

瞬变条件下土壤—植物系统中的 水容效应及其应用研究^X

黄明斌¹, 张富仓², 康绍忠^{1,2}

(1. 中国科学院水土保持研究所, 陕西杨陵 712100; 2. 西北农业大学, 陕西杨陵 712100)

摘要: 水容是继水流阻力之后反映土壤—植物系统中水分动力学性质的又一重要水力学参数。通过生长箱内的模拟实验进一步揭示了土壤—植物系统的水容特性, 分析了系统中的水容在植物抗御高温低湿型热害中的作用, 探讨了用水容作为指标来评价生长在不同水分条件下的冬小麦对大气干旱的适应能力, 为水容的实际应用提供了新的启示。

关键词: 土壤—植物系统; 瞬变条件; 水容; 模拟实验

中图分类号: Q948.118, S512.101 **文献标识码:** A

文章编号: 1000-7601(1999)01-0045-05

水容是继水流阻力(Van den Hornert, 1948^[1])之后由 Powell 和 Thrope(1977 年^[2])提出, 后经 Bariac 等人^[3]证实, 反映土壤—植物系统中水分动力学性质的又一重要水力学参数, 其定义为植物某一组织的储水量随水势的变化率。80 年代后, 人们开始对一些高秆、块茎植物的水容特性进行研究^[4,5], 并用其解释一些生态学现象; 后期又研究了一些禾本科植物, 如冬、春小麦等^[6,7]。在认识植物水容性质的基础上, Wallace 等人(1983 年^[8])首先提出了模拟土壤—植物系统中水分运动的瞬态流模型。该模型考虑了系统中的水容特性, 较传统的稳态流模型(Van den Hornert 模型)更为通用。90 年代, 国内学者邵明安第一次报道了这方面的研究成果, 并在原有概念、模型的基础上有所完善和发展^[9]。后来我们又对瞬态条件下土壤—冬小麦、土壤—玉米各部分水流阻力和水容的大小、变化规律、相对重要性以及反映瞬态流模型的重要参数—时间常数的变性问题进行了详细地讨论, 同时又定量地分析了土壤有效水势、植物叶水势和蒸腾速率之间的相互关系及其影响因素^[10,11,12]。总之, 通过上述研究已经基本了解土壤—植物系统中的水容性质。为了用系统水容来分析、解决问题, 本研究在瞬变环境下通过对不同水分处理的小偃 6 号冬小麦之叶水势、光合速率、叶温、水容等进行同步观测和计算, 试图揭示土壤—植物体内水容在植物适应逆境生长中的作用, 对植物水容特性的实际应用作一些尝试性探讨。

1 实验材料和方法

1.1 实验材料

实验用冬小麦是小偃 6 号, 种植在直径 20 cm、高 45 cm 的瓷盆内, 生长在日产 KG-

206 SHL- D 型人工气候箱内。白天, 光、温、湿指标分别为 6 万 Lx、 25 ± 0.5 、 $65\% \pm 5\%$; 夜晚, 温、湿指标分别为 15 ± 0.5 、 $85\% \pm 5\%$ 。土壤是壤土, 容重 1.40 g/cm^3 , 初始含水量为田间持水量的 80%。生长过程中作灌水处理, 使测定时(生长 30 d 后)土壤含水量分别为田间持水量的 85% ~ 100%、75% ~ 85%、65% ~ 75%、55% ~ 75%、40% ~ 55%, 各设 3 次重复。测定时的瞬变环境条件是通过电脑事先输入的, 温、湿变化过程如图 1 所示。

用 TDR 监测土壤水分动态, 用便携式光合测定仪测叶片光合作用、蒸腾速率、叶温、气孔导度等, 用兰州大学生产的壓力室测叶水势, 用吸水饱和法测叶片饱和含水量。实验结束后, 加测生物量。

1.2 计算方法

瞬变环境条件下描述土壤—植物系统中水流运动的非线性模型为:

$$Q(t) = (7_b - 7_t) / R + C \cdot d(7_b - 7_t) / dt \quad (1)$$

式中: 7_b 、 7_t —分别是土壤有效水势和叶水势; R 、 C —分别是系统中的水流阻力和水容; Q —水流量; t 是时间。(1) 式一般求其近似解, 首先用抑制蒸腾的方法求时间“常数” RC , 然后分别求 R 、 C 值。

上述求系统中的水容和水流阻力的方法比较麻烦, 后来人们进一步发现水容和叶水势之间存在密切关系, 并可方便地由此关系求出比水容和叶水势的函数关系。比水容由下式给出:

$$c = C / (w_l \cdot m) \quad (2)$$

式中: c —比水容 (Mpa^{-1}); C —水容 ($\text{m}^3 \cdot \text{Mpa}^{-1}$); w_l —叶片饱和含水量; m —单位植株的生物量即干重。

Kramer (1983)^[4]、Nobel et al (1983)^[5]、Sen Gupta (1983)^[6]、Turner (1988)^[7] 等研究证实比水容和叶水势间成指数函数关系。通过对小偃 6 号的研究亦证明此结论的正确性^[13]。在下面的分析中, 将直接引用过去的研究结果, 因为在瞬变环境条件下用抑制蒸腾的方法计算水容是困难的。

2 结果分析

2.1 不同水分处理之冬小麦叶温、光合速率和蒸腾速率的差异

在图 1 所示的温、湿迅速变化的环境条件下, 分别于实验开始后的 0 h、1.5 h、3.5 h、4.5 h (对应的环境温度为 20、25、30、35、37) 用光合测定仪测定了不同土壤水分条件下冬小麦叶温、叶片光合速率和蒸腾速率的变化过程, 计算了各时刻的相对光合速率(指温湿处理后各时段的光合速率相对于未处理前光合速率的百分比), 结果如图 2、3、4 所示。由图可见, 在整个变化过程中, 植物生长的土壤水分条件好, 叶温低, 蒸腾速率高, 叶片光合速率下降得慢; 相反, 则叶温高, 蒸腾速率低, 叶片光合速率下降得快。然而, 随着气孔逐渐关闭, 光合速率逐渐降低, 植物蒸腾速率并非总是减小, 而是有一段上升过程, 当温度上升为 35、湿度下降为 70% 时, 蒸腾速率才开始下降。分析其原因, 我们认为刚开始

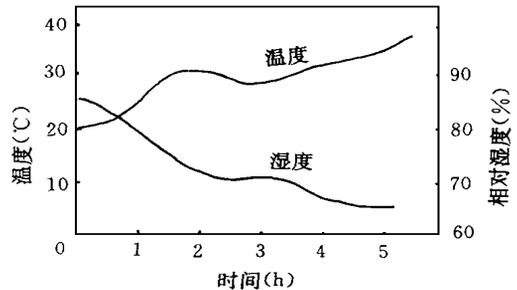


图 1 瞬变条件之温、湿变化过程

始由于温度升高、湿度降低,叶内外蒸汽压差增大,其程度大于气孔阻力增加的程度,蒸腾变大;后期,气孔基本关闭,水汽扩散阻力占绝对优势,蒸腾则减小。同样,蒸腾速率的上述变化也导致了叶温的不规则变化(图 2)。但是,冬小麦叶温、叶片光合速率和蒸腾速率的变化并非随土壤含水量的降低而等效的改变,而是存在一定的差异,其中以土壤含水量为田间持水量的 85%~100%、75%~85%、65%~75% 的水分处理的差别较小。比较叶温、叶片光合速率和蒸腾速率的差异,我们可以得出如下结论:生长在较好水分条件下的冬小麦对大气干旱(这里仅指温度升高、湿度降低、蒸腾速率增大的瞬变环境)的适应能力较强;土壤水分条件差,冬小麦对大气干旱的适应能力较弱(见图 2、图 3 和图 4)。

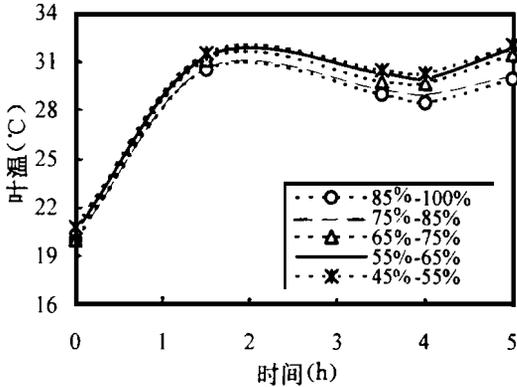


图 2 不同水分处理冬小麦叶温的差异

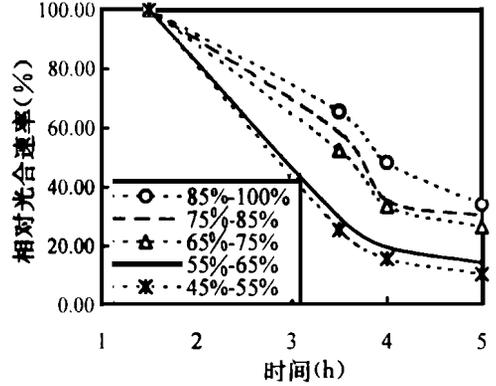


图 3 不同水分处理冬小麦叶片相对光合速率的差异

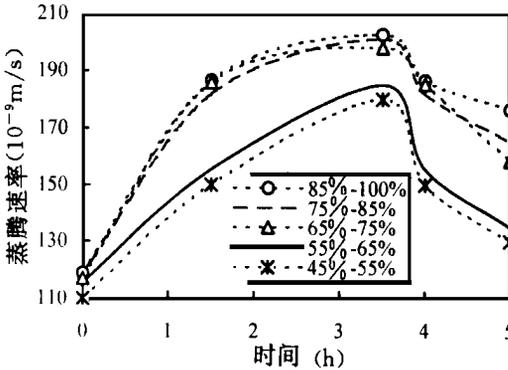


图 4 不同水分处理冬小麦蒸腾速率的差异

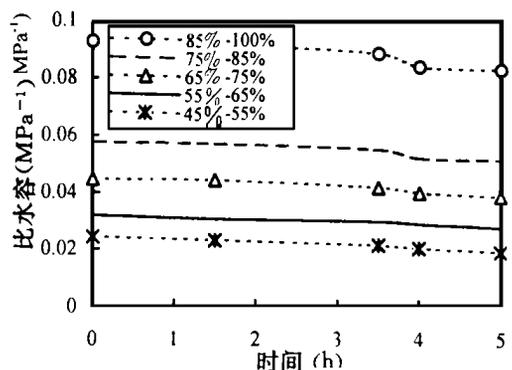


图 5 不同水分处理土壤—冬小麦系统中水容的差异

2.2 不同水分处理土壤—冬小麦系统中水容的大小和效应

植物的光合速率和其他生命活动一样,经常受到外界条件和内部因素的影响而不断地发生变化,外部条件有光照强度、二氧化碳浓度、叶温、水分(土壤水分和植物体内含水量)等;内部因素有叶龄、叶位、气孔导度和生育期等。在图 1 所示的瞬变环境条件下,影响同一水分处理的冬小麦之光合速率降低的主要因素是气温升高和湿度降低导致的叶温升高、气孔导度下降和植株体失水,因为光强、二氧化碳浓度、土壤水分在变化过程中可示为不变;而不同水分处理的冬小麦之光合速率降低的程度差异,却是由土壤水分状况和植株体内含水量的高低决定的。这也就是说,土壤和植物体的水分条件决定了植物对高温低湿型不利生态环境的适应能力。水分条件好,植株在高温低湿的逆境下仍能保持较高光合速

率;水分条件差,植株的光合速率较低或者停止。如何确立一个能同时反映土壤和植物水分状况又具动态特性的指标来评价土壤—植物系统的抗逆能力?这是下面要讨论的内容。用系统的观点和定量的手段来研究土壤—植物—大气系统中力能关系是目前常用的分析问题的方法,因此确立评价指标应从土壤—植物系统着手来考虑,指标应体现系统的共同特点。正如前言,水容是反映土壤—植物系统水分动力学性质的重要水力学参数,其大小体现了系统自我调节能力;同时,水容又是一个动态参数,随环境条件的变化而变化。我们计算了不同水分处理土壤—冬小麦系统水容的大小及在瞬变条件下的变化过程,结果见图 5。水容的另一性质是充放水特性,在本实验中表现为放水,即温度升高、湿度降低,蒸发力变大,由水势差决定的系统水流速率满足不了蒸腾的需要,植物体释水。植物体释放的水分在一定程度上可以缓解叶温的升高和气孔的关闭,进而使叶片保持较高的光合速率。表 1 是各水分处理的冬小麦释水量随温度的变化过程,反映了两个特点:第一,生长在较好水分条件下的冬小麦,植株释水量多,对高温低湿型环境的适应能力强,叶片光合速率降低得慢;第二,随温度的升高冬小麦释水量的高峰期不一样,前两种水分处理释水量的高峰期出现在第 3 时段,第 3 种水分处理释水量的高峰期出现在第 2 时段,而后两种水分处理释水量的高峰期出现在第 1 时段。这两个特点都可以从水容的动态变化过程得到体现。因此,我们初步认为可以用土壤—植物系统中总水容的大小来评价植物对不良生境的适应能力,特别是高温低湿型的热害。

表 1 不同水分处理土壤—冬小麦系统的水容效应

时 段	时段均温 ()	不同水分处理实验开始后各时段释水量(g)				
		85% ~ 100%	75% ~ 85%	65% ~ 75%	55% ~ 65%	45% ~ 55%
0 h ~ 1.5 h	22	0.046	0.038	0.032	0.058	0.045
1.5 h ~ 3.5 h	25	0.133	0.083	0.105	0.033	0.032
3.5 h ~ 4 h	30	0.210	0.131	0.080	0.046	0.041
4 h ~ 5 h	35	0.062	0.056	0.048	0.045	0.038
累 积		0.451	0.308	0.265	0.182	0.156

3 讨 论

高温低湿型热害是我国北方旱作地区冬小麦生育后期常遇到的农业气象灾害,表现为温度高、湿度低、伴有一定的风速,常与干热风害同时发生,对小麦产量影响较大。防治措施有增强植株抗热性方法、躲避高温法和环境降温法,环境降温法又分为浇麦黄水和营造农田防护林网。每种方法都有一定的效果,而浇麦黄水不失为一种直接有效的常用方法。但浇水量大,防治热害效果虽好,却浪费水资源,且又影响小麦的正常收割;量小,达不到应有的防治效果。确定适量的浇水指标则是应研究的问题。上面通过生长箱内的模拟实验,探讨了用土壤—植物系统中的总水容作为指标来评价生长在不同土壤水分条件下的冬小麦对高温低湿型热害的适应能力,结果证明用水容作为评价指标是可行的。它较惯用的“比存活时间”(在干旱胁迫条件下的存活时间)、叶片含水量等指标更具动态特性。它在一定程度上反映了土壤和植物的水分状况,其数值和变化过程又体现了植物对逆境适应能力的改变,与叶片光合速率的降低相一致。当然本研究仅在生长箱内的可控条件下进行,实验结论尚需在大田条件下验证,水容作为评价指标也需进行深入研究,但我们的

工作为水容概念的实际应用探索了一条新途径,这正是本研究的目的所在。

参 考 文 献

- [1] Van den Honert T H, Discussion of the Farady Soc., 1948, 3: 149 ~ 153.
- [2] Powell D B B. & Thorpe M R, Dynamic aspects of plant-water relations in environmental effects on crop physiology, London, Academic Press, 1977: 259 ~ 279
- [3] Bariac T, Rambal S, Jusserand C, et al. Evaluating water fluxes of field-grow alfalfa from diurnal observations of natural isotope concentrations, energy budget and ecophysiological parameters, Agric. For. Meteorol., 1989, 48: 263 ~ 283.
- [4] Kramer P J, Water relations of plants, Academic Press, 1983: 388.
- [5] Nobel P S & Jordan P W, Transpiration stream of desert species: Resistances and capacitances for a C₃, a C₄ and CAM plant, J. of Exp. Botany, 1983, 34: 1379 ~ 1391.
- [6] Sen Gupta A, Berkowitz G A & Pier P A., Maintenance of photosynthesis at low leaf water potential in wheat, Plant Physiology. 1989, 89: 1358 ~ 1365.
- [7] Turner N C, Measurement of plant water status by the pressure chamber technique, Irrigation Sci., 1988, 9: 289 ~ 308.
- [8] Wallace J S, & Biscoe P V, Water relations of winter wheat3. Component of leaf water potential and the soil-plant water potential gradient, J. Agric. 1983, 100: 581 ~ 589.
- [9] 邵明安, 陈志雄. 土壤—植物系统的水容研究[J]. 水利学报, 1992; 6: 1 ~ 8.
- [10] 黄明斌, 邵明安. 冬小麦叶水势与蒸腾速率之关系的滞后效应[J]. 科学通报, 1995; 40(12): 1137 ~ 1139.
- [11] 黄明斌, 邵明安. 土壤—植物系统瞬态流研究进展[J]. 土壤学进展, 1994; 22(3): 20 ~ 26.
- [12] 黄明斌, 邵明安. 土壤—植物系统中水流阻力和水容及相对重要性[A]. 见: 现代土壤科学研究[C]. 北京: 中国农业科技出版社, 1994: 89 ~ 94.

Hydraulic Capacitance Effect and Its Application in Soil-plant System in Unsteady Environment

HUANG Ming-bin¹, ZHANG Fu-cang², KANG Shao-zhong^{1,2}

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica and Ministry of Water Resources Yangling 712100, China;

2. Northwest Agricultural University, Yangling 712100, China)

Abstract: Hydraulic capacitance is a important hydraulic parameter to describe hydraulic dynamics of soil-plant system after hydraulic resistance. By the simulated experiment in this paper, hydraulic capacitance effect was further understood, and the function of hydraulic capacitance in plants resistance to environment with relatively high temperature and low humidity was analysed, and hydraulic capacitance as a index to evaluate adaptability of winter wheat to adversity under different soil water was discussed.

Key words: soil-plant system; unsteady environment; hydraulic capacitance; simulated experiment