

蔬菜抗旱性鉴定研究进展

常青华 李成琼* 任雪松* 司 军 宋洪元

(西南大学园艺园林学院, 重庆市蔬菜学重点实验室, 南方山地园艺学重点实验室, 重庆 400715)

摘 要: 干旱是长期无雨或少雨导致土壤或空气干燥的现象, 给蔬菜生产造成极大的经济损失。筛选蔬菜抗旱材料, 选育抗旱品种是解决这一问题的有效途径。本文综述了国内外蔬菜抗旱性鉴定的方法与指标、抗旱性的综合评价方法, 分析了目前蔬菜抗旱性鉴定存在的问题, 探讨了未来研究的方向。

关键词: 蔬菜; 抗旱性; 鉴定指标; 鉴定方法; 综述

中图分类号: S332.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-6346 (2012) 04-0025-06

Research Progress in Identifying Vegetable Drought-resistance

CHANG Qing-hua, LI Cheng-qiong*, REN Xue-song*, SI Jun, SONG Hong-yuan

(Chongqing Key Laboratory of Olericulture, Key Laboratory of Horticulture Science for Southern Mountainous Regions, Ministry of Education, College of Horticulture and Landscape Architecture, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: No rain or little rain for a long time will lead to the phenomenon of dry soil or dry air, which will cause great economic losses in vegetable production. The effective solution to solve this problem is to screen drought-resistant vegetable materials and breed drought-resistance varieties. This paper summarizes the methods and indexes for identifying vegetable drought-resistance, the comprehensive evaluation methods of vegetable drought-resistance at home and abroad. It also analyzes the existing problems in identifying vegetable drought-resistance and discusses about the research orientation in the future.

Key words: Vegetable; Drought-resistance; Identification index; Identification method; Review

干旱是长期无雨或少雨导致土壤或空气干燥的现象, 通常指土壤干旱。干旱一直是威胁农业生产的一个世界性问题。世界上干旱、半干旱地区, 其他非干旱地区也常受季节性干旱或难以预测的不定期干旱的影响。供水条件是限制蔬菜作物产量的重要因素, 农作物遭受干旱胁迫时受到伤害, 造成经济损失(刘祖祺和张石诚, 1994)。

作物的抗旱性是指作物在干旱条件下生存和形成产量的能力。目前, 蔬菜抗旱性研究以番茄、辣椒、马铃薯居多(李建武和王蒂, 2008; 耿广东等, 2010), 研究其生理生化、形态变

收稿日期: 2011-07-20; 接受日期: 2011-09-03

基金项目: 重庆市科技攻关项目(CSTC, 2010AA1023), 中央高校基本科研业务费资金资助项目(XDJK2010C069), 重庆市科委资助项目(CSTC, 2010AA1033)

作者简介: 常青华, 女, 硕士研究生, 专业方向: 蔬菜遗传育种与生物技术, E-mail: 804367917@qq.com

* 通讯作者(Corresponding authors): 李成琼, 女, 教授, 硕士生导师, 专业方向: 蔬菜遗传育种与生物技术, E-mail: chqli@swu.edu.cn

任雪松, 男, 副研究员, 专业方向: 蔬菜遗传育种与生物技术, E-mail: rxs@swu.edu.cn

化等,但未形成完整的抗旱性鉴定技术体系。本文综述了国内外蔬菜抗旱性鉴定的方法与指标,对蔬菜材料的抗旱性进行综合评价,筛选抗旱材料,培育抗旱品种,从而有效地解决干旱问题。

1 抗旱性鉴定方法

1.1 田间鉴定法

将蔬菜植株直接种于田间,在自然条件下控制灌水量,造成不同程度的水分干旱胁迫,分析植株的生长状况或者产量变化,评价品种的抗旱性(黎裕,1993)。这种方法比较简单,无需设备,有产量结果,易为育种者接受。但此法工作量大,易受环境条件影响,降水年际间变幅大,试验重复性较差,需要进行多年鉴定才能正确评价一个材料的抗旱性,在蔬菜抗旱性鉴定中应用较少。

1.2 干旱棚、干旱池、生长箱或人工模拟气候箱法

将蔬菜材料种植于人工可控水分及其他环境条件的人工气候箱、生长箱、干旱池或干旱棚内,控制土壤含水量造成水分胁迫或控制空气湿度施加干旱胁迫(大气干旱)以及给蔬菜喷施化学干燥剂等形成干旱,研究干旱胁迫下,蔬菜不同生育时期内生长发育、生理过程或产量的变化,比较鉴定材料的抗旱性。此法需要一定的设备,能源消耗大,不能大批量进行抗旱性鉴定;但试验条件比较一致,便于控制干旱胁迫时间、强度和重复次数,结果比较可靠,重复性比较好,可选择任一生育期进行抗旱性鉴定(张木清和陈如凯,2005)。

1.3 实验室鉴定法

1.3.1 土壤干旱法 通过控制盆栽蔬菜的土壤含水量而造成植株水分胁迫来鉴定其抗旱性。蔬菜一般生长量小,生长周期短,此法适于对蔬菜幼苗和生长后期,甚至全生育期的抗旱性进行鉴定,比较方便、快速。主要有:① 苗期反复干旱法。50%蔬菜幼苗达到永久萎蔫时浇水使幼苗恢复,再干旱处理使之萎蔫,重复2~3次,以最后存活苗的百分率评价材料苗期抗旱性(江龙,1999)。② 土壤干旱梯度法。将进入一定生育期的蔬菜材料进行盆栽控水,不同处理土壤含水量呈梯度变化,每天定时用称重法补充缺失的水分(张爱民等,2010)。③ 土壤缓慢干旱法。用称重控水的方法,使土壤含水量每日缓慢降低,降至严重干旱,或者控制浇水量、浇水次数、浇水天数或断水天数,进行不同程度的土壤干旱胁迫(刘国花,2007;裴芸等,2007)。

1.3.2 高渗溶液法 用聚乙二醇(PEG)、蔗糖、葡萄糖或甘露醇等不同浓度的高渗溶液在蔬菜种子萌发期或苗期进行模拟干旱处理,根据种子萌发率或活力指数等评价材料的抗旱性(杨春杰等,2007)。此法一般可采用沙培、土培、水培(营养液水培,主要使用MS培养液或1/2 Hoagland溶液)进行培养,浇灌不同浓度的高渗溶液。此法条件易控制、重复性好、周期短,适合早期、大批量材料的抗旱性鉴定,但有研究者认为高渗溶液中的种子发芽率不能代表苗期的抗旱性(Blum,1988),应用此法时必须慎重。

2 抗旱性鉴定指标

2.1 生长发育和形态指标

2.1.1 产量指标 抗旱性鉴定的目的之一是培育在干旱条件下高产、稳产的品种,干旱条件下蔬菜的产量和减产百分率常被用作抗旱性鉴定的一项重要指标(范敏等,2006)。传统抗旱育种产量指标计量的经典方法主要有抗旱系数法、敏感指数法、抗旱指数法。多数研究认为干旱胁迫下的产量应被当作一个最可靠的抗旱性指标,用于抗旱性的最终鉴定。Kage等(2004)研究发现干旱胁迫使花椰菜的花球质量、总干物质合成量降低。但Levitt(1980)指出一些抗旱品

种在正常环境条件下往往低产, 不抗旱的高产品种在轻度干旱条件下产量高于抗旱品种, 而在严重干旱条件下产量又低于抗旱品种, 用产量难以评定它们的抗旱性差异。因此, 产量指标的应用还有待深入的探讨。

2.1.2 根、茎、叶形态指标 根系是植物最早感受干旱的器官, 干旱胁迫时根系首先做出响应, 发达的根系对植株吸水十分有利。许多学者发现, 发达的根系与作物抗旱能力呈正相关(张木清和陈如凯, 2005), 根长、根粗、根冠比、根干质量、胚根数、次生根数、根系活力等与抗旱性也有一定的关系(孙涌栋等, 2008)。但根系的研究较困难, 对根冠比的研究没有形成定论(王学文等, 2010)。国外对根系的研究较深入, Manoj 和 Uday (2007) 研究发现, PEG 干旱胁迫下, 番茄突变体的根系生长势较强、根干质量大、根较长、次生根多, 抗旱性强于栽培种。

干旱胁迫下, 株高、茎粗、茎生长量、茎干质量等与作物抗旱能力呈正相关, 叶面积、叶长、叶宽、叶片数、叶片扩展速率等也与抗旱能力呈正相关。Kirnak 等(2001)在室外和容器栽培两种干旱处理条件下发现, 40%水分胁迫下, 茄子株高、茎粗、总干质量、相对叶片扩展速率均下降, 而根茎比升高。国内对生菜等的研究也得出类似的结论(裴芸等, 2007)。叶片在干旱胁迫条件下的卷曲程度、烧灼程度以及蜡质层厚度也可以反映作物的抗旱性(黎裕, 1993)。

2.1.3 存活率指标 经反复干旱处理后的蔬菜存活率或在一定水分胁迫下 50%的植株达到永久萎蔫或死亡所需的时间, 常可作为蔬菜抗旱性鉴定指标(张木清和陈如凯, 2005)。

2.1.4 种子萌发特性指标 种子萌发阶段需充足的水分供应, 水分不足会造成萌发时间延长、发芽率下降等不良现象。在蔬菜种子的萌发阶段, 种子发芽势、发芽率、萌发指数、成苗率、胚根长、胚芽长、根系活力指数等均能反映蔬菜的抗旱性。在重度干旱胁迫处理下, 抗旱性弱的辣椒品种种子萌发、幼苗生长均受到更严重的抑制作用, 发芽时间延迟, 种子的发芽率、发芽势、发芽指数迅速降低(耿广东等, 2010)。许耀照等(2010)利用 PEG 模拟干旱胁迫, 研究干旱胁迫对黄瓜种子萌发的影响, 结果表明低渗透势对 3 个黄瓜品种的发芽率、发芽指数、活力指数、胚根长、下胚轴长、幼苗一级侧根数、胚根干质量有明显促进作用, 而高渗透势有明显抑制作用。

2.1.5 解剖结构(叶片解剖形态) 叶片形态的解剖结构能够直观反映水分亏缺对细胞的伤害。陈国菊等(2002)发现, 花椰菜在干旱胁迫后, 叶片叶绿体基粒片层和基质片层排列紊乱、松弛和解体, 淀粉粒消失, 质体小球变为空腔, 线粒体嵴及其内外膜解体, 膜受到破坏。

2.2 生理生化指标

2.2.1 水分状况指标 叶片水势、相对含水量、自由水含量、束缚水含量是反映作物叶片水分状况的良好指标。水分胁迫下, 抗旱品种能维持较高水势, 较高的相对含水量, 束缚水含量也较高。干旱胁迫下, 菜豆的叶片水势显著下降(Martínez et al., 2007)。大量研究表明, 干旱胁迫下西瓜和豇豆叶片的相对含水量明显下降(康利平等, 2005; 刘东顺等, 2008); 诸葛菜叶片的自由水含量下降、束缚水含量上升, 其代谢强度降低、抗逆性增强以适应水分胁迫(李莉等, 2000)。

2.2.2 渗透调节指标 渗透调节是植物适应水分胁迫的主要生理机制, 植株通过积累有机渗透溶质如可溶性糖、脯氨酸、甜菜碱等和无机离子 K^+ 、 Ca^{2+} 等, 降低渗透势, 维持膨压, 从而使体内各种与膨压有关的生理过程正常进行, 同时对酶、蛋白质和生物膜起保护作用。多数研究表明, 抗旱性强的品种能积累更多的脯氨酸、可溶性糖、甜菜碱, 从而维持膨压, 降低逆境对其的伤害。在对生菜(裴芸等, 2007)、西瓜(刘东顺等, 2008)的抗旱性研究中发现植株抗旱性越弱, 脯氨酸含量增幅越小。诸葛菜(李莉等, 2000)在干旱条件下积累更多的可溶性糖、

脯氨酸、 K^+ 、 Ca^{2+} ，进行渗透调节，表现出对干旱一定的适应性。蔬菜作物在干旱胁迫下，甜菜碱的积累研究较少，需进一步开展研究。

2.2.3 光合作用指标 干旱胁迫下植物的光合作用迅速减弱，抗旱性较强的品种能维持相对较高的光合速率。干旱胁迫影响了植株的 PS I、PS II 活性，同时抑制 CO_2 的同化，叶绿素荧光动力学参数 (F_0 、 F_v/F_m 、 $\Phi PS II$ 和 qP 、 qN) 也发生变化。水分胁迫使生菜叶片的光合速率、蒸腾速率、气孔导度显著下降；叶绿素荧光动力学参数的分析表明， F_v/F_m 、 F_v/F_0 、 qP 随着灌水量降低而逐渐减小，而 qN 则随着灌水量降低而增加，说明干旱胁迫导致了叶片 PS II 反应中心失活或受到光破坏 (裴芸 等, 2007)。Yuan 等 (2010) 对番茄研究发现，干旱胁迫使番茄叶片气孔导度、胞间 CO_2 浓度、净光合速率随同土壤相对含水量一起显著下降。

叶绿素是截获光能的主要色素，其衰减是植物在逆境条件下的一种反应。干旱胁迫下，叶绿素含量的变化研究结果不一致。对辣椒 (李松丽 等, 2010)、生菜 (刘爱华和王永飞, 2010) 叶片的研究发现，随干旱胁迫的加剧或干旱时间的延长，可能因为叶绿体的结构被破坏，叶绿素 a、叶绿素 b 和叶绿素总含量显著减少。而番茄在水分胁迫下，叶绿素含量则显著增加 (周晓丽 等, 2009)。张淑兰等 (2009) 对黄瓜干旱研究发现，叶片叶绿素含量先上升后下降。因此，叶绿素含量与蔬菜作物抗旱性的关系还需进一步深入研究。

2.2.4 活性氧清除系统及膜质过氧化指标 蔬菜在干旱胁迫下积累大量的活性氧，产生超氧化物自由基 O_2^- 等自由基，质膜受到过氧化损伤，膜透性增加，电导率增大，产生丙二醛 (MDA)，抗氧化酶保护系统的超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 活性发生变化，终止进一步生成自由基连锁反应，起到酶促防御系统的保护作用，同时引起非酶促保护系统包括抗坏血酸、谷胱甘肽、细胞色素、铁氧还蛋白和类胡萝卜素等含量的变化。章崇玲等 (2000) 对菜薹的研究发现，干旱胁迫下，耐旱品种叶片电解质外渗率、MDA 含量上升幅度小，抗坏血酸含量较高，SOD 活性下降幅度小，POD、CAT 活性随干旱胁迫加剧呈先上升后降低的趋势，干旱胁迫 6 d 后，3 种酶活性都显著高于不耐旱品种。尚宏芹和刘建萍 (2010) 研究发现，干旱胁迫下，多茸毛变异系辣椒植株的 SOD、POD 活性较高，游离脯氨酸 (Pro) 含量和 MDA 含量显著增加，表现出较强的抗旱性。抗氧化酶活性随干旱胁迫强度和时间的变化不规律，能否作为蔬菜抗旱性鉴定指标有待展开深入、广泛的研究。

2.2.5 其他代谢物质指标 干旱胁迫影响很多酶的活性，会引起植物体内许多其他代谢物质的含量发生变化，主要有内源激素 (如 ABA 和 IAA)、硝酸还原酶 (NR)、多胺、可溶性蛋白、ATP 酶活性、可溶性糖、ATP 含量、磷酸酯酶、氨基酸等。

干旱胁迫时，叶片 ABA 含量增加，从而导致气孔关闭 (Mansfield et al., 1978)，抑制光合，增加根冠比等。对若干芸薹属蔬菜抗旱性研究发现，经水分胁迫处理后，吲哚乙酸 (IAA) 含量有所下降，多胺 (Put、Spd、Spm) 含量均有不同程度的增加 (林义章 等, 1996)。干旱胁迫后，花椰菜早熟品种与中熟品种的 NR 活性下降，而晚熟品种的 NR 活性有所提高，个别品种 NR 活性变化无规律 (陈国菊 等, 2002)。NR 活性能否作为作物抗旱性鉴定指标还有待进一步的研究。南欧蒜在干旱胁迫下可溶性蛋白含量增加 (谷卫刚 等, 2007)。马铃薯在干旱胁迫下，品种抗旱性愈强，ATP 含量愈高，可溶性蛋白含量增幅愈大 (刘玲玲 等, 2004)，这两个指标都可用于马铃薯抗旱性的评价。干旱胁迫下，蔬菜中 ATP 酶活性、氨基酸的合成也有一些研究 (何承坤 等, 1996)。

3 抗旱性综合评价方法

蔬菜的抗旱性是由多种因素相互作用构成的一个较为复杂的综合性状，各个抗旱指标相

互联系、相互影响。应采用多个指标,用数学的方法进行统计分析和综合评价,建立一套有效指标评价体系,把作物的抗旱能力以数量化的形式表现出来,更加科学地评价蔬菜作物的抗旱能力。

3.1 隶属函数法

利用隶属函数求出各抗旱指标在各品种中的具体隶属值。

$$X(u) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

$$X(u) = 1 - (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}) \quad (2)$$

其中 X 为各材料的某一指标测定值, X_{\max} 、 X_{\min} 分别为所有材料中此指标的最大值和最小值。若所用指标与抗旱性呈正相关,用(1)式;反之则用(2)式。再累加材料各指标的抗旱隶属值,求其平均值,根据平均值大小确定抗旱性强弱。刘东顺等(2008)研究发现植物的抗旱性是一种数量遗传性状,受多基因调控,存在多种调控途径并可能发生交叉,用隶属函数法结合西瓜的田间产量对15份西瓜材料的抗旱性进行了综合评价。

3.2 灰色关联度分析法

根据灰色系统理论对鉴定指标的灰色关联度进行分析,筛选出高效的鉴定指标,从而以此为据评价蔬菜抗旱性的强弱。李建武和王蒂(2008)用灰色关联度对马铃薯的抗旱性分析表明,叶片相对含水量、SOD活性、可溶性蛋白质含量可作为马铃薯重要的抗旱性鉴定指标,脯氨酸含量、CAT活性也可作为抗旱性鉴定的良好参考指标。

3.3 聚类分析法

根据多项指标所测数据,对供试材料进行聚类分析,根据聚类图将供试材料分成等级。张丽英等(2008)对番茄苗期进行抗旱性鉴定时,将番茄的抗旱性进行分级,而后利用聚类分析法,评价得到139份抗旱性强、中、弱三类抗旱性不同的材料。

3.4 抗旱总级别值法

把每个鉴定指标所测数据分为4~5个级别,再把同一材料的各指标级别值相加,即得该材料的抗旱总级别值,以此来评价不同材料抗旱性的强弱。

4 展望

蔬菜的抗旱性由多基因控制,具有复杂性,抗旱性鉴定虽有一定进展,但抗旱机制尚不清楚,抗旱性鉴定方法指标多,需要筛选,一些抗旱性指标的研究结果不一致,分子生物学在蔬菜抗旱性鉴定上的应用较少,有待进一步深入研究。

随着分子生物学技术的发展,利用RFLP技术(黎裕,1993)、QTL技术对抗旱基因进行定位已经在甘蔗、水稻抗旱性鉴定上应用,也是蔬菜抗旱性鉴定的一个发展方向。同时将抗旱、抗渗透胁迫基因导入蔬菜中,可为培育节水抗旱蔬菜新品种奠定材料基础(武丽娜等,2008)。Mishra等(2012)将转录因子*ATHB-7*基因转入番茄基因组,周国雁等(2009)将甜菜碱醛脱氢酶基因(*BADH*)转入甘蓝品系,均发现转基因株系抗旱性提高。

因此,应在传统育种技术的基础上,同时利用基因工程手段创造蔬菜抗旱新材料,运用分子标记技术在抗旱性鉴定上寻求突破,筛选抗旱材料,培育抗旱新品种,服务于蔬菜生产。

参考文献

- 陈国菊,杨暹,吴筱颖. 2002. 干旱胁迫对花椰菜叶片细胞保护酶及超微结构的影响. 中国蔬菜, (2): 8-11.
范敏,金黎平,刘庆昌,屈冬玉. 2006. 马铃薯抗旱机理及其相关研究进展. 中国马铃薯, 20(2): 101-106.
何承坤,郭素枝,李家真. 1996. 干旱胁迫对活性氧代谢的影响. 福建农业大学学报, 25(3): 307-311.
耿广东,张爱民,张素勤. 2010. 干旱胁迫对辣椒种子萌发的影响. 长江蔬菜, (24): 23-25.

- 谷卫刚, 刘世琦, 潘刚. 2007. 干旱胁迫对南欧蒜生理生化指标的影响. 山东农业科学, (1): 59-62.
- 江龙. 1999. 作物抗旱性的研究方法. 贵州农业科学, 27(5): 70-72.
- 康利平, 王雨梅, 张禄. 2005. 水分胁迫对豇豆幼苗水分状况、气孔变化及生理生化指标的影响. 华北农学报, 20(专辑): 21-23.
- 李建武, 王蒂. 2008. 灰色关联度分析在马铃薯抗旱生理鉴定中的应用. 种子, 27(2): 21-23.
- 李莉, 钟章成, 缪世利, 龙云. 2000. 诸葛菜对水分胁迫的生理生化反应和调节适应能力. 西南师范大学学报: 自然科学版, 25(1): 33-37.
- 李松丽, 龙华, 石春梅, 蔡小东. 2010. 水分胁迫下辣椒相关生理指标的变化研究. 安徽农业科学, 38(29): 16142-16143.
- 黎裕. 1993. 作物抗旱鉴定方法与指标. 干旱地区农业研究, 11(1): 91-99.
- 林义章, 施木田, 潘东明. 1996. 水分胁迫对若干芸薹属蔬菜某些生理生化指标的影响. 福建农业大学学报, 25(4): 438-441.
- 刘爱华, 王永飞. 2010. 土壤水分胁迫对生菜幼苗部分生理指标的影响. 西北农业学报, 19(6): 144-147.
- 刘东顺, 杨万邦, 赵晓琴, 李晓芳, 苏永全. 2008. 西北旱砂田西瓜抗旱性鉴定指标与方法初探. 中国蔬菜, (7): 17-21.
- 刘国花. 2007. 干旱胁迫对辣椒生理机制的影响. 湖南农业科学, 46(1): 88.
- 刘玲玲, 李军, 李长辉, 夏平. 2004. 马铃薯可溶性蛋白、叶绿素及ATP含量变化与品种抗旱性关系的研究. 中国马铃薯, 18(4): 201-204.
- 刘祖祺, 张石诚. 1994. 植物抗性生理学. 北京: 中国农业出版社: 84-153.
- 裴芸, 别之龙, 杨小峰. 2007. 不同灌水量对生菜生长和光合作用的影响. 华中农业大学学报, 26(1): 98-101.
- 尚宏芹, 刘建萍. 2010. 不同茸毛性状辣椒干旱胁迫的相关生理指标分析. 中国蔬菜, (14): 49-53.
- 孙涌栋, 刘遵春, 齐安国, 罗未蓉. 2008. 黄瓜根系对水分胁迫的生理反应. 西北农业学报, 17(6): 136-139.
- 王学文, 付秋实, 王玉珏, 张京红, 路河, 郭仰东. 2010. 水分胁迫对番茄生长及光合系统结构性能的影响. 中国农业大学学报, 15(1): 7-12.
- 武丽娜, 赵泓, 刘凡. 2008. 蔬菜抗渗透胁迫基因工程研究进展. 分子植物育种, 6(6): 1167-1174.
- 许耀照, 曾秀存, 王勤礼, 卢精林, 王治江, 张克多. 2010. PEG模拟干旱胁迫对不同黄瓜品种种子萌发的影响. 中国蔬菜, (14): 54-59.
- 杨春杰, 张学坤, 邹崇顺, 程勇, 郑普英, 李桂英. 2007. PEG-6000模拟干旱胁迫对不同甘蓝型油菜品种萌发和幼苗生长的影响. 中国油料作物学报, 29(4): 425-430.
- 张爱民, 耿广东, 杨红, 姜虹. 2010. 干旱胁迫对辣椒幼苗部分生理指标的影响. 山地农业生物学报, 29(1): 35-38.
- 张丽英, 柴敏, 姜立纲. 2008. 番茄苗期抗旱性鉴定及其评价方法的研究. 中国蔬菜, (2): 15-20.
- 张木清, 陈如凯. 2005. 作物抗旱分子生理与遗传改良. 北京: 科学技术出版社: 392-393.
- 张淑兰, 张海军, 齐宜芳. 2009. 水分胁迫对黄瓜种子萌发及幼苗生长的影响. 北方园艺, (6): 21-24.
- 章崇玲, 曾国平, 陈建勋. 2000. 干旱胁迫对菜苔叶片保护酶活性和膜脂过氧化的影响. 植物资源与环境学报, 9(4): 23-26.
- 周国雁, 杨正安, 张应华, 郭凤根, 周晓罡, 张绍松, 孙茂林, 伍少云, 丁玉梅. 2009. 农杆菌介导的甜菜碱脱氢酶基因转化甘蓝的研究. 云南植物研究, 31(4): 335-343.
- 周晓丽, 李文德, 成军花. 2009. 水分胁迫对温室番茄苗期生长的影响初探. 甘肃农业科技, (10): 13-15.
- Blum A. 1988. Plant breeding for stress environments. Boca Raton: CRC Press: 109-118.
- Kage H, Kochler M, Stützel H. 2004. Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation. European Journal Agronomy, 20: 379-394.
- Kirnak H, Kaya C, Tas I, Higgs D. 2001. The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in eggplants. Bulgarian Journal Plant Physiology, 27(3-4): 34-46.
- Levitt J. 1980. Response of plants to environmental stresses. New York: Academic Press: 110-221.
- Manoj K, Uday D. 2007. Gradient *in vitro* testing of tomato (*Solanum lycopersicon*) genotypes by inducing water deficit: a new approach to screen germplasm for drought tolerance. Asian Journal of Plant Sciences, 6(6): 934-940.
- Mansfield T A, Welburn A R, Moreira T J. 1978. The role of abscisic acid and farnesol in the alleviation of water stress. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 284: 271-282.
- Martínez J P, Silva H, Ledent J F, Pinto M. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). European Journal Agronomy, 26: 30-38.
- Mishra K B, Iannaccone R, Petrozza A, Mishra A, Armentano N, Vecchia G L, Trtílek M, Cellini F, Nedbal L. 2012. Engineered drought tolerance in tomato plants is reflected in chlorophyll fluorescence emission. Plant Science, 182: 79-86.
- Yuan G F, Jia C G, Li Z, Sun B, Zhang L P, Liu N, Wang Q M. 2010. Effect of brassinosteroids on drought resistance and abscisic acid concentration in tomato under water stress. Scientia Horticulturae, 126: 103-108.