

教学园地 Teaching

关于植物细胞水势的计算问题

张秀玲*

德州学院生物系, 山东德州 253023

“植物的水分代谢”一章中, 水势是很重要的概念。往往是学生已经理解了概念的内容, 但在计算植物细胞的水势和压力势等问题时, 依然会有些迷茫, 下面通过分析和几个问题的计算, 帮助学生解决实际问题。

植物生理学中的所谓水势(water potential)就是每偏摩尔体积分子的化学势。用 Ψ_w 表示。水势 = 水的化学势/水的偏摩尔体积 = $(N \cdot \text{mol}^{-1}) / \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} = N \cdot \text{m}^{-2} = \text{Pa}$ 。化学势是能量的概念, 单位是 $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$, 偏摩尔体积的单位是 $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$, 两者相除化简, 得到 $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$, 即 Pa (帕), 这样以能量为单位的化学势就转化为以压力为单位的水势(潘瑞炽等 2004)。

细胞的水势由 3 个组分构成: $\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_m$ 。式中, Ψ_s 为渗透势(osmotic potential, 溶质势), 渗透势是由于溶质颗粒的存在, 使水的自由能降低因而体系水势值降低。纯水的水势定为零, 溶液中由于溶质颗粒降低水的自由能, 故溶液的水势为负值。 Ψ_p 为压力势(pressure potential), 是指细胞的原生质体吸水膨胀, 对细胞壁产生压力, 而引起细胞壁产生的一种反作用力, 也即由于细胞壁压力的存在而增加的水势, 该值一般是正值。因此, 压力势是指由于这种压力的存在而导致体系水势改变的数值(王宝山等 2004)。这样由于渗透势的存在, 水分由细胞外移向细胞内; 而压力势的存在, 水分由细胞内移向细胞外, 压力势与渗透势方向相反(张秀芳 2007)。 Ψ_m 为衬质势(matric potential), 是由于细胞亲水物质(蛋白质、淀粉和纤维素等)的亲水性和毛细管对自由水的吸附而降低的水势。已经形成液泡的细胞, 其衬质势只有 -0.01 MPa 左右, 只占整个水势的微小部分, 通常忽略不计。上述公式可简化为: $\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$ 。

细胞水势、渗透势、压力势与细胞体积的关系如下:

植物细胞吸水与失水取决于细胞与外界环境

之间的水势差。当细胞水势低于外界水势时, 细胞吸水, 体积增大; 当细胞水势高于外界水势时, 细胞就失水体积会减小; 当细胞水势等于外界水势时, 水分交换达动态平衡, 此时外界溶液的渗透势即为细胞的水势。植物细胞在吸水和失水的过程中, 细胞体积会发生变化, 其水势、溶质势和压力势等都会随之改变。

图 1 为细胞水势、渗透势、压力势与细胞体积相互关系的示意图, 图中垂直于横轴的虚线及与其相交的三条曲线, 表示某种植物细胞在某种生态环境下细胞的体积增量和水势(Ψ_w)、压力势(Ψ_p)、渗透势(Ψ_s)。不同植物和生态环境不同, 虚线位置可向左或向右移动。常态下的中生植物(如温带地区多数农作物)细胞体积和与之相应的 Ψ_w 、 Ψ_p 、 Ψ_s 如图所示; 对于旱生植物、盐生植物、沙生植物等, 虚线可向左移动, 对于水生植物虚线则向右移动。

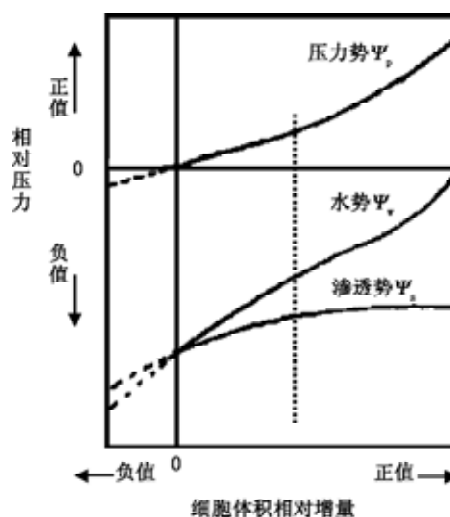


图 1 细胞体积与水势、渗透势、压力势相互的关系示意图

收稿 2007-10-25 修定 2008-02-21

* E-mail: dzxy_zxl@163.com; Tel: 0534-8985840

如果细胞在纯水中, 细胞吸水, 细胞液被稀释, 体积增大, Ψ_p 增加, Ψ_s 增高, Ψ_w 也升高, 此时虚线向右移动; 当细胞吸水达饱和时, 细胞处于完全膨胀状态, 细胞体积达最大值, 虚线移到最右边, 此时 $\Psi_w=0$, $\Psi_p=-\Psi_s$ 。如果细胞处于低水势溶液中, 细胞失水, 体积缩小, Ψ_w 、 Ψ_s 、 Ψ_p 也相应降低, 当达到临界质壁分离时, 则出现图中垂直于横轴的实线位置, 我们假定此时细胞体积的增量值为 0, 此时 $\Psi_p=0$, $\Psi_w=\Psi_s$, 若细胞继续失水, 则发生质壁分离, 在壁与原生质体间充满外界溶液。此时细胞体积的增量将变为负值。此后, 由于细胞壁既有柔性同时又具刚性, 细胞体积不再缩小, 而原生质体的体积还会继续缩小, Ψ_s 不断降低, Ψ_w 也降低。压力势为负值, 则直线继续左移。但植物即使在蒸腾剧烈细胞失水加快, 一般也不会发生质壁分离。但此时 Ψ_p 可出现负值, Ψ_w 也会低于 Ψ_s 。

用以下几个实例, 对比作进一步说明。

例 1, 将一个细胞放入渗透势为 -0.2 MPa 的溶液中, 达到动态平衡后, 细胞的渗透势为 -0.6 MPa, 细胞的压力势是多少?

解答: 平衡时细胞的水势和溶液的水势相等, 由于溶液的体积相对于单个细胞而言是足够大的, 因而进出细胞的水分对溶液的渗透势影响非常小, 可以忽略不计, 所以溶液的渗透势即溶液的水势, 也是细胞的水势, 仍为 -0.2 MPa。据式 $\Psi_w=\Psi_s+\Psi_p$, 而细胞的 $\Psi_w=-0.2$ MPa, $\Psi_s=-0.6$ MPa, 代入上式即得 -0.2 MPa = -0.6 MPa + Ψ_p , 所以 $\Psi_p=0.4$ MPa, 细胞压力势为 0.4 MPa。

例 2, 一组织细胞的 Ψ_s 为 -0.8 MPa, Ψ_p 为 0.1 MPa, 在 27 °C 时, 如将该组织放入 0.3 mol·L⁻¹ 的蔗糖溶液中, 则该组织的重量或体积是增加还是减小?

分析: 水分进出细胞, 由细胞与周围环境的水势差决定, 水总是从高水势区域向低水势区域流动, 据此可以比较细胞的水势和蔗糖溶液的水势。

解答: 细胞的水势 $\Psi_w=\Psi_s+\Psi_p=-0.8$ MPa + 0.1 MPa = -0.7 MPa

蔗糖溶液的水势 $\Psi_{w\text{溶液}}=-CiRT=0.3$ mol·L⁻¹ × 0.0083 L·MPa·mol⁻¹·k⁻¹ × (273+27) K = -0.747 MPa

由于细胞的水势 > 蔗糖溶液的水势, 因此细胞放入溶液后会失水, 以致组织的重量减少, 体

积缩小。

说明: 公式中 C 是溶液的摩尔浓度, i 是溶质的解离系数(蔗糖、葡萄糖等不电离物质为 1, 盐大于 1, 如低浓度 NaCl 为 2), R 是气体常数 (0.0083 L·MPa·mol⁻¹·k⁻¹), T 是绝对温度(K)。最后结果的单位是 MPa, 负号表明溶质引起降低渗透势的作用。

例 3, 有甲、乙两细胞, 甲放在 0.4 mol·L⁻¹ 的蔗糖溶液中, 充分平衡后, 测得其渗透势为 -0.8 RT (MPa); 乙放在 0.3 mol·L⁻¹ 的 NaCl 溶液中, 充分平衡后, 测得其渗透势为 -0.7 RT (MPa), 假定 $i_{\text{蔗糖}}=1$, $i_{\text{NaCl}}=2$, 问: (1) 甲、乙两细胞中谁的压力势大? (2) 取出两细胞并将两者紧密接触后的水分流动方向如何? (3) 破坏细胞质膜后, 水分又如何流动?

解答: 与例 1、2 相似, 所不同者溶液的溶质不同, 它们的解离系数 i 不同, 假定蔗糖的 $i=1$, NaCl 的 $i=2$, 根据 $\Psi_{w1}=\Psi_{s1}=-CiRT$, 计算得蔗糖的 $\Psi_{w1}=\Psi_{s1}=-CiRT\approx-0.4\times 1\times RT\approx-0.4$ RT (MPa) $\approx-4\times 10^{-1}$ RT (MPa); NaCl 溶液 $\Psi_w=\Psi_s\approx-0.3\times 2\times RT\approx-0.6$ RT (MPa) $\approx-6\times 10^{-1}$ RT (MPa)。平衡后, 细胞的水势和溶液的渗透势相等, 甲细胞的水势等于蔗糖溶液的水势, 即约为 -4×10^{-1} RT (MPa); 乙细胞的水势等于 NaCl 溶液的水势, 即约为 -6×10^{-1} RT (MPa)。

甲细胞的压力势 $\Psi_p=\Psi_w-\Psi_s$, 代入则 $\Psi_p\approx-4\times 10^{-1}$ RT (MPa) - $[-8\times 10^{-1}$ RT (MPa)] $\approx 4\times 10^{-1}$ RT (MPa), 乙细胞的压力势 $\Psi_p=\Psi_w-\Psi_s$, 代入则 $\Psi_p\approx-6\times 10^{-1}$ RT (MPa) - $[-7\times 10^{-1}$ RT (MPa)] ≈ 0.1 RT (MPa) $\approx 1\times 10^{-1}$ RT (MPa)。

据此, 上述三个问题可作如下回答: (1) 甲细胞的压力势大。(2) 甲细胞的水势大于乙细胞的水势, 水分从甲细胞流向乙细胞。(3) 细胞质膜破坏后, 甲乙两细胞的压力势均为 0, 细胞的水势等于细胞的渗透势, 乙细胞的渗透势 (-0.7 RT MPa) 大于甲细胞的渗透势 (-0.8 RT MPa), 所以水分从乙细胞流向甲细胞。

参考文献

- 潘瑞炽, 王小菁, 李娘辉(2004). 植物生理学. 北京: 高等教育出版社, 10~11
 王宝山, 侯福林, 刘萍, 刘家尧(2004). 植物生理学. 北京: 科学出版社, 10~11
 张秀芳(2007). 水势概念的教学探讨. 植物生理学通讯, 43 (2): 341~344