

# 水分对作物生长发育影响的模拟研究进展

董永义, 徐寿军, 王 聪, 郭 园, 高彩婷

(内蒙古民族大学 农学院, 内蒙古 通辽 028042)

**摘 要:**作物生长模拟模型是进行作物生产精准管理和智能决策的有力工具。现介绍了水分对作物生长发育影响的模拟研究的发展现状和应用效果, 分别从水分对作物叶面积指数、光合作用、干物质生产与分配、作物产品质量影响的模拟进行了总结; 提出了水分对作物生长和发育影响的模拟研究存在的问题。

**关键词:**水分; 作物; 生长发育; 模拟

**中图分类号:**S 68 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)10-0176-05

水分是植物体的重要组成成分, 是植物生命活动中非常重要的因子, 是光合作用的参与者。在作物栽培管理中, 水分的精准调控不但能提高作物产量和产品品质, 还能有效地提高水分利用效率。因此, 在作物生长发育过程中, 精确控制浇水量、浇水次数和浇水时间尤为重要。而我国水资源又相对贫乏, 人均水资源占有量仅为  $2\ 260\ \text{m}^3$ , 约为世界人均水平的 25%, 远远低于发达国家<sup>[1]</sup>。水资源的亏缺已经对我国农业造成了严重影响, 尤其是我国多数作物的水分灌溉方式还采用传统的大水漫灌或沟灌, 而且管理主要以手工操作和经验为主, 不仅浪费了大量宝贵的水资源, 而且随着灌溉时间的延长, 导致病虫害加重, 造成地表土壤板结, 深层渗漏增加, 导致土壤养分流失、连作障碍及地温降低, 作物产量下降、生长缓慢和根部附近的土壤结构破坏, 经济效益也受到极大影响<sup>[2]</sup>。因此, 在农作物栽培管理过程中, 精准的调控和优化水分管理措施, 不但能提高作物的产量和品质, 还能节约水资源。定量分析水分与作物生长发育之间的关系, 明确二者间的关系, 可以为作物生长发育过程中的水分管理提供理论基础和技术支持。我国在有关水分对作物生长发育影响的模拟研究与世界发达国家相比, 还处于初级阶段。现以当前已有的水分对作物生长发育影响的研究报道为基础, 对当前国内外的研究进行总结, 为我国水分对作物生长发育影响的模拟模型研究奠定基础, 也为生产栽培过程中的水分管

理提供技术支持。

## 1 水分对叶面积指数影响的模拟研究

叶面积指数作为进行植物群体和群落生长分析的一个重要参数, 已在农业、果树业、林业以及生物学、生态学等领域得到广泛应用<sup>[3]</sup>。在作物的研究中, 叶面积指数是作物生长模型中的一个非常重要的中间变量<sup>[4]</sup>, 而作物进行光合作用积累干物质的模拟与叶面积的精确模拟有一定关系。所以, 准确地模拟作物的叶面积可以为预测作物的产量提供有力的保障。

作物叶面积的形成决定于叶片的伸展速率、出叶速率、叶片的持续期和叶片寿命<sup>[5]</sup>。而作物叶片的大小直接决定于作物光合产量的积累。最大叶片的持续时间能有效地提高作物的光合作用和产量<sup>[6]</sup>。水分胁迫对作物生长的影响表现为微观上抑制细胞生长, 即作物叶片的生长速度和伸长速度的下降<sup>[7]</sup>。番茄叶的生长速度在水分胁迫时呈下降趋势, 展叶减慢, 胁迫持续强度 ( $100\ \text{g/L PEG}$ ) 时, 发叶速度显著降低<sup>[8]</sup>。水分胁迫时, 烤烟叶片停止伸展, 单叶形态变小, 易早衰, 甚至引起落叶<sup>[9]</sup>。在水分胁迫下, 木薯叶片的伸长速率显著下降, 导致叶片伸长和发育受到影响, 影响叶面积的大小<sup>[10]</sup>。向日葵叶片在不同时期发育组织的伸展和表皮的分裂在时间和空间上受水分胁迫的影响, 最终导致叶面积减小<sup>[11-12]</sup>。水分胁迫, 导致叶片小而厚, 叶肉细胞小而排列紧密<sup>[13]</sup>。水分胁迫对叶面积的滞后影响大于对冠生长的滞后影响, 对冠生长的滞后影响又大于对根系生长的影响, 水分胁迫越敏感的作物生长过程, 水分胁迫对它的滞后影响也越大<sup>[14]</sup>。Jensen 等<sup>[15]</sup>认为水分胁迫影响叶片扩展速率要比光合作用早。也有研究发现, 土壤水分低于田间持水量的 60% 较长时, 叶片伸长速率降低, 叶面积下降, 光合作用下降, 直接影响作物的产量<sup>[16-18]</sup>。水分影响单叶扩展速率和单株叶片数, 进而影

**第一作者简介:**董永义(1974-), 男, 内蒙包头人, 博士, 副教授, 现主要从事观赏植物栽培系统模拟与决策等研究工作。E-mail: dongyong74@126.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31260483); 内蒙古民族大学博士科研启动基金资助项目(BS261); 内蒙古民族大学科研创新团队资助项目(NMD1003)。

**收稿日期:**2013-01-16

响叶面积指数<sup>[19]</sup>。还有研究表明,叶片伸长速率和水分呈分段线性关系,豌豆的单叶伸长速率与土壤可蒸发水呈逻辑斯蒂曲线关系<sup>[20-21]</sup>。以温度为基础的模型提出来量化水分胁迫对叶片生长的影响<sup>[22-23]</sup>。周艳宝等<sup>[24]</sup>研究表明,不同基质水势对切花菊叶面积指数的影响呈分段线性函数。

## 2 水分对光合作用影响的模拟研究

光合作用是作物生长发育和产品品质形成的基础,而水分又是光合作用的直接参与者,所以水分直接影响作物光合作用。有研究表明,在水分胁迫下,作物的净光合速率会下降<sup>[25-28]</sup>。作物冠层光合作用的模拟研究有“大叶模型”和“多层模型”。在土壤水分条件对光合作用的影响研究方面已有大量研究<sup>[29]</sup>。有研究表明,水分胁迫下燕麦和小麦的光合速率呈下降趋势<sup>[30-32]</sup>;谭雪红等<sup>[33]</sup>研究表明随着水分胁迫的加重,月季和大叶黄杨的主要光合参数净光合速率呈逐渐降低趋势。还有研究表明,在水分胁迫下,辣椒、番茄、鸭茅草的叶片净光合速率呈下降趋势<sup>[34-37]</sup>;以黎明前叶片水势为基础的模型提出来模拟水分胁迫对光合作用的影响<sup>[38-39]</sup>,不易获得黎明前叶片水势的信息从而导致模型的应用受限。

## 3 水分对干物质生产影响的模拟研究

干物质生产直接影响作物产量和品质,所以作物生长中干物质生产的模拟能有效预测作物生物产量。目前,模拟作物干物质生产有2种方法,1种是建立干物质生产量与定植后天数的回归模型;另1种是建立光合作用驱动的作物生长模型<sup>[40]</sup>。水分对作物干物质生产影响的模拟,主要是影响作物植株总干物质质量,从而影响产量。邵孝侯<sup>[41]</sup>通过对冬小麦土壤水势控制试验得知,冬小麦在土壤基质势 $-30\sim-40$  kPa时,麦籽粒产量最高。Clark等<sup>[42]</sup>研究滴灌条件下土壤水势对番茄生长的影响,发现土壤水势控制在 $-5\sim-10$  kPa和 $-10\sim-15$  kPa时,前者的产量更高,并且超大型果实占的比例更多。Shock等<sup>[43]</sup>在洋葱的滴灌试验中发现,土壤水势在 $-10\sim-17$  kPa时,洋葱生长最好,并且土壤水势越靠近 $-17$  kPa,洋葱生长越好。邹志荣<sup>[44]</sup>对温室黄瓜进行了研究表明,以90%田间持水量为黄瓜开花初期、结果期灌溉上限指标时黄瓜产量为最高。康跃虎<sup>[45]</sup>在滴灌条件下,建立了土壤基质水势和马铃薯产量之间的关系模型。Plauta等<sup>[46]</sup>对玫瑰品种‘Baccara’的研究发现,当土壤水势从 $-4\sim-6$  kPa降到 $-10\sim-15$  kPa时,每平方米收获的花数减少10%。王峰伟等<sup>[47]</sup>研究表明,随着水分胁迫程度的加强,地上、地下部分的生长均受到抑制,但对地上部分的抑制更明显,当土壤相对含水量在60%的条件下,桔梗的产量和质量可以兼顾。王学文等<sup>[48]</sup>研究表明水分胁迫显著抑制了番茄的生长,

普通番茄和樱桃番茄单株总干重分别下降了59.36%和51.17%,二者的根冠比分别上升了37.93%和29.17%。水分胁迫后,叶片净光合速率呈下降趋势。叶面积、气孔导度及干物质生产也随着降低<sup>[49]</sup>。

## 4 水分对干物质分配影响的模拟研究

目前,在干物质分配模拟方面,把干物质分配模拟总结为3种方法:1种是分配系数法和分配指数法,首先确定作物植株各个器官之间的分配系数或分配指数,再根据器官相应分配系数或分配指数随生育阶段的动态变化来模拟植株的干物质分配<sup>[50-51]</sup>;第2种是功能平衡法,是把植株干物质在地上与地下部分之间的分配,取决于根系的活性与地上部的活性比<sup>[52-53]</sup>;第3种源库调节法,是指干物质在植株各器官之间的分配取决于运输阻力和库对同化产物的利用能力<sup>[54]</sup>。水分对作物干物质分配影响的模拟,主要集中在大田作物,在花卉植物上的研究还甚少。有研究表明,在水分适宜的条件下,小麦茎秆所占比例较小为32%,穗部占39%,而过渡灌溉和严重水分胁迫条件下,茎秆干物质积累所占比例较大,分别为43%和34%,穗部所占比例较小,仅为41%和27%<sup>[54]</sup>。有研究表明,小麦籽粒产量大部分来自花后干物质的积累及花前营养器官干物质的再分配,土壤水分状况对小麦干物质积累与分配有显著影响<sup>[55]</sup>。播种期、拔节期和开花期土壤相对含水量较低,有利于干物质向籽粒分配,提高籽粒产量;土壤相对含水量增加时,干物质向籽粒分配量和比例降低<sup>[56-57]</sup>。水分胁迫下,太阳花的根、叶片的伸长速率降低,相对地增加干物质向根分配的部分,从而导致根冠比的上升<sup>[58-60]</sup>。

## 5 水分对作物产品质量影响的模拟研究

作物产品质量的高低是作物生产中生产者最为关注的指标,产品质量的好坏直接影响到生产者的经济效益。不同的作物产品其评价指标体系是不同的。大田作物如小麦各种品质要用其相应的指标来反映品质状况,例如用籽粒蛋白质含量、面筋含量、沉降值以及面团流变学参数等生理指标,还包括蒸煮品质、食味品质和营养品质含量等<sup>[61]</sup>。蔬菜类作物如番茄的品质,包括果实的周径、高度、果实颜色和口感等,还包括维生素C含量、可溶性糖含量和可溶性蛋白质含量等<sup>[62]</sup>。花卉植物如百合的品质,包括株高、花苞数、花苞直径和花苞长度等,还包括瓶插期<sup>[63]</sup>。在水分对作物产品质量影响的研究方面,在大田和蔬菜作物上研究的较多,而针对花卉植物的研究报道少。有研究结果表明,无论是小麦籽粒蛋白质含量,还是湿面筋含量、沉降值以及面团流变学参数均以55%土壤相对含水量条件下最高,表明土壤水分含量过多或过少不仅影响小麦籽粒产量的提高,而且也不利于小麦籽粒品质的改善。适宜的土壤水分含量

既可增加产量,又可改善品质<sup>[64]</sup>。Pandey 等<sup>[65]</sup>研究表明,玉米在不同生育期受到水分胁迫,导致生长发育受限,受限程度与胁迫时间呈正相关。80%土壤水分可显著提高番茄株高、茎粗及各器官鲜物重,但坐果率较50%土壤水分处理番茄低,80%、65%水分处理番茄产量分别比50%处理高35.31%、27.73%。有的研究表明,棉花生长发育过程中,适当的灌水量能促进植株的株高、叶面积指数、果枝和果节数的增加,反之,过量的灌水导致植株旺长<sup>[66-67]</sup>。袁小环等<sup>[68]</sup>认为,轻微干旱胁迫下,石竹、萱草、鸢尾的观赏性状没有显著差异,八宝景天即使在中度干旱条件下生长也没有显著变化。Borin<sup>[69]</sup>研究表明,番茄生长的临界灌水量为土壤含水量的68%;盆栽菊花的灌溉临界基质水势为-10 kPa<sup>[70]</sup>;水分胁迫下,洋葱鳞茎的品质和发生率下降<sup>[71-72]</sup>。Blom 等<sup>[73]</sup>应用红外温度测定法研究确定盆栽菊的临界基质水势为-32 kPa。李锦馨<sup>[74]</sup>通过对多个品种盆栽菊的控水试验发现,随着浇水频率的增大,各品种的株高、花芽数增加。

## 6 水分对作物生长和产品质量影响的模拟研究存在问题

国内外针对水分对作物生长发育和品质影响的模拟模型研究中,大田作物和园艺作物蔬菜上研究较多,在果树和花卉植物的研究比较少,针对目前研究现状,存在以下问题。

一是已有的水分对作物生长影响的模拟模型,大多采用土壤水分平衡模型推算土壤含水量的数据,在结合作物生长发育模型来估算土壤含水量对作物的影响。模型输入变量多,模型参数值不易获取。因此,用该类模型来预测土壤水分对作物生长的影响实用性较差,在生产中不容易推广应用。

二是模型研究内容主要集中在水分对作物生长的影响方面,作物干物质生产与分配方面研究报道多,水分对作物外观品质影响方面的研究较少,还需不断扩大研究领域,如对果树和花卉植物的外观品质方面的研究。

三是模型研究大都是只考虑了水分对作物生产的影响,而忽略了其它环境因子的互作效应,如在肥料充足的条件下,研究水分对作物生长的影响,或是在水分充足的条件下,研究肥料对作物生长的影响。这些研究能为水肥单因子对作物的生长影响的模拟提供依据,但在水氮耦合或综合因素共同作用的研究还较少。

四是模型研究大都是建立数学模型,在开发计算机编程生成作物生产智能化操作与管理软件方面比较薄弱,使研究的模型在真正应用时受到限制。加大作物模型和专家系统的研究,开发智能化操作与管理软件和决策支持系统,真正把作物模型和专家系统有机融合到温室环境控制和管理系统中,提高作物生产和栽培管理的

决策水平,切实提高我国作物生产的科技水平。

## 参考文献

- [1] 丁雨恒,龙振华,赵良,等.我国发展节水灌溉技术的必要性和可行性研究[J].农村经济与科技,2009,20(8):102.
- [2] 周浩,成自勇,王铁良.我国温室设施节水现状及未来发展趋势[J].安徽农业科学,2007,35(27):8621-8622.
- [3] 王希群,马履一,贾忠奎,等.叶面积指数的研究和应用进展[J].生态学杂志,2005,24(5):537-541.
- [4] Alt C, Kage H, Stutzel H. Modelling nitrogen content and distribution in cauliflower (*Brassica oleracea* L. botrytis) [J]. Annals of Botany, 2000, 86:963-973.
- [5] Ploeg A, van der Kularathne R J K N, Carvalho S M P, et al. Variation between cut chrysanthemum cultivars in response to suboptimal temperature [J]. American Society for Horticultural Science, 2007, 132(1):52-59.
- [6] Michael M. A role for leaf epidermis in the control of leaf size and the rate and extent of mesophyll cell division [J]. American Journal of Botany, 2010, 97(2):224-233.
- [7] Hsiao T C, Xu L K. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport [J]. Experimental Botany, 2000, 51:1595-1616.
- [8] 程智慧,孟焕文,Stephen A,等.水分胁迫对番茄叶片气孔传导及光合色素的影响[J].西北农林科技大学学报,2002,30(6):93-96.
- [9] 王军,王益奎,李鸿莉,等.水分胁迫对烟草生长发育的影响研究进展[J].广西农业科学,2004,35(6):440-442.
- [10] Alfredo A C, Alves, Tim L, et al. Response of cassava leaf area expansion to water deficit: cell proliferation, cell expansion and delayed development [J]. Annals of Botany, 2004, 94:605-613.
- [11] Christine G, Francois T. Water deficit and spatial pattern of leaf development variability in responses can be simulated using a simple model of leaf development [J]. Plant Physiology, 1999, 119:609-619.
- [12] Gustavo A, Pereyra-Irujo, Vela 'zquez L, et al. Genetic variability for leaf growth rate and duration under water deficit in sunflower: analysis of responses at cell, organ, and plant level [J]. Experimental Botany, 2008, 59(8):2221-2232.
- [13] 陈立松,刘星辉.果树对水分胁迫的反应与适应性[J].干旱地区农业研究,1999,17(1):88-94.
- [14] 刘晓英,罗远培,石元春.考虑水分胁迫滞后影响的作物生长模型[J].水利学报,2002(6):32-37.
- [15] Jensen C R, Mogensen V O, Mortensen G, et al. Leaf photosynthesis and drought adaptation in field-grown oilseed rape (*Brassica napus* L.) [J]. Plant Physiology, 1996, 23:631-644.
- [16] 吴海卿,段爱旺,杨传福.冬小麦对不同土壤水分的生理和形态响应[J].华北农学报,2000,15(3):92-96.
- [17] 梁银丽,康绍忠,张成娥,等.不同水分条件下小麦生长特性及氮磷营养的调节作用[J].干旱地区农业研究,1999,17(4):58-64.
- [18] Cohen S, Cohen Y. Field studies of leaf conductance response to environmental variables in citrus [J]. Applied Ecology, 1983, 20:561-570.
- [19] Spollen W G, Sharp R E. Spatial distribution of turgor and root growth at low water potentials [J]. Plant Physiology, 1991, 96:438-443.
- [20] Pierre C, Philippe D, Jérémie L. Thresholds for leaf expansion and transpiration response to soil water deficit in a range of sunflower genotypes [J]. European Journal of Agronomy, 2008, 28:646-654.
- [21] Jérémie L, Lydie G. Rate of leaf production in response to soil water deficits in field pea [J]. Field Crops Research, 1998(3):219-328.
- [22] Yang Y, Timlin D J, Fleisher D H, et al. Simulating leaf area of corn



- plants at contrasting water status [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2009,149:1161-1167.
- [23] Wilson J B. A review of evidence on the control of shoot:root ratio, in relation to models [J]. *Annals of Botany*, 1988,61:433-449.
- [24] 周艳宝,戴剑锋,林禄,等. 水分对日光温室独本菊生长动态影响的模拟[J]. *农业工程学报*, 2008,24(11):176-182.
- [25] 曹卫星,罗卫红. 作物系统模拟及智能管理[M]. 北京:高等教育出版社,2003:64-69.
- [26] Stewart C R. Role of carbohydrates in proline accumulation in wilted barley leaves [J]. *Plant Physiology*, 1978,61:775-778.
- [27] Kramer P J, Kozlowski T T. 木本生理学[M]. 汪振儒,译. 北京:中国林业出版社,1985.
- [28] 汤章城. 植物干旱生态生理研究[J]. *生态学报*, 1983(3):196-204.
- [29] Per P L, Moot D L. A canopy photosynthesis model to predict the dry matter production of cocksfoot pastures under varying temperature, nitrogen and water regimes[J]. *Grass and Forage Science*, 2003,58(4):416-430.
- [30] Ramanjulu S, Sreenivasulu N, Sudakra C. Effects of water stress on photosynthesis in two mulberry genotypes with different drought tolerance [J]. *Photosynthetica*, 1998,35:279-283.
- [31] Steward J D, Abidine A Z, Bernier P Y. Stomatal and mesophyll limitations of photosynthesis in black spruce seedlings during multiple cycles of drought [J]. *Tree Physiology*, 1995,15(1):57-64.
- [32] Lawlor D W. Water stress induced changes in photosynthesis, photorespiration, respiration and CO<sub>2</sub> compensation concentration of wheat [J]. *Photosynthetic*, 1976(10):378-387.
- [33] 谭雪红,郭小平,王亮. 土壤水分胁迫对大叶黄杨和月季光合生理特性的影响[J]. *水土保持通报*, 2010,30(4):73-77.
- [34] 付秋实,李红岭,崔健,等. 水分胁迫对辣椒光合作用及相关生理特性的影响[J]. *中国农业科学*, 2009,42(5):1859-1866.
- [35] 胡继超,曹卫星,姜东,等. 小麦水分胁迫影响因子的定量研究. I 干旱和渍水胁迫对光合、蒸腾及干物质积累与分配的影响[J]. *作物学报*, 2004,30(4):315-320.
- [36] 柏成寿,陆帆一. 水分胁迫对番茄幼苗生长影响的研究[J]. *园艺学报*, 1991,18(4):340-344.
- [37] Ferreyra R A, Dardanelli J L, Pachepsky L B, et al. Nonlinear effects of water stress on peanut photosynthesis at crop and leaf scales [J]. *Ecological Modelling*, 2003,169:57-76.
- [38] Gomes-Laranjo J, Coutinho J P, Galhano V, et al. Responses of five almond cultivars to irrigation: Photosynthesis and leaf water potential [J]. *Agricultural Water Management*, 2006,83:261-265.
- [39] Pilar B, Patricia Sánchez-de-Miguel, Ana C, et al. Water relations between leaf water potential, photosynthesis and agronomic vine response as a tool for establishing thresholds in irrigation scheduling [J]. *Scientia Horticulturae*, 2007,114:151-158.
- [40] 谭美,王四清. 观赏植物生长模拟模型研究进展[J]. *园艺学报*, 2010,37(9):1523-1530.
- [41] 邵孝侯. 土壤水势对冬小麦干物质累积、矿质营养和产量的影响[J]. *河海大学学报*, 1996,24(4):44-48.
- [42] Clark G A, Stanley C D, Maynard D N, et al. Water and fertilizer management of microirrigated fresh market tomato [J]. *Transactions of the ASAE*, 1991,34(2):429-435.
- [43] Shock C C, Erik B G, Feibert L D, et al. Irrigation criteria for drip-irrigated onions [J]. *Hort Science*, 2000,35(11):63-66.
- [44] 邹志荣. 不同灌溉上限对温室黄瓜结瓜期生长动态、产量及品质的影响[J]. *农业工程学报*, 2005,21(增刊):77-82.
- [45] 康跃虎. 滴灌调控土壤水分对马铃薯生长的影响[J]. *农业工程学报*, 2004,20(2):66-72.
- [46] Plauta Z, Zieslinb N, Levav N. Effect of different soil moisture regimes and canopy wetting on 'Baccara' roses [J]. *Scientia Horticulturae*, 1976,5(3):277-285.
- [47] 王峰伟,马延康,焦广斌,等. 水分胁迫对桔梗生长发育的影响[J]. *西北师范大学学报*, 2010,46(5):82-85.
- [48] 王学文,付秋实,王玉珏,等. 水分胁迫对番茄生长及光合系统结构性能的影响[J]. *中国农业大学学报*, 2010,15(1):7-13.
- [49] Yin C Y, Wang X, Duan B L, et al. Early growth, dry matter allocation and water use efficiency of two sympatric *Populus* species as affected by water stress [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2005,53:315-322.
- [50] Marcelis L F M. Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plants [J]. *Experimental Botany*, 1996,47:1281-1291.
- [51] Marcelis L F M. Simulation of biomass allocation in greenhouse crops: a review [J]. *Acta Horticulture*, 1993,328(1):49-67.
- [52] Hunt H W, Morgan J A, Read J J. Simulating growth and root-shoot partitioning in prairie grasses under elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and water stress [J]. *Annals of Botany*, 1998,81:489-501.
- [53] Brouwer R, De Wit C T. A simulation model of plant growth with special attention to root growth and its consequences[M]. In: Whittington, W J (Ed), *Root Growth*. Butterworth, London, 1969:224-244.
- [54] Minchin P E H, Thorpe M R, Farrar J F. A simple mechanistic model of phloem transport which explains sink priority [J]. *Experimental Botany*, 1993,44:947-955.
- [55] 盖江南,毕建杰,刘建栋. 水分胁迫对冬小麦干物质分配的影响[J]. *华北农学报*, 2008,23(增刊):5-9.
- [56] 许振柱,李长荣,陈平,等. 土壤干旱对冬小麦生理特性和干物质积累的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2000,18(1):113-118.
- [57] 韩占江,于振文,王东,等. 测墒补灌对冬小麦干物质积累和分配及水分利用效率的影响[J]. *作物学报*, 2010,36(3):457-465.
- [58] Setter T L. Transport/harvest index: photosynthate partitioning in stressed plants. In: Cumming, J R (Ed.), *Stress Response in Plants: Adaption and Acclimation Mechanisms*[M]. Wiley-Liss, Inc, New York, 2000:17-36.
- [59] 王焱,毕建杰,刘建栋. 水分胁迫对冬小麦干物质分配的影响[J]. *安徽农业科学*, 2009,37(15):7039-7042.
- [60] Kage H, Kochler M, Stützel H. Root growth and dry matter partitioning of cauliflower under drought stress conditions: measurement and simulation [J]. *European Journal of Agronomy*, 2004,20:379-394.
- [61] 王月福,陈建华,曲健磊,等. 土壤水分对小麦籽粒品质和产量的影响[J]. *莱阳农学院学报*, 2002,19(1):7-9.
- [62] 高方胜,徐坤,徐立功,等. 土壤水分对番茄生长发育及产量品质的影响[J]. *西北农业学报*, 2005,14(4):69-72.
- [63] 盛爱武,黄晓丹,张晚凤,等. 采收离水时间及保鲜剂对金百合品质的影响[J]. *中国农学通报*, 2006,22(2):274-276.
- [64] 白莉萍,隋方功,孙朝晖,等. 土壤水分胁迫对玉米形态发育及产量的影响[J]. *生态学报*, 2004,24(7):1556-1560.
- [65] Pandey R K, Maranville J W, Chetima M M. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment II. Shoot growth, nitrogen uptake and water extraction [J]. *Agricultural Water Management*, 2000,46:15-27.
- [66] 赵鸿,李凤民,熊友才,等. 土壤干旱对作物生长过程和产量影响的研究进展[J]. *干旱气象*, 2008,26(3):67-71.
- [67] 刘生荣,张俊杰,李葆来,等. 灌水对棉花植株形态和产量性状的影响[J]. *中国棉花*, 2004,31(6):20-21.

# 盐胁迫下丛枝菌根真菌对植物影响的研究现状与发展趋势

高 崇, 曾 明, 牛 琳 琳, 周 林 军, 王 秀 琪

(西南大学 园艺园林学院, 南方山地园艺学教育部重点实验室, 重庆 400715)

**摘 要:**综述了近年来国内外在丛枝菌根(AM)真菌提高植物抗盐性方面的研究进展。从植物生理的角度,对盐胁迫下 AM 真菌提高宿主植物抗性的作用机制进行了讨论,同时提出了 AM 真菌在提高植物抗盐性和实践应用方面值得深入探讨的问题。

**关键词:**丛枝菌根(AM)真菌;盐胁迫;作用机制;发展趋势

**中图分类号:**Q 949.32 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)10-0180-05

“菌根”(Mycorrhiza)一词是由德国的植物生理学家、森林学家 Frank 于 1885 年首创,至今已有 100 多年

**第一作者简介:**高崇(1987-),男,在读硕士,研究方向为微生物与植物营养。E-mail:gaochong114118@163.com.

**责任作者:**曾明(1963-),男,博士,教授,现主要从事果树生态生理和果树菌根技术等研究工作。E-mail:zengming@swu.edu.cn.

**基金项目:**国家梨产业技术体系资助项目(CARS-29-36);国家梨产业技术体系重庆试验站资助项目(nycyx-29-34);国家农业部标准园建设技术支撑计划资助项目。

**收稿日期:**2012-12-21

的研究历史<sup>[1]</sup>。作为自然界中普遍存在的一种植物共生现象,菌根是土壤中高等植物根系与菌根真菌形成的一种互利合作共生体。菌根在促进土壤结构、植物养分与生长、元素生物地球化学循环和陆地生态系统结构与功能等方面具有重要作用<sup>[2]</sup>。根据形态结构的不同,菌根可分为丛枝菌根(Arbuscular mycorrhiza, AM)、浆果鹃类菌根(Arbutoid mycorrhiza)、外生菌根(Ectomycorrhiza, EM)、欧石楠类菌根(Ericoid)、石晶兰类菌根(Monotropoid mycorrhiza)、兰花菌根(Orchid mycorrhiza)、内外生菌根(Ectendotrophic mycorrhiza) 7 类。其

[68] 袁小环,段留生,孙璐,等. 4 种宿根花卉北京地区水分蒸散规律与节水灌溉[J]. 中国农业大学学报,2007,12(6):1-5.

[69] Borin M. Irrigation management of processing tomato and cucumber in environments with different water table depths [J]. Acta Horticulturae, 1990, 267:85-92.

[70] Farias M F de, Saad J C C, Boas R L V. Commercial quality of pot chrysanthemum, cultivar Puritan, irrigated at different substrate water tension in a greenhouse [J]. Irrigation, 2003, 8(2):160-167.

[71] Farias M F de, Saad J C C, Boas R L V. Irrigation schedule in pot chrysanthemum, cultivar Rage, grown in greenhouse [J]. Engenharia-Agricola,

2004, 24(1):51-56.

[72] Pelter G Q, Mittelstadt R, Leib B G. Effect of water stress at specific growth stages on onion bulb yield and quality [J]. Agricultural Water Management, 2004, 68:107-115.

[73] Blom Zandstra M, Metselaar K. Infrared thermometry for early detection of drought stress in Chrysanthemum [J]. Hort Science, 2006, 41(1):136-142.

[74] 李锦馨. 地被菊在不同水分胁迫下生长状况研究[J]. 宁夏农林科技, 2007(2):20-21.

## Advances Researches on the Effects of Water on Crops Growth and Development Simulation Model

DONG Yong-yi, XU Shou-jun, WANG Cong, GUO Yuan, GAO Cai-ting

(College of Agriculture, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028042)

**Abstract:** Crop growth model is a powerful tool in crop production precise management and intelligent decision-making. Present situation and application of the effects of water on crops growth and development simulation models were discussed in this paper. Simulation models application status in equipment crops were also elaborated, respectively from the effects of water on leaf area, photosynthesis, dry matter production and distribution, product quality development simulation and quality simulation four aspects to carry on the summary, and finally the problems existing in the effects of water on crops growth and development simulation model research were pointed out.

**Key words:** water; crops; growth and development; simulation model