

中国理论物理学家与生物学家结合的典范 ——回顾汤佩松和王竹溪先生对植物细胞水分关系研究的历史性贡献* (上)

刘 寄 星[†]

(中国科学院理论物理研究所 北京 100080)

摘 要 文章介绍了我国生物学家汤佩松先生和理论物理学家王竹溪先生 42 年前在植物生理学方面作出的一项具有重要历史意义的贡献. 他们于 1941 年先于西方科学家二十多年提出解释植物细胞水分关系的热力学理论, 首先引入了水势概念. 然而这项贡献一直被埋没四十多年才得到承认. 文章分析了汤佩松和王竹溪先生工作的内容、历史地位及其产生的背景, 讨论了其在国内外的遭遇的原因及今日应当从中记取的教训.

关键词 水势, 植物细胞水分关系, 热力学

Chinese scientists were the first to introduce the water potential concept into plant physiology

LIU Ji-Xing[†]

(*Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*)

Abstract The great contribution to plant physiology made by two Chinese scientists P. S. Tang and J. S. Wang in 1941 is recalled. Their pioneering paper "Thermodynamic formulation of water relation in an isolated living cell" was the first in the world to propose the water potential concept more than 20 years earlier than western scientists, but this contribution was ignored and forgotten for over 40 years. The main ideas of their paper, the historical background under which it was written, its subsequent neglect and the lessons we should draw from its fate are analyzed.

Key words water potential, water relation of plant cell, thermodynamics

1 引言——一个真实的故事

1940 年 8 月 9 日, 美国《物理化学杂志》(*Journal of Physical Chemistry*)编辑部收到一篇寄自抗日战争烈火纷飞中的中国的一篇来稿, 来稿具体地址是中国昆明国立清华大学生理学实验室和物理系, 作者为汤佩松和王竹溪(以下简称汤、王). 他们所寄论文的标题是 "Thermodynamic formulation of water relation in an isolated living cell". 之后, 这篇论文未经修改被发表在 1941 年出版的该刊第 45 卷第 2 期上^[1] (见图 1). 次年, 论文的摘要被收入美国《生物学文

摘》杂志(*Biological Abstracts*, 1942, 16: 2758)^[2,3]. 再后来, 无论在中国还是在外国, 这篇文章就很少被人提起或者几乎被遗忘了, 尽管这篇文章解决了当时描述植物细胞中水分运动的一个极为关键的问题.

在这篇论文发表之后 40 多年, 先是在 1984 年的 *Newsletter of American Society of Plant Physiology* 杂志^[2], 后是在 *Plant, Cell and Environment* 杂志^[3], 相继由同一作者发表了两篇内容基本相同的短文, 对汤、王 1941 年的文章作了极大的肯定. 在

* 2002-10-14 收到初稿, 2003-04-01 修回

† E-mail: ljx@itp.ac.cn

3. The dehydrating catalysts, alumina and thoris, are effective activators of copper for the hydrogenation of benzene; this would not be predicted from Medsforth's explanation of promoter action.

The authors express their thanks to Mr. W. J. Cerveny for much of the experimental work, and to Dr. W. C. Pierce, of the University of Chicago, for the spectroscopic analyses of the copper-chromia and copper-alumina series.

REFERENCES

- (1) ARMSTRONG AND HILDEBRAND: Proc. Roy. Soc. (London) 102, 27 (1925).
(2) CORSON AND FRATTEFF: J. Phys. Chem. 46, 431 (1941).
(3) DEWAR AND LIEBMAN: U. S. patent 2,268,502 (1918).
(4) FRATTEFF, CORSON, AND KURBATOV: J. Phys. Chem. 43, 585 (1939).
(5) FRATTEFF, CORSON, AND KURBATOV: J. Phys. Chem. 44, 670 (1940).
(6) JULIARD: Bull. soc. chim. Belg. 46, 548 (1937).
(7) JULIARD AND HERBO: Bull. soc. chim. Belg. 47, 717 (1938).
(8) LIEBMAN: British patent 12,981 (1913).
(9) MEDSFORTH: J. Chem. Soc. 123, 1452 (1923).
(10) ROGERS: J. Am. Chem. Soc. 49, 1432 (1927).
(11) TAYLOR AND STARKWEATHER: J. Am. Chem. Soc. 52, 2314 (1930).

A THERMODYNAMIC FORMULATION OF THE WATER RELATIONS IN AN ISOLATED LIVING CELL

P. S. TANG AND J. S. WANG

The Physiological Laboratory and the Department of Physics, National Tsing Hua University, Kunming, China

Received August 9, 1940

I

The simple osmometer concept has been applied with advantage to studies on permeability to water in animal cells (7) and to studies on the water relations in plant cells (9). Although the concept has proved useful for the purposes mentioned, the ambiguity arising from the use of the terms "turgor pressure," "suction pressure," "wall pressure," "osmotic pressure," etc. (cf. (9)) in the analysis of the water relations in plant cells indicates that the water relations of living cells may perhaps be treated with more lucidity in other ways. In this account an analysis of the movement of water through an isolated living cell is made with the aid of certain relations in thermodynamics.

We shall consider an isolated spherical vacuolated plant cell which has been plasmolysed until the protoplasmic mass is detached from the cell

Correspondence

AN EARLY DISCUSSION OF CELL WATER RELATIONS IN THERMODYNAMIC TERMINOLOGY.

Early in the 20th century plant physiologists began to realize that water movement in and out of plant cells is not controlled by differences in osmotic pressure, but by differences in what was variously termed suction force, suction tension, net osmotic pressure, hydrature, or, finally, diffusion pressure quotient (Meyer, 1938). None of these terms had a satisfactory scientific basis in physical chemistry or thermodynamics. The need for a more soundly based terminology was recognized by a few plant scientists who introduced terms such as specific free energy (Elielien, 1941), net influx free energy (Broyer, 1947), and finally the term water potential.

According to Weatherly (1951) and Owen (1952), the term water potential was first used by R. K. Schofield during the discussion at a meeting on water movement in plants sponsored by the Faraday Society at Rostamised in 1949. The term came into increased use after a paper by Slayter and Taylor appeared in Nature in 1960, apparently stimulated by discussion at a symposium in Madrid in 1959 (Milthorpe, 1960). However, use of the term potential had been proposed much earlier by Tang & Wang (1941) in an overlooked paper entitled, "A thermodynamic formulation of water relations in a living cell". This paper developed a thermodynamic treatment of water movement in terms of its chemical potential inside and outside of the cell. It was pointed out that water will enter cells if its potential is greater outside than inside or move out of cells if the potential is greater inside than outside, and that osmotic equilibrium occurs when the chemical potential of water is equal inside and outside. It was also stated that the difference between the chemical potentials of water inside and outside of cells corresponds to what was then termed "suction force", "suction pressure", or "diffusion pressure deficit". The writers stated that one measure of the chemical potential of water in a solution is the partial vapour pressure of water in equilibrium with the solution. This principle is widely used today in vapour pressure osmometers and thermocouple psychrometers to measure water potential.

In retrospect, it seems strange that the Tang and Wang paper was not cited in any of the contemporary papers dealing with the terminology of water relations, because it contained all the elements of a modern thermodynamic treatment of the topic. Perhaps this was because it was published in a journal seldom read by plant physiologists and those who understood it were not interested in water relations while those interested in cell water relations

either did not see it or did not understand it. However, there also was an abstract in Biological Abstracts, 16, 2758 (1942). Apparently the paper by Tang and Wang was so far ahead of its time that plant physiologists did not appreciate it. In any event, it is the earliest treatment of cell water relations in thermodynamic terminology of which the author is aware, and much better than any other contemporary paper on cell water relations.

I hope this note will make amends to some degree for our long neglect of Tang and Wang's pioneer paper on the thermodynamics of cell water relations.

There probably are many other instances of ignorance or neglect of earlier observations. According to Sheriff (1979) it was observed as early as 1868 that guard cells respond to the humidity of the air and in 1898 Darwin observed stomatal closure when plants were moved from humid to dry air. However, it was not until the 1970's that direct response of guard cells to humidity was found to be of common occurrence. Plasmodesmata have been known for over a century (Tang, 1879) and in 1897 Pfeffer stated that they must function in the transport of materials and stimuli from cell to cell. However, it is only during the last two decades that much attention has been given to their physiological importance (Gunning & Roberts, 1976).

It appears that even the best of ideas are not accepted by the scientific public until the intellectual climate is favourable. Plant scientists were not ready for the potential terminology in 1941 or even in 1951, but they accepted it in the 1960s.

P. J. KRAMER
Department of Botany
Duke University
Durham NC 27706, U.S.A.

References

- Broyer, T.C. (1947) The movement of materials into plants. Botanical Review, 13, 1-58.
Darwin, F. (1898) Observations on stomata. Philosophical Transactions of the Royal Society (London), B190, 531-622.
Elielien, W.E. (1941) Some thermodynamic aspects of the use of soil moisture by plants. Transactions of the American Geophysical Union, 22, 917-940.
Gunning, B.E.S. & Roberts, A.W. (eds) (1976) Intercellular Communications in Plants: Studies on Plasmodesmata. Springer-Verlag, Berlin and New York.
Meyer, E.S. (1938) The water relations of plant cells. Botanical Review, 4, 531-547.
Milthorpe, F.L. (1960) Water relationships of plants in arid and semiarid conditions. Nature, 185, 435-456.
Owen, P.C. (1952) The relation of germination of wheat to water potential. Journal of Experimental Botany, 3, 188-203.
Pfeffer, W. (1897) Pflanzenphysiologie. Engelmann, Leipzig.
Sheriff, D.W. (1979) Stomatal aperture and the sensing of the environment by guard cells. Plant, Cell and Environment, 2, 15-22.

后, 强调指出:

"但是, 在一篇被忽略了的文章 'Thermodynamic formulation of water relation in an isolated living cell' (1941) 中, 汤 (佩松) 和王 (竹溪) 已经远早于他人提出使用 '势'. 这篇论文利用细胞内、外水的化学势发展了对 (植物细胞) 水分运动的热力学处理方法. 该文指出, 如果细胞外水的化学势大于细胞内水的化学势, 水将流入细胞, 而如果细胞内的势大于细胞外的势, 水将流出. 而且, 在细胞内外水的化学势相等时达到渗透平衡. 该文还阐明, 细胞内、外水的化学势之差相应于当时所谓的 '吸水力', '吸水压', 或 '扩散压亏损'."

"回想往事, 令人奇怪的是在讨论 (植物) 水分关系术语的同时代的论文中没有任何一篇引用汤、王的论文, 尽管该文已经包含了对此一论题进行现代热力学处理的全部原理."

"显然, 汤、王的论文远远超越了他们所在的时代, 以至于当时的植物生理学家难以理解其重要性. 无论如何, 就作者所知, 该文是最早用热力学学术语处理细胞水分关系的工作, 而且比当时任何一篇论述细胞水分关系的文章都好得多."

事情回到中国, 当时的中国植物生理学界正在我国的《植物生理学通讯》刊物上开展从 1981 年开始的有关理解植物水势概念的讨论. 这是中国植物学界关于植物细胞水分运动的第二次讨论 [4, 5]. 第一次讨论发生在 1956—1958 年, 汤佩松、王竹溪二位先生都踊跃参加了讨论, 重申了他们 1941 年论文的观点 [6—9], 但未获响应. 第二次讨论期间, 传来了 Kramer 文章发表的消息. 于是《植物生理学通讯》在 1985 年第 3 期全文刊登了汤、王 1941 年论文的中文译文 [10], 并在重载该文的编著按中指出:

"(水势概念的基本内容和水势测量的基本原理) 这两点, 早在 1941 年已由汤佩松、王竹溪的论文提出来了. 但这篇论文长期以来未引起国内外学术界的重视. 为了发扬我国科学家的首创精神, 再认识该文在国际植物生理学史上的重要地位, 也鉴于国内同志或恐多有未见该文者, 现在我们.....特将汤、王的论文译出重载, 供大家研究讨论."

一篇产生于战乱期间的论文, 历经 44 年, 终于得到中外学术界的正式承认, 可喜可贺. 然而可惜的是论文作者之一王竹溪先生已于 1983 年 1 月 30 日去世, 生前未获佳音. 但值得欣慰的是, 汤佩松先生虽已进入耄耋之年, 不仅看到了自己工作的被承认, 而且在他 85 岁高龄之际, 撰写了一篇长达十二万多

图 1 汤、王论文首页 (上) 及 Kramer 短文 (下) 的缩小复印件

这两篇由 Duke 大学植物系教授 Kramer 撰写的文章中, 作者在简述了国际植物生理学界发生在 1960 年前后的关于植物细胞中水的运动规律描述的历史性变革, 即由吸水力描述到水势描述的变革的过程之

字的学习、工作回忆录,题名寓意深长——《为接朝霞顾夕阳》^[11,12]。借助于汤先生生动的回顾和其他参考资料,笔者努力追溯了这篇文章产生的过程和产生的条件,并对文章发表后的曲折的命运和我们应当从中得到的启示和教益作了若干思考。

汤、王二位先生这篇文章,由于国内植物生理学界两次开展水势问题讨论,植物生理学家知道的较多。但由于各种原因,中国物理学家知其者反而为数不多¹⁾。现将调研此文所得的一些情况和思考提供

出来,期望能对今天正在开展交叉学科研究的同行们有所裨益,并谨以此文纪念王竹溪先生逝世 20 周年。

本文将围绕以下几点内容展开:

- 汤、王论文论述了什么?
- 汤、王论文为什么如此重要?
- 汤、王论文是怎样产生的?
- 汤王论文的产生和在国内外的命运留给我们

哪些启示?

背景材料



汤佩松(1903—2001)湖北浠水人,中国植物生理学家,普通生理学家与生物化学家。与李继侗、罗宗洛一起并称为中国植物生理学奠基人。1917 年入清华学校,1925 年—1930 年在美国留学,1930 年获 Johns Hopkins 大学博士学位,1930—1933 年在哈佛(Harvard)大学从事教学与研究。1933 年回国在武汉大学建立普通生理实验室,1937 年筹建贵阳医学院。1938—1946 年任西南联合大学清华农业研究所植物生理研究室主任,1946 年任清华大学农学院院长。1948 年被选为中央研究院院士,1949 年 10 月—1952 年任北京农业大学校务委员会副主任委员,1952—1954 年任中国科学院植物生理研究所研究员,1954 年起任北京大学植物生理教研室主任,1955 年被选为中国科学院学部委员,1956 年组建中国科学院北京植物生理研究室并任主任。1962 年任中国科学院植物研究所副所长,1979 年任所长。

汤佩松长期进行植物细胞呼吸与光合作用研究,从 1932 年起有多项重大发现,包括 1932 年发现细胞色素氧化酶,1948 年发现叶绿体中存在碳酸酐酶,1956 年与同事发现水稻幼苗中存在的硝酸还原酶是一种诱导酶等。1965 年提出植物呼吸代谢多条路线论点。他的研究成果得到国际同行的高度评价。除研究工作外,汤佩松对中国生物学人才培养与期刊建设有特殊贡献。



王竹溪(1911—1983)湖北省公安县人,中国理论物理学家。1933 年毕业于清华大学物理系,1933—1935 年在清华大学研究院学习。1935—1938 年在英国剑桥大学留学,1938 年获博士学位。1938 年秋回国任西南联大物理系教授。1946—1952 年任清华大学物理系教授,从 1952 年至逝世,历任北京大学物理系教授,理论物理教研室主任,理论物理研究所所长,北京大学副校长。1955 年被选为中国科学院学部委员。

王竹溪对统计物理学和热力学有重要贡献,特别在多元系复相平衡与稳定性的热力学理论方面,王竹溪发展了普遍数学理论。除研究工作外,王竹溪在培养物理人才和推进中国物理学名词术语标准化方面贡献卓越。他撰写的《热力学》(1955)、《统计物理学导论》(1956)以及他与郭敦仁合著的《特殊函数概论》(1965)至今仍是理论物理学家的重要参考书。他审定了《英汉物理学词汇》22 000 个词条,均逐一推敲,选择最准确的术语。他担任《物理学报》主编 30 多年,并担任《中国大百科全书·物理卷》主编。王竹溪知识渊博,文、理两科都有很高的造诣,他编撰的《新部首大字典》是我国收字最多的字典。

1)关于王竹溪先生在植物细胞水势研究方面的贡献,王正行教授为沈克琦先生主编的《中国科学技术专家传略·理学编·物理学卷 I》(河北教育出版社,1996)所撰的《王竹溪》一文中有一节作了专门介绍。惜乎该书发行数量仅寥寥千册,难以令物理学界同行皆知。

2 植物细胞吸水、排水描述理论体系的历史演变

植物细胞如何与外界交换水分,是植物生理学的一个基本问题.植物生理学界对此问题的认识,历经百年变迁.在这一漫长历史时期中,先后出现过描述植物细胞吸水、排水规律的三种判据^[13].

2.1 渗透压判据(1880—1920)

1868年,Traube M制造出半透膜,10年后植物生理学家Pfeffer通过半透膜实验发现关于溶液渗透的两条经验规律,即溶液的渗透压与其浓度和温度成正比.据此,物理化学家van't Hoff提出稀溶液的状态方程 $pV = nRT$,其中 p 为溶液的渗透压.之后Pfeffer与de Vries将渗透原理引进植物生理学,并用来解释植物细胞的吸水、排水问题.

成熟的植物细胞具有一个大的液泡.把液泡内的液体当作溶液,它就具有产生渗透压的性质.此时,可以把液泡内溶液与其周围环境的水当作被植物细胞原生质“半透膜”隔开的渗透体系,细胞内外水分流动的趋向与限度即可用半透膜内外两种溶液的渗透压的差值来描述.设细胞内液的渗透压为 p ,外液渗透压为 p' ,水分流动的渗透压判据即为 $\Delta p = p - p'$.由此一判据作出的水分流动判断为

$\Delta p > 0$ 细胞吸水;

$\Delta p < 0$ 细胞排水;

$\Delta p = 0$ 细胞内外水分平衡.

这一判据在国际植物生理学界沿用了约40年之久.

2.2 吸水力判据(1920—1966)

20世纪20年代前后,植物生理学界对于植物细胞吸水力的认识有了一个重要进展,即人们认识到细胞的吸水力不应当完全由渗透压决定,还应当考虑阻碍液泡吸水的另外一个压力.这个压力的来源是,由于液泡吸水后体积膨胀,通过细胞原生质对细胞壁产生压力(即所谓膨压 T),弹性有限的细胞壁本身对细胞原生质施加反压力,阻碍其继续吸水.因此细胞吸水力 S 应等于渗透压与膨压之差 $S = p - T$.从而使判断细胞内外水分流动方向的判据变成吸水力判据 ΔS .根据此一判据,

$\Delta S > 0$ 细胞吸水;

$\Delta S < 0$ 细胞排水;

$\Delta S = 0$ 细胞内外水分平衡.

此一判据在国际植物生理学界从20世纪20年代起一直使用到60年代中期.实际上,由于人们对吸水力理解不同,给 S 起了许多名称,也使用了许多不同的符号,诸如吸水力(S)、吸水压、吸水张力、水度、渗透压亏损(OPD)、扩散压亏损(DPD)等等,引起相当的概念混乱.再加上考虑不同吸水方式,又出现所谓主动吸水、被动吸水、代谢性吸水、非代谢性吸水等等名称和概念,使得人们更无所适从.更为重要的是,无论是渗透压判据还是吸水力判据,都不能从根本上给人一个理解细胞内外水分运动趋向的统一物理概念.

这种混乱情况虽早在20世纪40年代前后就不断有人指出并希望改变,但国际植物生理学界直到60年代仍然沿用此一判据,直至60年代中期才出现变革.

2.3 水势判据的提出和确定

1959年由联合国教科文组织在马德里召开的干旱地区植物-水分关系讨论会上,相当数量的与会代表表达了对此一混乱状况的不满和迫切希望统一概念的要求,并在一个专门委员会上提出了解决此一问题的一些建议,促进了国际植物生理学界对植物水分运动理论体系和术语的认真研究.经过约6年多的争论和探讨,1966年后最终确立了建立在热力学基础上的关于植物细胞吸水、排水的水势概念体系.这一概念体系的基本要点是:

(1)抛弃原来含义不清、术语混乱的压力描述体系,采用水的吉布斯(Gibbs)自由能,即水的化学势 Ψ_w 来描述植物细胞与周围环境中的含水状态,称之为水势;

(2)水势 Ψ_w 用决定它的 n 种独立因素的组份势表示^[14], $\Psi_w = \sum \Psi_i$.具体说来,植物水势 Ψ_w 一般表示为溶质势(或渗透势) Ψ_s 、衬质势 Ψ_m 、压力势 Ψ_p 和重力势 Ψ_g 之和;

(3)根据热力学化学平衡原理,水势梯度 $\Delta\Psi$ 就自然地确定了植物细胞-环境水分流动方向与限度;

(4)水的化学势通过与溶液处于平衡的蒸汽中的水汽分压测量.

从以上概念体系出发,A,B两种溶液水分运动的方向由它们的水势之差 $\Delta\Psi = \Psi_{wA} - \Psi_{wB}$ 决定,称为水势判据.按照此一判据,

$\Delta\Psi > 0$ 水分由A溶液流向B溶液;

$\Delta\Psi < 0$ 水分由B溶液流向A溶液;

$\Delta\Psi = 0$ A,B溶液水分平衡.

与前两种压力判据相比,不难看出水势判据的优越性在于^[13,14]:

(1)将植物细胞吸水、排水现象的刻画彻底地建立在普遍适用的热力学基础上,概念清晰,使人们免除了压力描述体系带来的概念模糊不清和术语混乱。

(2)使用水势判据,不仅可以处理植物细胞内外水分运动的方向和限度,而且可以统一地描述和分析土壤-植物-大气系统各部分的水分状态和水分流动规律,不管水分的实际运动方式是渗透还是集体流动,都可以在水势判据的框架内予以解决。

水势描述体系替代压力描述体系,对于植物生理学中刻画植物与环境系统的水分运动这一重要问题,无疑是一场重要的变革和进步。

在汤佩松、王竹溪 1941 年论文被“重新发现”之前,学术界公认这一变革的奠基人是 Slatyer R O, Taylor S A 和 Kramer P J,前两人首先(1960)提出用水的化学势描写植物含水状态,用水势梯度描写植物细胞水分运动的趋向和限度^[15]。而 Kramer 则是水势描述体系的最后完善者和确定者(1966)^[16,17](见图 2)。

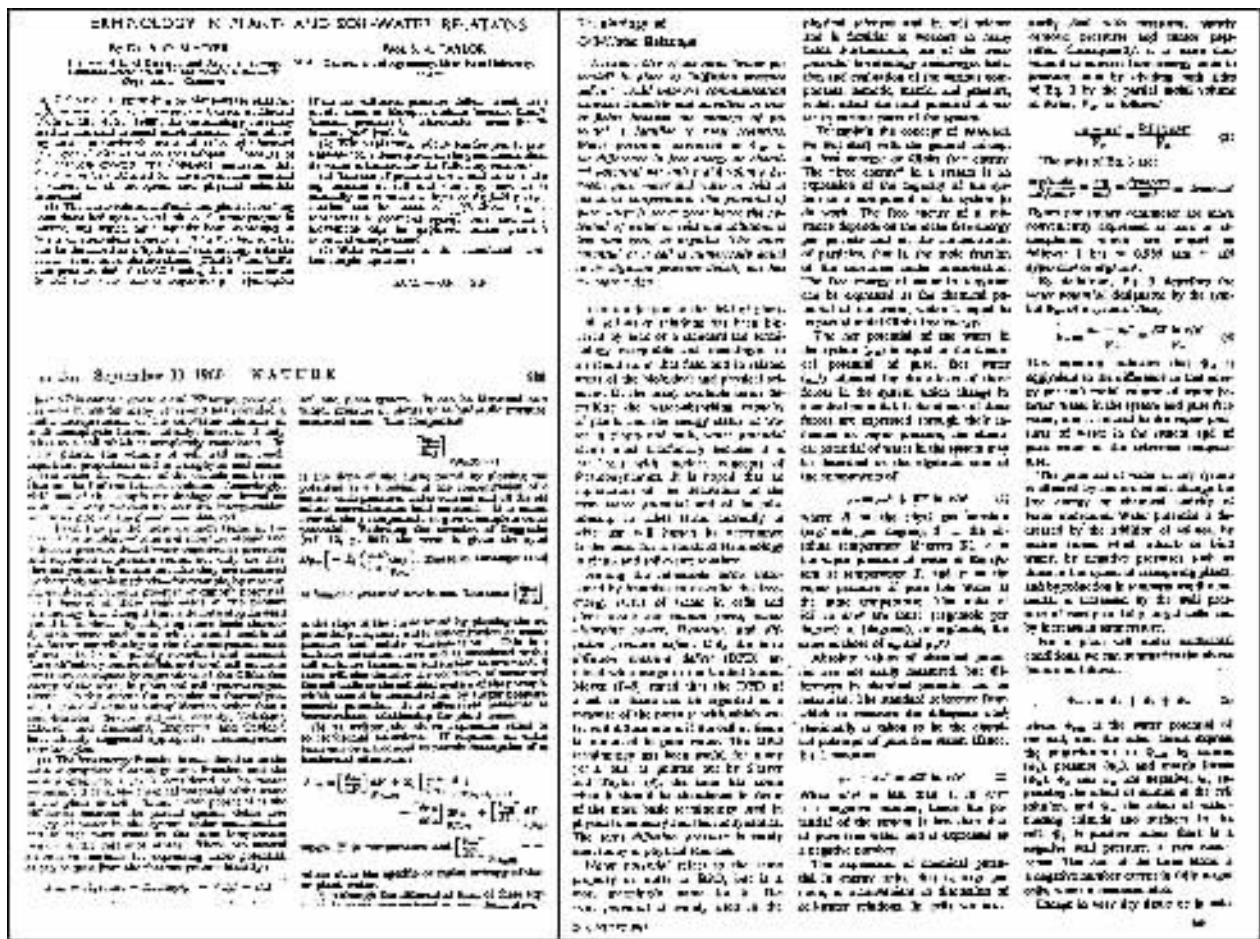


图 2 Slatyer, Taylor 1960 年在 Nature(左)和 Kramer 1966 年在 Science(右)发表论文的缩小复印件

3 汤佩松、王竹溪 1941 年论文的内容及其历史意义

如前所述,国际植物生理学界在 20 世纪 60 年代中叶实现了植物细胞内外水分运动描述体系的历史性变革,此一变革,如变革的奠基人之一 Kramer

所说,是在汤、王论文“令人奇怪”地“被忽略了”的情况下完成的。因此,1984,1985 两年他相继专门在美国植物学会的新闻通讯和专业杂志上撰写文章介绍这篇论文,并一再表示“但愿这篇短文可以在某些程度上,弥补我们长期忽略汤、王关于细胞水分关系热力学的先驱性论文的遗憾”^[2,3]。一个卓有成就的科学家如此郑重其事地对忽略一篇早期论文公开表示歉意并专门撰文弥补遗憾,在科学史上并不多

见. 为了解此事, 有必要了解汤、王论文的具体内容.

3.1 汤、王论文的具体内容

汤佩松、王竹溪发表在 1941 年 J. Physical Chemistry 第 45 卷的论文^[1]共分四节.

论文的第一节开宗明义, 提出撰写文章的目的: “简单的渗透概念已经有益地应用于研究动物细胞的水分渗透性和植物细胞的水分关系. 虽然此一概念已证明对于上述目的是合用的, 但在分析活细胞水分关系时, 来自使用‘膨压’、‘吸水压’、‘壁压’、

‘渗透压’等等术语的含糊歧义(参见文献 Meyer B S, Boton. Rev., 1939 4 531—547), 表明活细胞的水分关系或许可以用别的方法更加清晰明白地处理. 本文报道借助一些热力学关系分析通过一个离体活细胞的水分运动所得的结果.”

第二节(见图 3)运用热力学具体分析了一个离体细胞吸水的三个阶段的热平衡、力学平衡与化学平衡的平衡条件, 由水分交换的化学平衡条件明确得出以下结果:

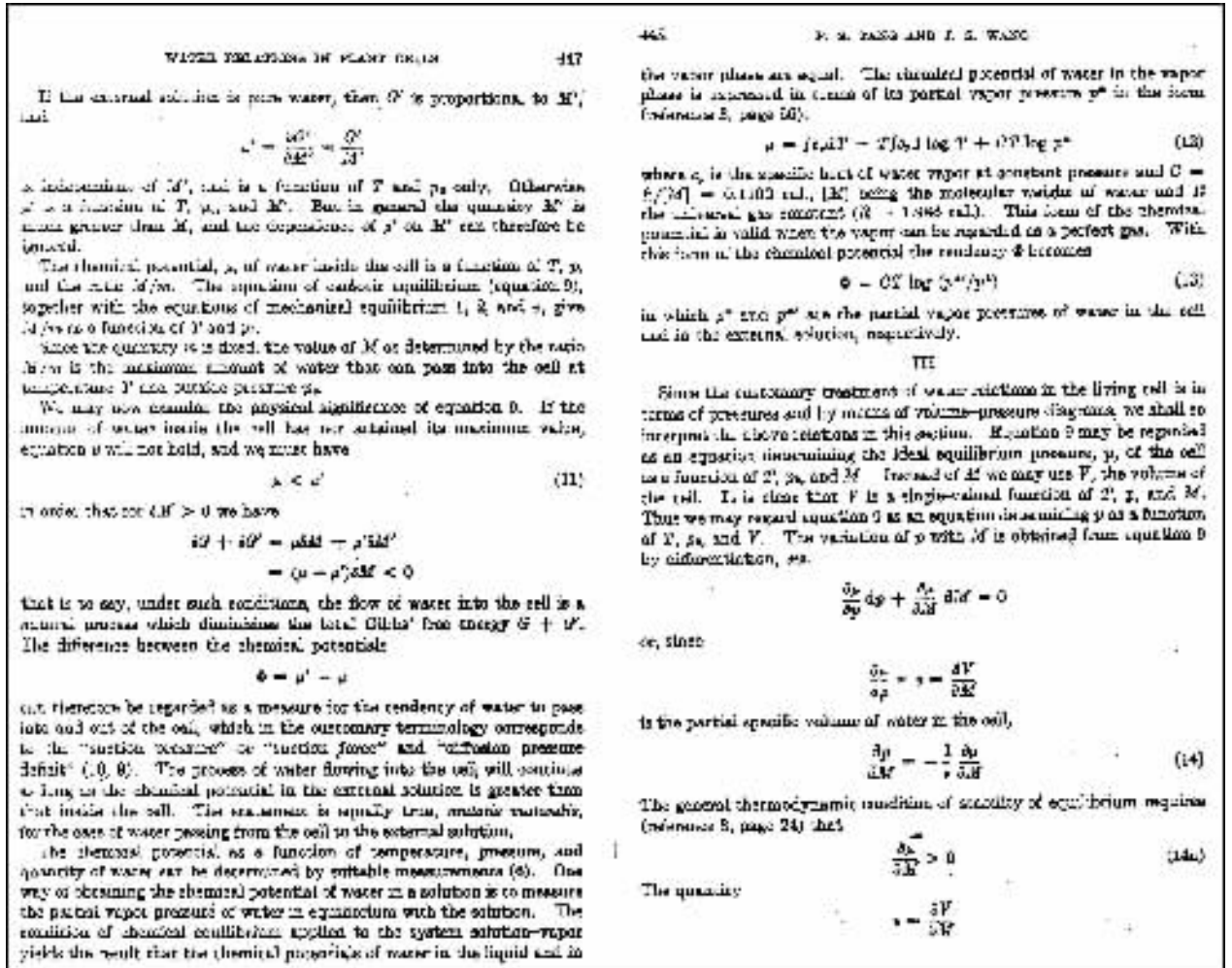


图 3 汤、王关于水势论述论文的缩小复印件

(1) 细胞内外水分平衡的条件是二者的化学势 μ 与 μ' , 相等;

(2) 量度水分流出或流入细胞的趋向的量是 $\Phi = \mu' - \mu$. 如果 $\Phi > 0$, 水分流入细胞, 如果 $\Phi < 0$, 水分流出细胞;

(3) 溶液中水的化学势可通过测量与溶液处于平衡的溶液蒸汽中的水汽分压得到;

(4) 细胞内外化学势之差 Φ 与通常使用的术语

如吸水力、吸水压、扩散压亏损等有对应关系.

第三、四节具体讨论了确定力学平衡的压力与渗透平衡中的理想平衡压的关系, 并作了有关图示. 从热力学的高度诠释了膨压、渗透压、吸水力等概念的科学含义.

比较前面水势概念描述体系的基本要点与汤王论文所得的前三个结论, 正如 Kramer 所评价的那样^[2,3], 该文已经包含了对此一论题进行现代热力

学处理的全部原理”，“该文是最早用热力学术语处理细胞水分关系的工作，而且比当时任何一篇论述细胞水分关系的文章都好得多”。

3.2 汤、王论文的历史意义

具体说来，汤、王论文确实已经包括了1966年完成的植物-环境体系水分运动关系水势概念描述体系的几乎全部内容。惟一的差别是他们没有像现在的水势概念描述体系那样，彻底抛弃压力描述体系和术语，将水势用独立组分势表达，而是花了相当大的力气去用水势解释压力描述体系术语的正确概念和物理含义。正因为这一差别，他们的论文还不能像后者那样，可以统一地描述、分析土壤-植物-大气系统各部分的水分状态和水分流动规律。之所以如此，是时代使然。只要回想一下1959年的马德里会议的参加者中，除了植物生理学家之外，还有不少土壤学家和气象学家。几个方面的学者共同研究植物-环境水分运动刻画的方式，肯定要求描述体系适用于各个领域。只要有人正确地提出使用水的化学势描述系统含水状态，必然导致放弃渗透压与膨压这些只适用于植物细胞的描述。而汤、王1940年给自己论文提出的目标，只是“借助一些热力学关系分析通过一个离体活细胞的水分运动”^[1]。如果汤、王二位先生能够亲身参与此一变革过程，鉴于他们已经早于他人二十余年提出了水势的概念，上述差别的弥补应是当然之事。

汤、王论文对于植物生理学史的历史意义在于，他们在整个学术界尚为压力描述体系统治、虽已感到此一体系带来混乱急需解决但又无法解决的转变时期，远远早于他人指出了解决问题的方向，提出今日称之为水势概念的全部基本内涵和测量原理（明确地提出使用水的化学势描述细胞内外含水状态，自然地导致以水的化学势梯度刻画细胞内外水分运动趋势，给出了实际测量水分化学势的原理），对人类理解植物水分运动规律作出了重大贡献。尽管由于他们的论文后来长期被人忽略，未能发挥应当发

挥的作用，令人遗憾。但他们对植物生理学的贡献毕竟是一种客观历史存在，任何郑重的同行学者都不能无愧地长期忽视其存在。这也许可以解释Kramer两次撰文力图弥补遗憾的初衷（注：据本文审稿人在审稿意见中指出，Kramer撰文的背景如下：1980年代初，汤佩松先生作为美国植物生理学会终身会员应邀出席美国植物生理学年会，在大会上汤先生公开提出他和王竹溪先生关于植物水分运动机制的热力学理论，远早于美国学者。汤先生的此一发言，在会上引起了热烈的反响。在这种情况下，Kramer才发表文章肯定汤、王理论的超前性。作者感谢审稿人提供的此一情况）。

参考文献

- [1] Tang P S, Wang J S. J. Phys. Chem. 1941 45 443
- [2] Kramer P J. Newsletter of Amer. Soc. Plant Physiology, 1984 [中译文见植物生理通讯, 1985(3) 46]
- [3] Kramer P J. Plant, Cell and Environment, 1985 8 171
- [4] 叶绿. 植物生理学通讯, 1983(1) 56 [Ye L. Communications in Plant Physiology, 1983(1) 56 (in Chinese)]
- [5] 叶绿. 植物生理学通讯, 1985(3) 39 [Ye L. Communications in Plant Physiology, 1985(3) 39 (in Chinese)]
- [6] 汤佩松, 薛应龙. 植物生理学通讯, 1956(2) 20 [Tang P S, Xue Y L. Communications in Plant Physiology, 1956(2) 20 (in Chinese)]
- [7] 汤佩松, 梅慧生. 植物生理学通讯, 1957(1) 48 [Tang P S, Mei H S. Communications in Plant Physiology, 1957(1) 48 (in Chinese)]
- [8] 汤佩松. 植物生理学通讯, 1958(3) 11 [Tang P S. Communications in Plant Physiology, 1958(3) 11 (in Chinese)]
- [9] 王竹溪. 科学记录, 1958(2) 94 [Wang J S. Science Records, 1958(2) 94 (in Chinese)]
- [10] 植物生理学通讯, 1985(3) 39 [Communications in Plant Physiology, 1985(3) 39 (in Chinese)]
- [11] Tang P S. Ann. Rev. Plant. Physiol., 1984 34 1
- [12] 汤佩松. 为接朝霞顾夕阳——五十多年来在植物生理学领域学习和工作的一些回顾. 连载于植物生理学通讯, 1986(4)至1987(6) [Tang P S. Reminiscence of my 50 years academic career. Communications in Plant Physiology, from 1986(4) to 1987(6) (in Chinese)]
- [13] 孙鸿乔. 植物生理学通讯, 1982(1) 80 [Sun H Q. Communications in Plant Physiology, 1982(1) 80 (in Chinese)]
- [14] 孙鸿乔. 植物生理学通讯, 1985(3) 48 [Sun H Q. Communications in Plant Physiology, 1985(3) 48 (in Chinese)]
- [15] Slatyer R O, Taylor S A. Nature, 1960 187 922
- [16] Kramer P J et al. Science, 1966 153 889
- [17] Kramer P J. Water Relation of Plants. New York: Academic Press, 1983

(未完待续)

讣告

中央教育科学研究所研究员、《物理》杂志第三届至第六届编委会编委汪世清先生因病医治无效于2003年5月3日19时22分在北京逝世，享年87岁。汪世清先生50年代参加过我国第一部中学物理教学大纲的起草工作，先后担任过中国教育学会物理教学研究会第一届副理事长、中国物理学会常务理事兼物理教学研究委员会副主任，在物理学教育和物理学史研究等方面做了大量工作。