

# 高产冬小麦叶水势的变化特点与节水调控\*

马瑞昆 蹇家利 贾秀领 刘淑贞

(河北省农林科学院粮油作物研究所, 石家庄 050031)

**摘 要** 1986~1990 四个年度研究结果显示, 叶水势日变化因供水及生育时期而不同。黎明前叶水势随生育进程而变化, 开花期出现明显低谷, 与土壤水分动态变化不一致; 午后叶水势具有规律的阶段性变化, 且因不同水文年型出现年际间差异。叶水势与土壤含水量呈曲线关系, 随生育进程, 叶水势与深层土壤水分的相关性增强。开花期叶水势与产量关系最为密切。前控式节水栽培可通过渗透调节维持较高膨压而高产。提出了不同水文年型高产节水主要生育期午后叶水势下限指标。

**关键词** 冬小麦 节水 叶水势 土壤水分

小麦蒸腾耗水, 降低叶水势, 从而拉动输导组织里的水柱, 使水在土壤-作物-大气连续体系中移动。植株水分状况能较好反映这个体系的特点<sup>[1, 8, 9]</sup>。植株水分状况的动态变化直接或间接影响营养吸收<sup>[9, 10]</sup>, 光合生产<sup>[2, 6, 9, 10]</sup>, 及物质运转和代谢<sup>[6, 9, 10]</sup>, 并决定最终产量形成<sup>[1, 2, 5, 8, 9]</sup>。叶水势高低与产量关系密切<sup>[1, 8]</sup>, 且因环境因素而变化<sup>[7]</sup>, 供水-产量复合模式阐明了高产小麦节水栽培是可能和可行的<sup>[5]</sup>。本文研究供水对植株叶水势的影响, 为小麦高产节水栽培提供生理依据。

## 1 材料和方法

试验于 1986~1990 四年度在石家庄河北省粮油作物研究所试验农场进行。田间(包括旱棚生理池)试验详情及各年度小麦生育期降水情况见文献[5]。1989~1990 年增设田间试验; 品种为冀麦 30, 节水处理于挑旗、开花期灌二次水, 共 110mm, 足水处理于越冬、挑旗和开花期灌三次水, 共 224mm, 生育期降水 257mm, 随机区组, 三次重复。1988~1989 年度盆栽试验; 品种为冀麦 30, 共设 16 个阶段水分胁迫处理, 完全随机, 四次重复。盆栽土壤为砂壤土, 播前施足底肥, 10 月 7 日足墒播种, 水分胁迫阶段遮盖防雨。

叶水势( $\psi_l$ )应用改进的压力室技术<sup>[3, 4]</sup>测定, 并对某些处理进行 PV 曲线分析。土壤水分用土钻取土烘干称重法测定。成熟期收获测产。

1994-01-10 收稿。

\* 国家自然科学基金课题的部分内容。

2、 结果与讨论

2.1 田间试验

2.1.1 叶水势日变化 (1) 供水的影响 叶水势( $\psi_l$ )日变化总趋势为早晨较高,并随时间推移而下降,午后逐渐回升。在不同供水条件和不同生育时期,叶水势的这种变化趋势亦不相同(图1)。从生育期来看,返青期(3月/10日)低谷值出现较晚(午后2时左右),低谷持续时间短且恢复较快;挑旗期(4/24)和开花期(5/11) $\psi_l$ 低谷提前出现,并且

时间延长。三次测定比较表明,就12~17时 $\psi_l$ 而言,挑旗期高于其它两个生育期。从图1还可看出,4月24日土壤水分已比3月10日明显降低,而植株却能保持较高叶水势,可能是因为水分供需关系的调节所致。从不同供水处理情况看,5月11日旱区 $\psi_l$ 日变化曲线明显降低。前控节水区略低于足水,但不明显。

(2) 阶段水分胁迫的影响 拔节前控水(前控)和拔节至开花控水(中控)处理之开花期 $\psi_l$ 日变化方式不同,前控处理(5月11日前浇水二次)(4月3日和4月26日共140mm),与足水处理(测前已浇4次水共350mm)相比,其 $\psi_l$ 降

低较少,中控处理的浇水量(次)与前控相同,但时间不同(于11月23日和3月12日灌水二次), $\psi_l$ 日变化曲线却明显低于前控和足水处理。开花期是水反应敏感阶段<sup>[8~10]</sup>,因此维持较高 $\psi_l$ 对稳定穗部花器官发育及授粉受精增粒增重有重要作用<sup>[8]</sup>。

2.1.2 叶水势随生育进程的变化 (1) 黎明前叶水势( $\psi_l^{pre}$ )  $\psi_l^{pre}$ 随生育进程变化两个年度趋势一致(图2)。足水区开花前 $\psi_l^{pre}$ 一直保持较高水平,拔节、挑旗阶段更高,但在开花期,即使供水较充足,也出现较明显低谷。各阶段水分胁迫均对当时的 $\psi_l$ 产生影响,前控节水对 $\psi_l^{pre}$ 的降低可维持到生育后期,在这种轻度水分胁迫下小麦仍能获得高产<sup>[5]</sup>。开花期 $\psi_l^{pre}$ 出现明显低谷特别值得注意。看来开花前后,小麦蒸腾耗水大大超过根际土壤供水,因此,一个夜晚土壤植株的水分平衡难以恢复<sup>[11]</sup>,不同程度地影响光合功能和物质代谢<sup>[6]</sup>。进一步分析发现,开花期 $\psi_l^{pre}$ 与产量相关极显著,而在拔节前二者的相关程度较低(表1)。由此看来,拔节后尤其开花前后维持较高 $\psi_l^{pre}$ 对冬小麦产量形成至关重要。

表1 叶水势与产量的相关性

时 间		返青期	拔节期	开花期	灌浆期
1987~1988	黎明前	0.654	0.717*	0.907**	0.3858
	午 后	0.688	0.281	0.929**	0.9496**
1989~1990	午 后	—	0.541	0.860*	0.752

\*, \*\* 分别表示在 P=0.05, 0.01 水平上相关显著。

(2) 午后叶水势  $\psi_l^{\text{mid}}$  研究表明, 午后一段时间内  $\psi_l$  降低到谷, 因此它可较好代表植株受水分胁迫的程度。

连续三年对  $\psi_l^{\text{mid}}$  随生育进程变化的研究 (图 2, 图 3) 显示, 冬前  $\psi_l^{\text{mid}}$  随生长发育逐渐降低 (1990 年)。返青后  $\psi_l^{\text{mid}}$  动态变化因冬春降水、灌水而不同。以冬春降水年际间差异影响最大。1989~1990 年度, 冬春降水多<sup>[5]</sup>, 导致在大田于挑旗前  $\psi_l^{\text{mid}}$  一直呈上升变化; 旱棚试验虽未接纳降水, 但多阴雨湿润天气也使拔节前  $\psi_l^{\text{mid}}$  升高。拔节至挑旗期间维持较高  $\psi_l^{\text{mid}}$ , 但低于大田  $\psi_l^{\text{mid}}$  峰值。1987~1988 年度越冬至开花期间降水较少, 开花后降水多, 且集中于灌浆后期, 因此, 本年度  $\psi_l^{\text{mid}}$  平均水平低于 1989~1990 年度。各处理  $\psi_l^{\text{mid}}$  均呈返青期低拔节期升高至峰值的变化趋势, 与 1989~1990 年度相近, 但峰值维持时间较短。1988~1989 年度冬前无降水, 返青至成熟期间共降水 83.5mm, 属少水年份, 此年度  $\psi_l^{\text{mid}}$  变化较平缓, 拔节期未出现明显峰值。

进一步分析供水量间差异表明, 干旱区  $\psi_l^{\text{mid}}$  明显低于供水区  $\psi_l^{\text{mid}}$ , 且随生育进程差异逐渐增大 (图 2)。节水处理与足水处理之间在返青至拔节期间也有一定差异, 拔节后, 随节水区复水, 二者差异变小, 但节水处理  $\psi_l^{\text{mid}}$  总水平低于足水处理 (图 2、图 3)。

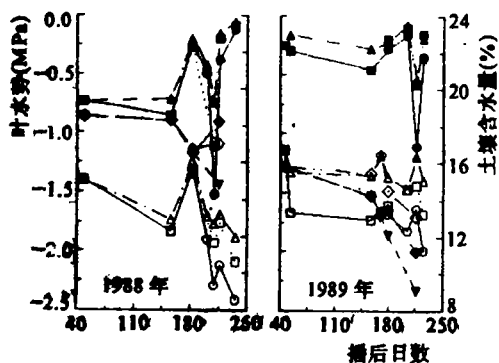


图 2 叶水势与土壤水分随生育的变化

●■▲分别为旱区、节水和足水区黎明前叶水势  
○□△为相应处理午后叶水势  
◆◇▽为相应处理土壤含水量

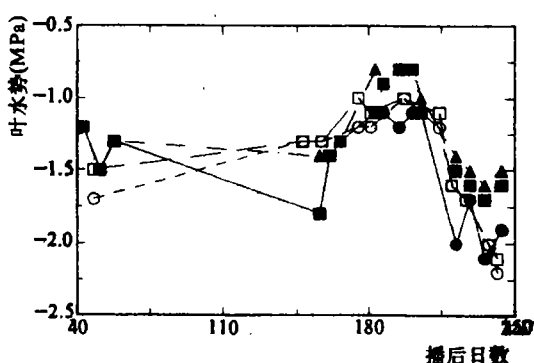


图 3 午后叶水势随生育进程的变化及供水差异, (1990)

●■▲旱棚试验旱区、节水区和足水区  
○□ 田间试验节水区和足水区

2.1.3 叶水势与土壤供水关系 动态分析表明,  $\psi_l$  并不完全随生育进程与土壤水分同步变化 (图 2) 看来  $\psi_l$  既与土壤水分关系密切, 又因其它因素而变化<sup>[7, 9, 11]</sup>, 但同一时期内土壤水分是造成  $\psi_l$  差异的主导因素。1988~1989 年度, 冬前各处理间没有差异, 返青后足水区 (浇越冬水) 比未冬灌前控区土壤多蓄水 34.4mm, 相应  $\psi_l^{\text{mid}}$  高 0.37MPa; 起身期足水区已浇二次水 (140mm), 土壤水分比前控区多 91.6mm, 而  $\psi_l^{\text{mid}}$  高 0.47MPa; 拔节期足水区浇二次水, 前控浇一次水 (80mm), 前者比后者多 20.3mm 水,  $\psi_l^{\text{mid}}$  高 0.24MPa。开花期土壤水分和  $\psi_l^{\text{mid}}$  相关系数为 0.997\*, 说明  $\psi_l^{\text{mid}}$  降低程度明显受水分供应状况影响。节水处理比足水处理少 56.9mm, 其  $\psi_l^{\text{mid}}$  相应低 0.24MPa。由此看出节水区不论土壤水分还是  $\psi_l^{\text{mid}}$  在复水后难以恢复到足水区的水平。

进一步分析显示, 前期  $\psi_l$  与浅层土壤水分关系密切 拔节后  $\psi_l$  的维持则更多地依赖于

深层土壤水分状况（表 2）。

表 2 不同土层土壤含水量(%)与叶水势的相关性 (1989)

日期(月·日)	土层深度(cm)	叶水势( $\psi_l$ )	相关系数
3.25	0~40	午 后	0.997*
4.4	0~40	黎明前	0.930
4.4	40~100	午 后	0.959*
5.10	100~200	黎明前	0.956*
5.10	40~100	午 后	0.898*

综合各年度结果，可以基本确定高产节水栽培的  $\psi_l^{\text{mid}}$  低限值。不同水文年型其阈值亦不同（表 3）。各生育期不低于表 3 所述  $\psi_l^{\text{mid}}$  范围，小麦即可发育良好，获得高产。

表 3 不同生育阶段高产节水的午后叶水势阈值（MPa）

水文年型	冬 前	返青期	拔节期	挑旗期	开花期	灌浆期	成熟期
少水平水年(200mm)	-1.7	-1.8	-1.6	-1.5	-1.4	-1.7	-2.1
丰水年(> 200mm)	-1.7	-1.6	-1.3	-1.0	-1.2	-1.7	-2.1

2.1.4 叶水势组分分析 活体植株叶水势 ( $\psi_l$ ) 与其组分渗透势 ( $\psi_s$ ) 和膨压 ( $\psi_p$ ) 间关系为： $\psi_l = \psi_s + \psi_p$ ，即  $\psi_p = \psi_l - \psi_s$ 。膨压是作物正常生理活动功能所必需的<sup>[9, 10]</sup>，提高渗透调节能力可降低  $\psi_s$  以维持较高  $\psi_p$ 。由表 4 看出，拔节期（4 月 7 日）前控节水区的饱和渗透势 ( $\pi_{100}$ ) 和零膨压渗透势 ( $\pi_0$ ) 与已浇二次水的足水区有差异，表现出一定渗透调节功能。另外，黎明前膨压 ( $\psi_p^{\text{pre}}$ ) 较高，处理间没有差别，午后两处理膨压 ( $\psi_p^{\text{mid}}$ ) 都在零以上。由此表明前期水分胁迫产生渗透调节，膨压降低较慢，小麦适应逆境能力增强。

表 4  $\pi_{100}$ 、 $\pi_0$  和  $\psi_p$  的处理差异(MPa) (1988 年)

处 理	$\pi_{100}$	$\pi_0$	$\psi_p^{\text{pre}}$	$\psi_p^{\text{mid}}$
	-1.26	-1.44	1.01	0.09节水区
足水区	-1.13	-1.34	1.03	0.17

2.2 盆栽试验

各水分胁迫处理结束前同时测定叶水势和土壤水分。就足水处理而言，每次给水前  $\psi_l^{\text{pre}}$  随土壤含水量而变化，而  $\psi_l^{\text{mid}}$  却不完全随之变化，阶段控水期间， $\psi_l^{\text{pre}}$  和  $\psi_l^{\text{mid}}$  下降明显多。 $\psi_l^{\text{pre}}$  降低与土壤水分下降相一致。反映了土壤水分状况的变化， $\psi_l^{\text{mid}}$  既受土壤水分制约<sup>[8, 9]</sup>，也受环境影响<sup>[7]</sup>，反映出作物与土壤和大气的水分动态平衡关系<sup>[7, 9]</sup>，阶段控

水的  $\psi_1$  反应与产量反应并非完全一致。拔节前控水,  $\psi_1$  明显降低对产量没有严重影响, 表现出前期植株对干旱的较强耐性<sup>[8~10]</sup>; 这与田间阶段控水试验结果相吻合。将土壤含水量对  $\psi_1$  作图 (图 4) 表明, 在很大范围内, 随土壤含水量的下降,  $\psi_1^{\text{pre}}$  和  $\psi_1^{\text{mid}}$  降低很少; 仅当土壤含水量达某一界限值 (7%) 后,  $\psi_1$  才开始急剧降低。这一转折点的  $\psi_1^{\text{pre}}$  值约为  $-0.4\text{MPa}$ ,  $\psi_1^{\text{mid}}$  值约为  $-1.6\text{MPa}$ , 与田间试验结果相近。

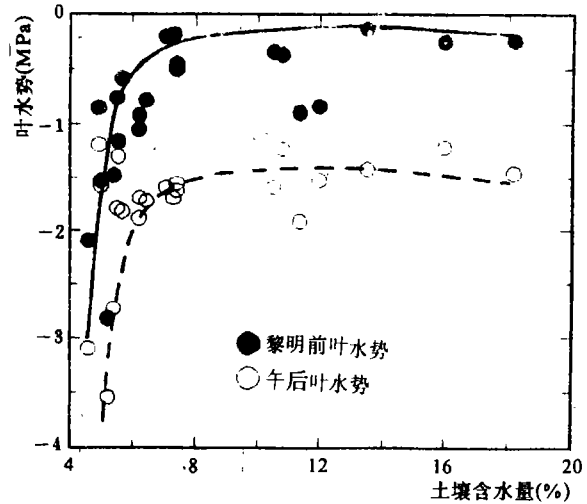


图 4 叶水势与土壤水分的关系 (盆栽, 1989)

### 3 结论

叶水势是标明作物在一定环境条件下植株水分状况的适宜指标, 在小麦蒸腾过程中,  $\psi_1$  降低不可避免, 关键是维持叶片膨压使生理功能正常进行。本研究结果表明, 前控式节水栽培, 可维持较高  $\psi_1$ , 诱发渗透调节, 维持正常膨压节水高产。

### 参 考 文 献

- 1 马瑞昆, Green CF. 冬小麦水分胁迫对产量、植株和土壤水分关系影响的分析, 见: 中国作物栽培生理学术研讨会论文汇集(上册), 1988, 6
- 2 马瑞昆, 蹇家利. 试论冬小麦节水高产栽培的生理基础. 见: 河北省农学会等编. 粮食问题的思考. 北京: 学术期刊出版社, 1989, 151~160
- 3 马瑞昆, 蹇家利. PV曲线压力室技术的改进. 植物生理学通讯, 1990 (4): 65~67
- 4 马瑞昆, 蹇家利. 综述压力室技术在植物抗逆研究中的应用. 见: 赵可夫主编. 植物抗性生理研究. 济南: 山东科学技术出版社, 1992, 16~21
- 5 马瑞昆等. 冬小麦供水和种植密度与产量关系的数学模型. 华北农学报, 1991, 6 (增刊): 96~102
- 6 马瑞昆. 冬小麦前期蹲苗及密度对糖代谢和光合参数影响的动态分析. 见: 刘锡山主编. 冬小麦栽培研究. 北京: 中国科学技术出版社, 1992: 93~104
- 7 康绍忠等. 冬小麦叶片水势、气孔阻力、蒸腾速率与环境因素的关系. 灌溉排水, 1991, 10 (3): 1~6
- 8 Ma RK. Water stress in tall and dwarf cultivars of winter wheat. M Phil Thesis, University of Nottingham, 1986
- 9 Teare ID and Peet MM. Crop-Water Relations. John Wiley & Sons, New York, 1983
- 10 Turner NC. Drought resistance and adaption to water deficits in crop plants. In: Mussell H and Staples

RC ed. Stress Physiology in Crop Plants. John Wiley & Sons, New York, 1979:272~343

- 11 Laker MC et al. Pre-dawn leaf water potential as an indicator of plant water stress—with a special reference to problems encountered under conditions of high evaporative demand. In: International Conference on Measurement of Soil and Plant Water Status, 1987,2:25~29

## Characteristics of Changes in Leaf Water Potential and Water Saving Regulation in High-yielding Winter Wheat

Ma Ruikun Jian Jiali Jia Xiuling Liu Shuzhen

(Institute of Cereal and Oil Crops, Hebei Academy of Agricultural  
and Forestry Sciences, Shijiazhuang 050031)

**Abstract** Based on 4-years' study during 1986 to 1990, diurnal changes in leaf water potential varied with water amount and timing, and growth stages. Changes in leaf water potential with growth advance showed that sharp declines in pre-dawn leaf water potential occurred at the anthesis stage. This was inconsistent with the change in soil water content. Mid-day leaf water potential changed periodically and varied among years with different seasonal rainfall. There was a curvilinear relation between leaf water potential and soil water content, and the correlation of leaf water potential to soil water content in deeper layers increased with growth stage. There was a close relation between leaf water potential at the anthesis stage and yield. Water-saving practice by early stress could allow wheat to achieve high yield by induced osmotic regulation and turgor maintenance. Thresholds of mid-day leaf water potential at major growth stages for water saving and high yield were suggested based on seasonal rainfall patterns.

**Key words:** Winter wheat; Water-saving; Pre-dawn leaf water potential; Mid-day leaf water potential; Soil water content