

定性的内容很广泛,包括对流稳定性,旋转流体稳定性,界面波稳定性等等,涉及天体,气象,地球物理,海洋工程,环境保护等许多学科领域和工程技术领域。为了加强和扩大对流动稳定性的研究,特别是加强对工程应用的流动稳定性的研究,代表们建议中国力学学会在适当的时候召开一次流动稳定性包括各个方面研究的,范围扩大的学术交流会,并吸收固体力学从事动力稳定性研究和数学从事微分方程稳定性研究的人员参加,特别是要尽可能多吸收一些从事流动稳定性工程应用的人员参加。代表们认为,对于流动稳定性的研究具有理论意义的课题固然很需要,但当前更需要加强对工程应用课题的研究。代表们还建议中国力学学会今后适当举办一些流动稳定性的专题研究班和讲习班。

A BRIEF REPORT ON THE SEMINAR ABOUT STABILITY OF FLUID MOTION

Zhang Di-ming
(Zhongshan University)

葡 萄 树 低 温 损 伤 力 学

E. Davison J. Paroschy W. K. Bilanski

本文旨在探索葡萄类木本植物由于热/应力/应变现象而引起的力学损伤的性质。这方面的知识可以用来选择和培育耐寒植物。

果树往往因气温突降而冻伤甚至死亡。较多的一种冻伤情况是树干、树枝或藤茎冻裂。这时裂缝就成为寄生物或病菌入侵的进口。裂缝也使植物组织内部因蒸发而脱水。最后,损伤累积到使植物死亡。另一种冻伤形式是植物组织内部形成冰晶而引起细胞损伤。这种损伤兼有力学和物理的性质。在受冻时,细胞内的水由于脱水及盐浓度增高而丧失,其严重后果便是细胞破坏。细胞内部和细胞彼此间的空间内形成冰晶而引起的力学损伤很常见,它导致细胞组织受破坏。

葡萄藤的结构 图1是许多木本植物的典型结构。它是一种复合材料。为简单起见在均匀宏观水平上予以模拟。

Prillieux (1869)(参见(1))给出受冻植物发生力学损伤的许多例子。他观察冰冻如何使树皮与木质部整个地分离,一些大空穴如何在茎杆中心形成以及组织的一引个别部分如何发生破裂。“组织的破裂并不总是由冰冻些起。酷寒时树木上出现的冻裂是木质部不同程度受冻的结果。急剧冷冻外层就象用一根绳子紧箍和挤压内层。”(1)

温度反复突变特别危险。例如早春常发生夜间受冻,阳光直接照射时又解冻。急剧受冻和解冻的损伤后果当然不仅由温度突变引起,也由细胞内水分大范围变化和细胞间水分结冰引起。(1)

热/应力/应变间的关系 前文(2)讨论了葡萄藤横断面的瞬时温度分布,在实验室模拟受冻-解冻循环过程颇为成功。考虑外部物质已去掉的木质部组织(图1),可略去木髓部而假设它是一根热均匀和结构均匀的实心长圆柱。这样便可以应用Kent(3)提出的应力/应变方程。根据表面温度有跃变而得的半径r处的切向应力 σ_T 的方程为

$$\sigma_T = \frac{E\alpha}{1-\mu} \left(\frac{1}{r^2} \int_0^{r_m} T r dr + \frac{1}{r^2} \int_0^r T r dr - T \right) \quad (1)$$

E为弹性模量, α 为热胀系数, μ 为Poisson比, r和 r_m 为葡萄藤的半径和最大半径。特定半径r处的瞬时温度T为

$$T = \frac{2(T_s - T_b)}{r_m} \left\{ \frac{\exp(-Aa_1^2\theta)}{a_1} + \frac{J_0(a_1 r)}{J_1(a_1 r_m)} + \frac{\exp(-Aa_2^2\theta)}{a_2} + \frac{J_0(a_2 r)}{J_1(a_2 r_m)} + \dots \right\} \quad (2)$$

式中 T_b 和 T_s 为原来基础温度和环境温度(假设表皮温度与环境温度意义一样), A为热扩散系数($k/(\rho c_p)$), a_n 是Bessel函数J的根, θ 为时间。根据(4),空心长圆筒在离两端足够远截面上半径 r_1, r_2 处的相应瞬时切向热应变 ϵ_T 为

$$\epsilon_T = \frac{1}{r^2} \left(\frac{1+\mu}{1-\mu} \right) \int_{r_1}^{r_2} \alpha T r dr + C_1 + C_2 \frac{1}{r^2} \quad (5)$$

对于5龄老葡萄的木质部组织,因木髓部相对地很小,可假定 $r_1=0$,于是当 $r_1=0, r_2=r_m$ 时, $C_2=0$,

$$C_1 = \frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} \frac{1}{r_m^2} \int_0^{r_m} \alpha T r dr$$

$$- \mu \varepsilon_L, \varepsilon_L = \frac{2\alpha}{r_m^2} \int_0^{r_m} T r dr \quad (6)$$

式中 ε_L 为纵向应变, 当 $\theta = \infty$ 时, $\varepsilon_T = 0$. 如果定义最末热收缩比为 $\varepsilon_T^* = \alpha(T_s - T_b) r_m / r_m$, 则在任

何时间 θ 时的变形比为 $\varepsilon_T^* = \varepsilon_T^* - \varepsilon_T$. 于是

$$\frac{\varepsilon_T^* - \varepsilon_T}{\varepsilon_T^*} = \frac{\varepsilon_T^* - (\varepsilon_T^* - \varepsilon_T)}{\varepsilon_T^*}$$

$$= \frac{-\varepsilon_T}{\varepsilon_T^*} \quad (9)$$

$$\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_T^*} = C_3 \alpha \int_0^{r_m} T r dr / [\alpha(T_s - T_b)] \quad (10)$$

$$\int_0^{r_m} T r dr = 2(T_s - T_b) \left[\frac{1}{a_1^2} \exp(-Aa_1^2\theta) + \frac{1}{a_2^2} \exp(-Aa_2^2\theta) + \dots \right] \quad (11)$$

略去 2 阶及 2 阶以上的项后, 得

$$\frac{\varepsilon_T}{\varepsilon_T^*} = \frac{2C_3}{a_1^2} \exp(-Aa_1^2\theta)$$

$$= C_4 \exp(-\theta/C_5) \quad (12)$$

如果画成半对数坐标的曲线, 则上式是斜率 Aa_1^2 的直线关系式, a_1 对任意特定半径 r_m 都看成是常数.

实验研究与热应变测量 用树龄为 10—12 年的冬眠葡萄的几段主茎作实验. 试件从室外生长的葡萄上取得. 所用品种为 *Vitis labrusca* L. 种 Concord 及 *Vitis vinifera* L. 种 J. Riesling, 湿度都近似为 40% (湿球温度计). 用应变片测应变, 结果见图 2 和图 3.

讨论 方程 (12) 在半对数坐标中是直线, 其最末斜率应是热扩散系数的量度, 因 a_1 是已知常数. 根据图 2 和图 3 的数据画出方程 (12) 的曲线示于图 4 和图 5, 它们代表品种 Concord 和 Riesling 表面跃变温度 18°C 和 51°C (继第一冷却循环后的加热温度) 输入的响

应. 这证实上述曲线基本上是直线. 第一冷冻循环的曲线示于图 6 和图 7. 尽管有来自解冻循环的热不连续性影响, 直线性质还是显示了出来. 有意义的是, 图 6 的最末斜率几乎同以表现热扩散系数为基础而比较的后续加热循环的斜率一样. 这一性质表明, 基于方程 (12) 的理论分析在宏观水平上是相当正确的, 尽管所作的假设还比较粗略. 这些假设有: 热均匀性和结构均匀性, 整个温度范围内物理性质不变, 各向同性性质, 忽略粘弹性之类与时间有关的性质. 还存在一些问题, 如这样的温度下降是否产生与温度突然增加一样的响应, 温度跃变大小的影响是什么. 参看图 3 可得一些答案, 其中有不存在任何解冻循环时头两个小时出现应变不连续的资料. 更特殊的实验表明, 这种影响发生在 -27°C 区域内, 其原因是盐分及毛细作用降低了结冰的冰点. 因此温度跃变的大小是一个影响因素. 这就解释了图 2 中何以不存在类似的连续性. 于是可以断定, 基于方程 (12) 的预言适用于冷冻条件下高于 -27°C 的温度, 而对加热的预言则不受这一限制. 考察图 2 和图 3 还表明, 受冻和解冻时间常数 C_5 显著不同. 一个推论为, 表现热扩散系数将如所期望的那样以同样方式变化. 这可能是由于粘弹性影响和细胞结构破坏所致.

表 1 给出前文 [2] 中 Concord 品种的典型表现热扩散系数值, Riesling 品种的数值则颇低, 如果也是典型值, 那就有理由说, 在耐寒方面 Concord 比 Riesling 优越. 因此, 建议一个如用于预言金属淬浴的龟裂指数 (Spalling index) $K=1/(AS(\alpha E))$ 的耐寒指数是合适的. 它可以标示出植物外层组织对冻裂的敏感程度. 较高的指数 K 标志有较高的敏感程度.

结论 ①本文的理论分析提供了对葡萄藤冻裂机制的了解及下列实际应用; ②外部组织最大应力在冷冻瞬间很早出现, 因此任何预防冻裂的措施必须在显著冷冻前或开始时采取; ③热扩散系数是冻裂过程中的一个重要因素, 可作为耐寒性的一个指标, 由此提出了龟裂指数 $K=1/(AS(\alpha E))$; ④葡萄藤组织内出现结冰约在 -27°C 时, 因此可断定, 高于此温度时不会发生力学损伤.

参考文献

- (1) Vasilyev, I. M., Wintering of Plants. Am. Inst. of Biol. Sci. (1961).
- (2) Paroschy, J., Davison, E., Bilanski, W. K., Transient temperature distribution in a grapevine. Can. Agr. Eng., v. 18, 2 (1976).
- (3) Kent, C. H., Thermal stresses in spheres and cylinders produced by temperatures varying with time. Trans. ASME, Paper No. APM-53-13 (1931).
- (4) Timoshenko, S., Strength of Materials, Pt II, 3rd Ed., Van Nostrand (1965).

董务民 摘译自: Eng. Appl. of Mech. (Proc. 5th Symp. on Eng. Appl. of Mech., 16—17 June, 1980, Canada): 161—165.