

番茄叶片和果实热容量的热平衡测定方法

陈景玲, 王谦^{*}, 朱秀红, 赵勇, 吴明作, 杨喜田, 张军

(河南农业大学林学院, 郑州 450002)

摘要: 为了分析植物器官体温形成机制的需要, 即在植物与环境间热平衡分析时, 有准确的植物器官热容量参数, 该文采用热平衡法测定了番茄叶片和果实的热容量参数。考虑胁迫生态环境植物传热分析问题, 也选择了侧柏等生态恢复先锋树种, 以及作为参照的肉质植物芦荟的热容量参数。结果表明, 番茄叶片热容为 $3253.7 \pm 97.10 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, 与针叶植物侧柏和肉质叶植物芦荟叶片的热容相近; 番茄果实热容为 $3517.4 \pm 68.50 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ 。热平衡法可以用来测定植物器官的热容量; 其热容量均低于水的热容量。对前人用热平衡法测定生物质热物性参数的方法, 进行了改进和完善。该文既为其他生物质的热容量测定提供了试验方法, 也为植物气候空间研究提供了热物性参数基础数据。

关键词: 果实, 测定方法, 热交换, 番茄, 叶片, 热容量, 热平衡

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.02.048

中图分类号: S265.5⁺1, S16

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-02-0279-05

陈景玲, 王谦, 朱秀红, 等. 番茄叶片和果实热容量的热平衡测定方法[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 279-283.
Chen Jingling, Wang Qian, Zhu Xiuhong, et al. Study on the specific heat of tomato leaf and fruit with heat balance method[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(2): 279-283. (in Chinese with English abstract)

0 引言

随着生物传热学和精确农业发展, 需要更准确地了解温度对作物的影响。这就要求研究植物与环境间的传热, 进而弄清植物体温的形成机制。植物与环境间传热方式有传导、对流、辐射和蒸散潜热四种, 共同作用于植物器官, 形成植物器官的体温。在这个分析过程中, 必须有植物器官热容量、导热系数、和对流换热系数等生物热物性参数。例如, 在植物对高低温适应性、灾害、保护措施等研究中, 都需要进行植物与环境的传热过程分析。这些分析必然离不开前文所述植物器官的各种热物性参数。如 Pennes 传热模型的应用就要求知道所研究生物质的热容量, 才能分析其热流分支项和该生物质的温度变化。但是, 目前没有植物器官的准确的热容量参数。当进行这方面的研究时, 所用到的热物性参数只好参考生物医学中的类似参数。由于生物质种类不同, 其热物性参数必然不同, 直接引用其他生物的热物性参数必然给试验研究带来误差。所以, 研究测定植物器官热容量参数的方法是很有必要的。

前人在这方面已经作了一些工作。在生物质贮藏过程中, 需要了解热容量, 有人设计专门装置测定谷物的热容量^[1], 研究了大麦的热容^[2]; 生物组织解冻过程^[3], 需要知道生物组织的热容, 包括血液的热容, 均为生物

质的热容; 生物个体发育过程中熵研究^[4]也需要热容参数。此外, 为了利用植物桔杆, 生物质热解成为研究热点。生物质热解时传热分析也需要热容量参数。例如: Lauthouwers 等研究葡萄皮的快速热解; Janse 等研究木材颗粒的快速热解; Jalan 等研究柱状小颗粒物热解过程等^[5-10]。但不同生物质废弃物热容量不同, 不同的研究者在计算时采用的热容量数值之间差异较大。

对于生物质流体, 有人用微珠形热敏电阻测定其热物性参数, 为进行不同化合物的传热研究, 预测其热容量的拓扑指数^[11]。这些研究对活体植物热容量测定有一定的启示作用, 但不能直接用于其测量。张敏等开展了较多的活体生物质热物性参数测定, 主要进行的是导热率测定^[12-15]。易维明研究了非活体生物质的热物性参数的热平衡测定方法^[16], 和生物质导热系数的测定方法^[17]。其测定的生物质材料是玉米芯等。对于植物器官, 如果测定温度不超过生物学上、下限温度, 就不会对生物质造成破坏, 因而其方法可以用于植物器官热容量测定。而且植物器官由于含水量大, 导热系数也大于干燥的秸秆, 容易达到热平衡。所以, 更适合用热平衡法测定热物性参数。本文拟用热平衡测定方法研究番茄叶片、果实和几种园林植物叶片的热容量, 并对前人的热平衡法进行修正。主要是在消除保温装置散热影响和被测物质热容量计算二方面加以改进。为以后进行的植物器官温度形成机制研究, 以及这些植物的气候空间研究提供热物性参数支持。

1 材料和方法

选择大田自然生长番茄叶片和果实为试材, 另外选择了侧柏叶片同时进行测定, 代表林木植物。考虑到不同生物质体积上的较大的差异, 可能对测定热容时的传

收稿日期: 2011-01-06 修订日期: 2011-11-27

基金项目: 国家自然科学基金(31071321)

作者简介: 陈景玲(1964-), 女, 河南省洛阳人, 副教授, 学士, 主要从事植物生态研究。郑州 河南农业大学林学院, 450002。

Email: chenjingling5@163.com

*通信作者: 王谦(1963-), 男, 吉林省辉南人, 副教授, 博士, 主要从事植物生态研究。郑州 河南农业大学林学院, 450002。

Email: wangqianhau@163.com

热产生影响,还选择了芦荟叶片进行测定。试验材料选自河南农业大学科教园区。试验材料为离体,采后立即进行测定。

热容量测定采用热量平衡法。主要仪器有北京雅欣理仪科技有限公司生产的 Yaxin0232 测温仪,测温精度为 0.1℃,显示分度 0.01℃;哈纳仪器(上海)有限公司生产的 HI9060 测温仪,精度 0.2℃,显示分度为 0.1℃;电子天平为上海友声衡器有限公司生产,BS-1500L 型,测量精度 0.2 g,显示分度 0.1 g;保温装置为市售普通保温桶,黄岩东城金荣塑料厂生产,1 500 mL,真空玻璃内胆,桶胆内径 106 mm,外部为塑料外壳,双层塑料桶盖。

1.1 测定系统热容量

本试验空气温度采用哈纳的 HI9060 测温仪测定。保温桶内温度测定,使用北京雅欣理仪科技有限公司生产的 Yaxin0232 测温仪。该仪器的传感器为热电偶,有测量端和参考端两个传感器端点。其测量端放置于保温桶内,测定保温桶内温度,参考端放置于空气中,与哈纳的 HI9060 测温仪的传感器在相同的位置。本试验所有温度,除环境温度 $T_0(℃)$ 外,均为用热电偶温度仪测得的与环境温度之差。仪器测点布置如图 1。

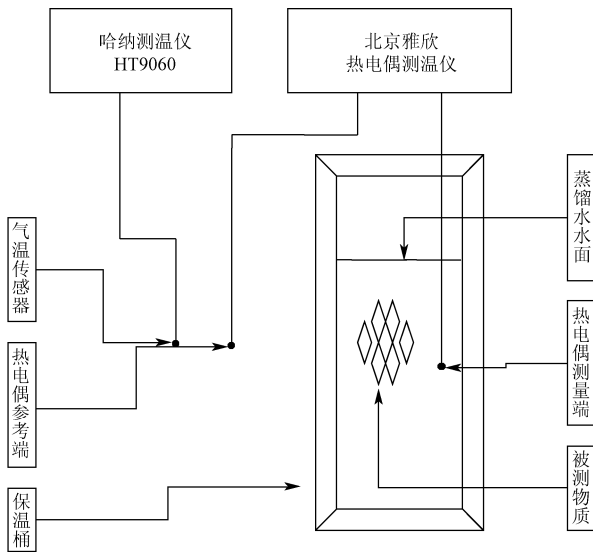


图 1 仪器测点布置

Fig.1 Arrangement of instruments and measuring points

称一定量的加热的蒸馏水 $W_r(g)$,本试验取 400 g,测其温度 $T_w(℃)$,将该热水注入处于与自然温度差为 $T_i(℃)$ 下的保温桶中,达热平衡时,测平衡温度 $T_f(℃)$,环境温度为 $T_0(℃)$ 。其中的平衡温度 T_f 受到测定时段内系统自然降温的影响。为消除保温桶自然降温的影响,先给保温桶加热蒸馏水,使保温桶加热,然后测整个保温桶系统的自然降温曲线。如图 2。经测定,在本试验测定温度范围内,该降温曲线在高于环境温度 20℃ 时为向上凹的曲线,20℃ 以下时近乎直线,决定系数 $R^2=0.9957$ 。它相当于背景温度。

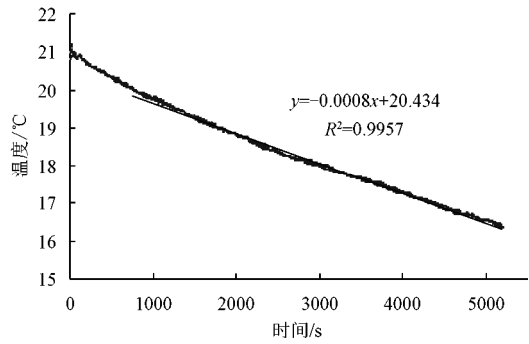


图 2 保温装置自然降温曲线

Fig.2 Temperature curve of attemperor natural cooling

将平衡温度 T_f 消除保温桶自然降温影响后,得保温桶实际平衡温度 $T'_f(℃)$ 。注入的热水温度下降放出的热量,等于系统温度升高得到的热量,则系统热容量为 $C_s(J/(kg·℃))$

$$C_s = \frac{1000 \times 4.2 W_r (T_w - T_f)}{T'_f - T_i} \quad (1)$$

当实测系统热容时,自然温度下的保温装置,在注入热水后,热水温度下降,热水与保温装置必然达到热平衡。当保温装置内水温变化曲线斜率与保温装置的自然降温曲线(背景温度)斜率相同时,说明系统已达到热平衡。这时的平衡温度减去背景温度曲线上的对应温度,即为公式(1)的平衡温度 T'_f 。

1.2 测定生物质热容量的方法

按文献[10]的方法,将加热的叶片放入保温桶中,测其降温过程,可测得叶片的热容。但为了避免单独加热的叶片在放入保温桶的过程中降温造成的误差,增强试验的可操作性,对文献[10]的生物质热容测定方法进行改进。将加热了的质量 $W_w(g)$ 的水放入保温桶中,调温到整个系统温度为 $T_a(℃)$,再将自然温度下质量 $W_a(g)$ 的叶片放入保温桶中,测出平衡温度 $T_f(℃)$,则叶片的热容 $C_a(J/(kg·℃))$ 为

$$C_a = \frac{1000 \times 4.2 (C_s + W_w) (T_a - T_f)}{W_a (T_f - T_i)} \quad (2)$$

式中, C_s 为系统热容量, $J/(kg·℃)$; W_w 为放入保温装置中的热水的质量, g ; W_a 为放入保温装置中的生物质质量, g ; T_a 为放入生物质样品前保温装置内水的温度, $℃$; T_f 为平衡温度, $℃$; T_i 为保温装置初始与环境温度差, $℃$ 。

由于蒸馏水的热容为 $4 200 J/(kg·℃)$,是已知的量。考虑用该方法先测水的热容量,以该校核该系统测定热容量的准确性。即将质量 $W_w(g)$ 的水放入保温桶,温度调节为 $T_w(℃)$,将自然温度下质量 $W_L(g)$ 的水放入保温桶中,测出平衡温度 $T_f(℃)$,则水的热容 $C_w(J/(kg·℃))$ 为

$$C_w = \frac{1000 \times 4.2 (C_s + W_w) (T_w - T_f)}{W_L (T_f - T_i)} \quad (3)$$

式中, T_w 为测定前保温装置中的水温, $℃$; W_L 为加入自然温度水量, g 。

则可根据已知的水的热容量，通过修改校正 (3) 式右边，得到利用本系统准确测定生物质热容的经验公式。

1.3 系统与环境传热误差问题

1.3.1 用系统降温背景温度消除系统与环境传热误差

试验用保温桶有保温作用，但不是绝热的，即当系统与环境温度不同时，系统总是要与环境传热，即自然降温过程。为消除保温桶这种自然降温过程的影响，试验先测定了系统的这种自然降温过程的特征，取得了其测量系统的降温过程的背景温度过程。这种背景温度过程包含了系统与环境传热的结果。当用该测量系统测定生物质热容时，将系统的降温过程去除这种背景温度过程，则消除了系统与环境的热影响。

除此之外，试验过程中采取以下 2 个措施，以减少测定过程产生的测量误差。

1.3.2 加速生物质与水传热和减少温度不均匀性

尽量加快生物质与水混合后传热，并使两者温度一致，即达到热平衡的时间。试验中将番茄果实切成 1 mm 薄片，对芦荟这类较厚的肉质叶片，也进行切片处理，厚度 1 mm，使其投入保温桶的水中时更快与水传热而达到热平衡。为表现切片厚度对测定热容量的影响，还对芦荟切片厚度加大为 1 cm。各生物质每次测定样品质量为 20 g，重复 5 次测定。

1.3.3 减少生物质进入测定系统之前的传热影响

按文献[10]的方法，要将待测叶片或番茄果实加热，然后再放入保温桶中，测其降温过程。但待测物质在放入测定系统时，必然与空气接触，而加热了的待测物质与空气有温差，则必将迅速产生传热过程，这将对试验产生较大影响。为了避免这种误差，本试验先将热水放入保温桶，并让保温桶系统取得热平衡，形成一个稳定的系统，再将环境温度下的待测物质加入。由于环境温度下的待测物质与空气之间不再产生净热交换，所以，使得测定过程不产生系统与环境传热误差。这里要求待测物质投入测定系统时要迅速，尽量减少因投入待测物质过程而使系统与环境产生的热交换，从而减少测定误差。

2 结果与分析

2.1 系统热容量测定

2.1.1 热平衡点确定方法

取热水质量为 400 g，用系统热容量测定方法测定，分析热平衡过程。可知系统温度下降过程为开始快速下降，这个过程为系统进入平衡的过程。到一定时间后维持一定的下降速率下降，这个阶段为系统已达到热平衡，由于保温桶保温性能决定其持续温度下降，其降温过程曲线见图 3，即与背景温度变化曲线一致。此时的特征是，系统热容量测定过程温度曲线与系统的自然降温曲线(背景温度)斜率相同，即可确定热平衡点。

2.1.2 系统热容测定结果

本试验用 1.1 中系统热容量测定方法，重复 5 次测定，平均值列于表 1 中，消除保温桶自然降温影响后，计算结果如表 1 所示。

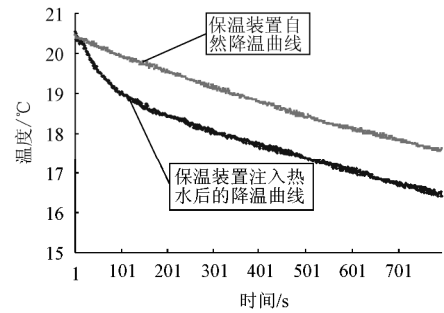


图 3 系统热容测定曲线

Fig.3 Measuring curve of system specific heat

表 1 系统热容量测定结果

Table1 The result of the system heat capacity

气温 $T_0/^\circ\text{C}$	保温桶 与气温差 $T_0'/^\circ\text{C}$	热水 质量 W_r/g	热水与 气温差 $T_w/^\circ\text{C}$	保温桶 平衡温度 $T_f/^\circ\text{C}$	保温桶实 际平衡温度 $T_f'/^\circ\text{C}$	系统热容量 $C_s/(\text{J}\cdot(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})^{-1})$
23.8	1.4	400	20.45	16.80	18.86	36.43±5.67

2.2 用水的热容修正热容测定公式

将质量 $W_w=400\text{ g}$ 的水放入保温桶，温度加热为与环境温差 $T_w(^\circ\text{C})$ ，将质量 W_l 为 20 g 的实验室空气环境温度的水放入保温桶中，测出平衡温度 $T_f(^\circ\text{C})$ ，则水的热容 C_w 用 (3) 式计算。但由于保温桶本身有自然降温过程。即式中的 T_w-T_f 项要加以修正。

观察系统加入冷水后降温曲线和系统自然降温曲线对比，如图 4。前者与后者相比是先降温较多，然后逐步接近于自然降温曲线

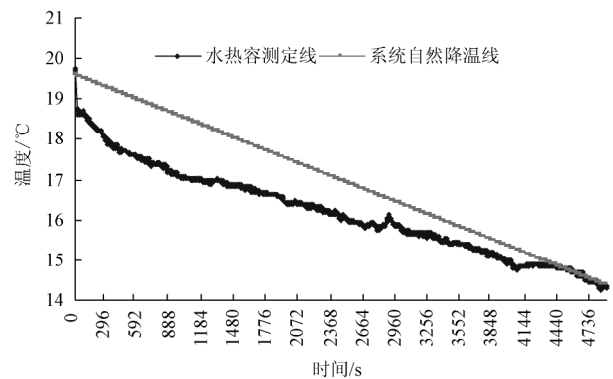


图 4 水热容量测定与系统自然降温曲线的对比

Fig.4 Contrast of water heat capacity measurement curve and system natural line

两线间的区域是加冷水造成的反应。它存在一个最大的温差 $\text{Max}(\Delta T)$ ，考虑用 $\text{Max}(\Delta T)$ 经验确定 T_w-T_f 的修正项。按水的热容为 $4200\text{ J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ ，确定 T_w-T_f 的修正项为 $0.5\text{Max}(\Delta T)$ ，即得到计算生物质热容的经验公式

$$C_w = \frac{1000 \times 2.1 (C_s + W_w) \max(\Delta T)}{W_a (T_f - T_i)} \quad (4)$$

式中， C_w 为生物质热容量， $\text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ ； ΔT 为测定过程中水温与系统自然降温线间最大温差， $^\circ\text{C}$ ； W_a 为加入保温装置的生物质质量，g。

按此公式测定水热容量, 结果为 $4\ 191.18\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$, 非常接近 $4\ 200\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ 。说明了这个经验公式测定生物质热容的准确性。

2.3 植物叶片热容量测定

按 2.2 的方法和公式 (4), 分别测定了蕃茄叶片和果实、侧柏、芦荟叶片的热容。对每一种生物质测定重复 5 次, 结果如表 2。其中对于蕃茄果实的测定, 为了消除果实体较大, 内部温度不一致对测定的影响, 将蕃茄果实切片处理, 切片厚度 1mm 。对催熟期和半熟期的果实, 对外面的表皮和果肉, 以及中隔部分均切成薄片。对成熟期和完熟期的果实, 其种子及种子周围包裹的滋养组织无法切片, 则直接加入测定。这是因为种子颗粒较小, 而滋养组织呈浆状, 很容易与水之间传热。为了显示切片厚度对试验结果的影响, 对芦荟叶片分别测定了切成 1cm 段和 1mm 薄片时的结果, 二者略有不同。切薄片有利于生物质与水传热过程, 测定结果更准确。

表 2 几种生物质热容的测定结果

Table 2 Measurement results of heat capacity of 4 plant organs

植物种类	气温 $T_0/$ $^{\circ}\text{C}$	保温桶 与气温 差 $T_i/$ $^{\circ}\text{C}$	热水 质量 $W_w/$ g	生物质 质量 $W_d/$ g	热水 与气 温差 $T_w/$ $^{\circ}\text{C}$	保温桶 平衡温 度 $T_f/$ $^{\circ}\text{C}$	最大温差 $\text{Max}(\Delta T)/$ $^{\circ}\text{C}$	生物质 热容 $C_d/$ $(\text{J}\cdot(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})^{-1})$
蕃茄叶片	19.6	0.0	400	20	18.7	16.7	1.43	3253.7 ± 97.10
蕃茄果实	20.7	0.0	400	20	20.1	17.2	1.26	3517.4 ± 68.50
侧柏针叶	21.7	0.0	400	20	21.1	15.5	1.12	3268.2 ± 38.10
芦荟 (切小段)	19.0	0.0	400	20	21.5	16.1	1.10	3247.0 ± 57.80
芦荟 (切薄片)	19.0	0.0	400	20	20.2	13.5	1.00	3232.9 ± 117.7

3 讨论

文献[1] 根据混合测定法原理,用磁力搅拌式水卡计、电位计以及数字温度计等, 组成一套测定装置, 对稻谷的热容进行测定。文献[1]作者认为其方法比利用国外的经验计算公式计算得到的数值具有更高的准确度。其结果, 在稻谷含水率为 20% 时, 热容量为 $2\ 800\text{J}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})$ 。鲜植物叶片和果实含水率高于谷物, 水的热容量为 $4\ 200\text{J}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})$, 增加含水量, 相应会增加生物质的热容量。所以, 本试验鲜植物叶片和果实热容量测定结果高于 $2\ 800\text{J}/(\text{g}\cdot^{\circ}\text{C})$, 与文献[1]的结果一致。

4 应用分析

该文测定物质热容量方法简便, 除针对生物质热平衡分析需要外, 也可用于工业上测定其他物质热容量参数。测定中使用的保温装置可工业化生产。配备的热电偶测温仪和空气温度测定仪器需要专业温度仪器厂生产。由于保温装置不同, 系统热容不同, 所选保温装置必须给出系统热容。具体要求如下:

1) 保温装置: 可采用双层玻璃真空保温桶保温方式, 上部开口不宜过大, 以增强保温效果。也可选择其他保温效果优于保温桶的装置。

2) 系统热容量测定: 对每个保温装置均需要进行系统热容测定。给出定量热蒸馏水注入后, 系统处于保温

状态过程中的标准降温线。

3) 对于待测定的样品, 要求切削厚度至小于 1mm , 以减少待测物内部热滞后性导致的系统热不均匀影响。

4) 配备的热电偶测温仪要求测温精度高, 达到 $<0.1^{\circ}\text{C}$, 而且自动记录温度的采样时间间隔 $<5\text{s}$, 以保证测定最终结果的准确性。保温装置外部空气温度变化较小, 气温测定仪器可选择该文仪器, 也可选地面气象观测站配备的干湿球温度表。

根据以上分析, 该文的物质热容量测定装置成本低, 测定方法易行, 应用前景较广。

5 结论

1) 用热平衡法测定生物质器官的热容量, 应消除系统散热造成的自然降温的影响; 修正了热平衡法测定生物质热容量的方法, 并用水的热容量进行了验证。

2) 初步测定得到了蕃茄叶片和果实的热容量。另外测得了干旱区植物恢复先锋树种侧柏的热容量, 以及肉质植物器官芦荟叶片的热容量。所测结果均为低于水的热容量。本文测定结果是几种生物质热容量的初步测定结果, 重点在于研究热平衡法测定生物质热容量的方法及其可行性, 对于更为准确的各种生物质热容量有待于进一步研究;

3) 传热试验需要绝热环境, 而一般的绝热试验装置价格均较高。本试验方法仪器简单易行, 有实际意义。

4) 热平衡法的试验装置是保温的, 但不是绝热的。即环境温度对试验过程有影响, 所以试验中要保持环境温度稳定。试验过程中整个测定系统的温度变化范围也要注意。本试验测定的温度最高为高于环境温度 20°C 。

[参 考 文 献]

- [1] 陈坤杰, 龚红菊, 姬长英. 短粒型稻谷热容的实验测定[J]. 农业工程学报, 2003, 19(5): 27—30.
Chen Kunjie, Gong Hongju, Ji Changying. Determination on heat capacity of short paddy grain[J]. Transactions of the CSAE, 2003, 19(5): 27—30. (in Chinese with English abstract)
- [2] 徐昭. 大麦比热系数的测量[J]. 石河子科技, 2009(5): 9—11.
- [3] 廖彩虎, 芮汉明, 张立彦, 等. 超高压解冻对不同方式冻结的鸡肉品质的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 331—336.
Liao Caihu, Rui Hanming, Zhang Liyan, et al. Effects of ultra-high pressure thawing on San Huang chicken quality by different frozen methods[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(2): 331—336. (in Chinese with English abstract)
- [4] 王梅生. 个体发育过程中生物体的熵[J]. 华东师范大学学报: 自然科学版, 1996(3): 52—58.
Wang Meisheng. Organism entropy in the process of ontogeny[J]. Journal of East China Normal University: Natural Science, 1996(3): 52—58. (in Chinese with English abstract)
- [5] 何芳, 徐梁, 柏雪源, 等. 生物质热解过程吸热量[J]. 太阳能学报, 2006, 27(3): 237—241.

- He Fang, Xu Liang, Bai Xueyuan, et al. Heat requirement of biomass pyrolysis[J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2006, 27(3): 237—241. (in Chinese with English abstract)
- [6] Lauthouwers D, Bellan J. Modelling of biomass pyrolysis for hydrogen production: the fluidized bed reactor. *Proceeding of the 2001 DOE hydrogen program review*, 2001, 1—32.
- [7] Janse A M C, Westerhout R W J, Prins W. Modeling of flash pyrolysis of a single particle[J]. *Chemical Engineering and Processing*, 2000, 39(3): 239—252.
- [8] Jalan R K, Srivastava V K. Studies on pyrolysis of a single biomass cylindrical pellet-kinetic and heat transfer effects[J]. *Energy Conversion and Management*, 1999, 40(5): 467—494.
- [9] Sharma A, Rao T R. Analysis of an annular finned pyrolyser [J]. *Energy Conversion Management*, 1998, 39(10): 985—997.
- [10] Liliedahl T, Sjoström K. Heat transfer controlled pyrolysis kinetics of biomass slab, rod or sphere[J]. *Biomass and Bioenergy*, 1998, 15(6): 503—509.
- [11] 张海峰, 何立群, 高大勇. 点热源热脉冲法测算生物流体的热物性参数[J]. *计量学报*, 2005, 26(1): 23—26.
Zhang Haifeng, He Liqun, Gao Dayong. Point heat pulse method for measuring thermal properties of bio-fluids[J]. *Acta Metrologica Sinica*, 2005, 26(1): 23—26. (in Chinese with English abstract)
- [12] 张敏, 张百良, 孙治强. 采后果实内部传热学分析[J]. *东北农业大学学报*, 2004, 35(4): 418—420.
Zhang Min, Zhang Bailiang, Sun Ziqiang. Heat transfer analysis in postharvest fruit[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2004, 35(4): 418—420. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张敏, 张百良, 孙治强, 等. 微探针法测试番茄各成熟阶段导热系数的研究[J]. *工程热物理学报*, 2005, 26(增刊): 213—216.
- [14] 张敏, 孙治强, 张百良, 等. 不同成熟期番茄热导率的测定[J]. *园艺学报*, 2005, 32(3): 516—517.
Zhang Min, Sun Ziqiang, Zhang Bailiang, et al. The measurement of thermal conductivity of tomato fruits at different ripening stage[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2005, 32(3): 516—517. (in Chinese with English abstract)
- [15] 张敏. 采后果蔬热导率测试系统研究及其内部传热温度场模拟[D]. 郑州: 河南农业大学, 2005: 39—41.
- [16] 易维明. 生物质比热容的测量方法[J]. *山东工程学院学报*, 1996, 10(1): 7—10.
Yi Weiming. Measurement methods of biomass specific heat[J]. *Journal of Shandong Institute of Engineering*, 1996, 10(1): 7—10. (in Chinese with English abstract)
- [17] 易维明, 郭超, 姚宝刚. 生物质导热系数的测定方法[J]. *农业工程学报*, 1996, 12(3): 38—41.
Yi Weiming, Guo Chao, Yao Baogang. Measurement methods of heat conduct coefficient of biomass[J]. *Transactions of the CSAE*, 1996, 12(3): 38—41. (in Chinese with English abstract)

Specific heat of tomato leaf and fruit with heat balance method

Chen Jingling, Wang Qian^{*}, Zhu Xiuhong, Zhao Yong, Wu Mingzuo, Yang Xitian, Zhang Jun

(Forestry Department, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: For the demand of heat exchange research between plant and its environment, especially the need of organic Thermophysical parameters in the analysis of ecology, the paper studied the specific heat of plant organs using the heat balance method. Tomato leaves and fruits were selected for measurement. The pioneer tree of ecological recovery, arborvitae, and the fleshy plant, aloe, were also taken as the objects in this study. The results showed that the specific heat of tomato leaf was $(3253.7 \pm 97.10) \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$, which was approximate with those of the arborvitae and aloe. The specific heat of tomato fruit was $(3517.4 \pm 68.50) \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$. The specific heats of plant organs mentioned above could be measured by heat balance method, and all the specific heats measured in this study were lower than the specific heat of water. This paper also consummated the heat balance method in organic specific heat measurement. The research can provide a new method for specific heat measurement and a basis for plant heat exchange research also.

Key words: fruits, measurements, heat exchanges, tomato, leaf, specific heat, heat balance