(3)淹水3 d;(4)淹水3 d后恢复7 d;(5)淹水5 d;(6)淹水5 d后恢复7 d;(7)淹水7 d;(8)淹水7 d后恢复7 d。共组合为24个处理,每个处理重复3次,每个重复(每盆作为1个重复)取3株植株。每次取样当天设置相应的对照,共8个对照组,进行常规水分管理。

3 试验方法

用剪刀剪下第6~7片真叶,用蒸馏水冲洗干净后擦干,避开叶脉,剪碎、混匀,称取鲜样质量,用铝箔纸包好,保存于-84 °C冰箱中待用。每个处理3个重复,每个重复3株植株,取平均值。

可溶性糖含量的测定采用蒽酮比色法,游离脯氨酸含量的测定采用酸性茚三酮比色法(白宝璋和汤学军1993),可溶性蛋白含量的测定采用考马

斯亮蓝G-250法(王晶英2003)。

4 数据处理与分析

用Excel 2003进行数据计算与作图,用SPSS 11.5统计软件进行分析。

实验结果

1 淹水胁迫及恢复后叶片中可溶性糖含量的变化

不同淹水深度及淹水时间处理的不结球白菜叶片中可溶性糖含量表现出不同的变化趋势:根淹和半淹处理下的可溶性糖含量均随着胁迫时间的延长先上升后下降,淹水处理3 d后上升明显,累积量达到峰值,分别较对照组升高了40.3%和31.5%,淹水5 d后开始下降,根淹处理组较半淹处理组下降幅度小,但仍高于对照组,后者低于对照组;全淹处理植株随着胁迫时间延长可溶性糖的含量明显下降,下降幅度远大于根淹和半淹处理组,其中处理5和7 d的下降幅度较大,分别较对照下降了81.6%和79.3%(图1-A)。结果表明,随淹水深度的加深,不结球白菜叶片中可溶性糖含量下降明显。

从图1-B可以看出,经不同淹水处理的不结球白菜,解除胁迫后恢复7 d,其叶片中可溶性糖含量有不同程度的恢复。淹水1 d的各处理组均能恢复至正常水平,淹水3和5 d的根淹和半淹处理组可溶性糖含量仍高于对照水平,与淹水结束时的差异不明显。全淹处理组在解除胁迫后可溶性糖含量有上升趋势,其中,胁迫处理5和7 d的升幅较大,分别是恢复前的4.7和3.9倍。可见,可溶性糖含量总体恢复幅度为:全淹>半淹>根淹。

2 淹水胁迫及恢复后叶片中可溶性蛋白含量的变化

在各淹水深度下,随处理时间的延长不结球白菜叶片中可溶性蛋白的含量变化波动较大(图2-A)。根淹处理组在淹水1 d后较对照增加,但增幅较小(6.2%);根淹和半淹处理组均在3 d后达到高峰,峰值较起始值分别增加了20.4%和21.9%,之后明显下降。随淹水胁迫时间的延长,全淹处理组的可溶性蛋白含量逐渐下降,后期呈缓慢下降趋势。胁迫相同时间下,全淹处理的蛋白含量明显低于根淹和半淹处理组的,且远低于正常水平,可能是由于淹水程度的加剧加快了可溶性蛋白分解所致。

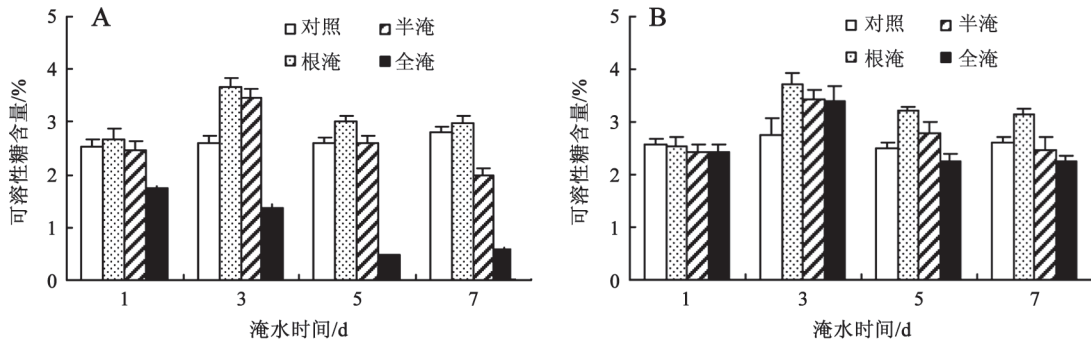


图1 不结球白菜叶片中可溶性糖含量的变化

Fig.1 Changes of soluble sugar content in pak-choi leaves

A: 淹水胁迫; B: 淹水后恢复7 d。图2和3同此。

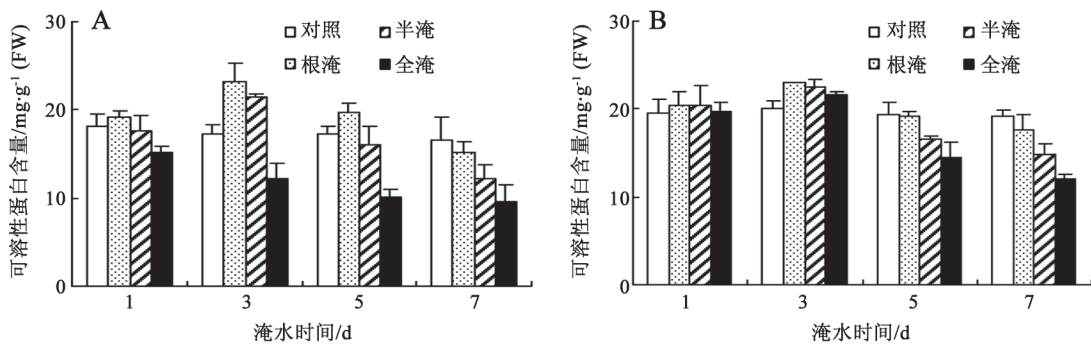


图2 不结球白菜叶片中可溶性蛋白含量的变化

Fig.2 Changes of soluble protein content in pak-choi leaves

不结球白菜在淹水解除恢复生长7 d后, 短暂淹水(1 d)各处理组的叶片中可溶性蛋白含量基本恢复至正常水平, 淹水3、5、7 d各处理组的均有所上升但未达到正常水平, 恢复后可溶性蛋白含量为: 根淹>半淹>全淹, 但全淹处理组恢复幅度最大。半淹和全淹处理组植株经较长时间(5和7 d)淹水后可溶性蛋白含量仍低于对照的水平(图2-B)。

可见, 经较长时间和较深程度淹水处理的不结球白菜植株恢复7 d后, 其叶片中可溶性蛋白含量仍不能恢复至正常水平, 而短期较轻程度淹水胁迫处理后的较容易恢复。

3 淹水胁迫及恢复后叶片中游离脯氨酸含量的变化

由图3-A可见, 根淹和半淹处理组的叶片中游离脯氨酸含量随胁迫时间延长先上升后下降, 其

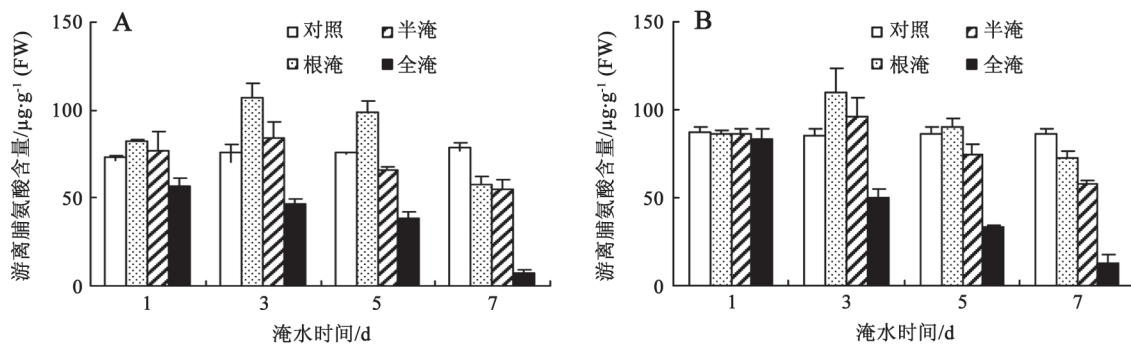


图3 不结球白菜叶片中游离脯氨酸含量的变化

Fig.3 Changes of free proline content in pak-choi leaves

中,根淹处理组在胁迫的0~3 d呈显著上升趋势,3 d后达到最大值,比对照上升了41.2%,5 d后大幅度下降,甚至低于对照处理;而半淹处理组在0~3 d呈缓慢上升趋势,之后平缓下降;全淹处理组随胁迫时间延长急剧下降,到处理7 d时较对照下降91.3%。

淹水胁迫解除后经过7 d的恢复生长,淹水1 d的各处理组的叶片中游离脯氨酸含量均能恢复至正常水平,与可溶性糖和可溶性蛋白含量恢复结果相一致;淹水处理3、5、7 d的各处理组的游离脯氨酸含量均有所提高但未恢复至正常,其中根淹组的含量最高,而全淹组最低,且恢复变化不明显(图3-B)。可见,游离脯氨酸经深度水涝胁迫后表现出较差的恢复能力。

讨 论

淹水胁迫能影响植物生长发育,主要是因为其产生的弱光和低氧环境导致光合作用减弱,叶绿素降解,叶片细胞膜脂过氧化加剧,体内保护酶等系统遭到损害(潘澜和薛立2012)。为适应淹水逆境,植物会调节相应的代谢机制从而维持正常的生命活动,其中渗透调节是非常重要的调节机制之一。淹水胁迫下,细胞能主动积累可溶性糖、可溶性蛋白及游离脯氨酸等有机渗透调节物质,来调节细胞渗透势,维持体内水分平衡,保护植物组织内各种酶类和细胞膜结构的正常功能(刘爱荣和赵可夫2005)。

可溶性糖存在于植物体内,对逆境胁迫非常敏感,被认为是植物遭受逆境胁迫伤害程度的重要指示指标。有研究表明,低氧环境下,植物可通过增加可溶性糖的含量增强自身对低氧胁迫的耐受性(Albrecht等2004)。王义强等(2005)对银杏进行淹水胁迫后发现,随淹水时间的延长,银杏叶片可溶性糖含量呈上升趋势;而肖强等(2005)研究指出,淹水导致互花米草可溶性糖含量显著下降。蔡金峰(2008)对乌桕苗进行淹水处理后发现,在植物没有受到严重伤害时叶片可溶性糖含量较对照增加,而在淹水的中后期植物受到伤害后可溶性糖含量呈现下降趋势。黎时光等(2008)的研究结果显示,在淹水前期,烤烟植株体内可溶性糖含量逐渐增大,随时间延长则下降。本试验研究结果表明,轻

中度淹水胁迫下,不结球白菜叶片内可溶性糖含量与乌桕苗和烟株的变化趋势相一致,含量上升可能是由于植物通过提高细胞内可溶性糖含量,降低细胞渗透势,以利于根系细胞继续从土壤中吸收水分及矿质营养,调节体内代谢平衡,从而在一定程度上减轻水涝造成的危害(张志远等2009);后期含量下降可能是因为植物为适应长时间的淹水逆境消耗了大量能量,而这些能量主要来源于碳水化合物——可溶性糖进行的糖酵解和乙醇发酵。

可溶性蛋白作为重要的渗透调节物质之一,主要包括多种代谢酶类,因而各种代谢酶活性的变化直接影响可溶性蛋白质含量的多少。本试验研究发现,可溶性蛋白和可溶性糖含量出现了相似的变化趋势,在轻中度淹水胁迫前期,不结球白菜叶片中可溶性蛋白含量增加,可能是因为植株受到淹水逆境后,活性氧含量增多,相应的活性氧清除系统被启动,使得酶促性活性氧清除系统中多种酶活性增强。有研究表明,某些酶活性的增强有利于提高植物对淹水逆境的耐受力,换言之,淹水胁迫下可溶性蛋白含量的增加对不结球白菜的耐涝性有一定的影响。淹水后期可溶性蛋白含量下降,并随时间的延长差异逐渐增大,这与陈传红等(2008)对西瓜研究的结果相似,可能是因为此时植株受迫害程度过重,造成细胞内膜脂过氧化,导致大量自由基产生引起原有可溶性蛋白分解,也可能是厌氧条件下,植物正常的蛋白合成受抑制,引发厌氧蛋白质和厌氧多肽的合成。

脯氨酸是一种水溶性最大的氨基酸,是小分子渗透调节物质,其含量的变化是植物受到逆境胁迫的一种信号(朱虹等2009)。汤章城(1984)认为在渍涝条件下,脯氨酸只能在植株体内短时间累积;本试验结果也显示,根淹和半淹胁迫下不结球白菜叶片中脯氨酸含量呈现先上升后下降的趋势,这与王美荣(2011)对芝麻的研究结论相一致。

淹水胁迫解除后恢复生长7 d,各淹水处理组的不结球白菜叶片中3种有机渗透调节物质在短期(1 d)胁迫下的均能恢复至正常水平,说明不结球白菜经过短时间淹水后能恢复,具有一定的抗涝能力。胁迫较长时间的各淹水处理组的叶片内可溶性糖、可溶性蛋白和游离脯氨酸均有不同程度

的恢复,但未恢复至对照水平,其恢复能力表现为:可溶性糖>可溶性蛋白>游离脯氨酸。其原因可能是长时间的淹涝使植株发生萎蔫,叶片严重失绿,降低其光合作用,可溶性糖合成仍受抑制;也可能是淹水解除后在不结球白菜体内积累的由无氧呼吸产生的有毒代谢物质抑制了植株细胞的渗透调节作用,导致叶片内的有机渗透调节物质在短时间内不能恢复至正常水平。说明较长时间即使是较轻程度的淹水胁迫对不结球白菜‘新矮青’品种渗透调节机制的影响也难以消除,不结球白菜还需要更长的时间来进行恢复生长。因此,淹水解除后,植物需要适当的机制来防止淹水解除后带来的损伤(李映乐2008),并且在生产上当不结球白菜受淹后,应及时采取开沟排水等措施,尽量缩短淹水时间,防止水涝造成作物减产。

参考文献

- 白宝璋, 汤学军(1993). 植物生理学测试技术. 北京: 中国科学技术出版社, 76~157
- 蔡金峰(2008). 淹水胁迫对乌柏幼苗生长及生理特性的影响[学位论文]. 南京: 南京林业大学
- 陈传红, 吴斌华, 李荣同, 包水明(2008). 淹水对西瓜幼苗SOD、POD活性和某些营养物质的影响. 江苏农业科学, (5): 146~147
- 黄俊, 郭世荣, 吴震, 李式军(2007). 弱光对不结球白菜光合特性与叶绿体超微结构的影响. 应用生态学报, 18 (2): 352~358
- 吉振勇, 张焯, 张正锋, 薛亚, 宋亚飞, 陈爱华(2006). 高温胁迫对二、四倍体不结球白菜五个生理生化指标的影响. 上海蔬菜, (4): 29~31
- 李映乐(2008). 青竹复叶槭耐水淹与耐低温的生理研究[学位论文]. 郑州: 河南农业大学
- 黎时光, 杨友才, 曾强, 龚理, 黄晓辉(2008). 淹水胁迫对烤烟不同生育时期生理生化特性的影响. 华北农学报, 23 (3): 116~119
- 刘爱荣, 赵可夫(2005). 盐胁迫下盐芥渗透调节物质的积累及其渗透调节作用. 植物生理与分子生物学学报, 31 (4): 389~395
- 潘澜, 薛立(2012). 植物淹水胁迫的生理学机制研究进展. 生态学杂志, 31 (10): 2662~2672
- 汤章城(1984). 逆境条件下植物脯氨酸的累积及其可能意义. 植物生理学通讯, (1): 15~21
- 王晶英(2003). 植物生理生化实验技术与原理. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 22~24
- 王良桂, 杨秀莲(2009). 淹水对2个桂花品种生理特性的影响. 安徽农业大学学报, 36 (3): 382~386
- 王美荣(2011). 淹水胁迫下芝麻苗期生理特性和蛋白质差异表达研究[学位论文]. 郑州: 郑州大学
- 王义强, 谷文众, 姚水攀, 唐隆平, 蒋舜村(2005). 淹水胁迫下银杏主要生化指标的变化. 中南林学院学报, 25 (4): 78~80, 85
- 肖强, 郑海雷, 叶文景, 陈瑶, 朱珠(2005). 水淹对互花米草生长及生理的影响. 生态学杂志, 24 (9): 1025~1028
- 张志远, 郭巧生, 邵清松(2009). 淹水胁迫对药用菊花苗期生理生化指标的影响. 中国中药杂志, 34 (18): 2285~2289
- 朱虹, 祖元刚, 王文杰, 阎永庆(2009). 逆境胁迫条件下脯氨酸对植物生长的影响. 东北林业大学学报, 37 (4): 86~89
- 朱玉英, 侯瑞贤, 杨晓锋, 龚静(2006). 耐热青菜杂交新品种“新夏青”的选育. 上海农业学报, 22 (4): 10~13
- Albrecht G, Mustroph A, Fox TC (2004). Sugar and fructan accumulation during metabolic adjustment between respiration and fermentation under low oxygen conditions in wheat roots. *Physiol Plant*, 120 (1): 93~105