

柴油机漏气率对其性能影响的研究

TK428
TK427

陈军, 李俊耀, 席新明, 张秀琴

(西北农林科技大学 机械与电子工程学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘要] 采用对比试验的方法,研究了柴油机缸内气体泄漏对其动力性和经济性的影响。研究表明:漏气不仅带走质量和内能,同时也影响发动机的燃烧过程。随着漏气率的增大,柴油机有效功率非线性下降,而耗油率非线性上升,且耗油率的上升率大于功率的下降率;同时表明不能单一用静态时气缸最高压力作为发动机送修的判定依据。

[关键词] 柴油机;漏气率;最高压力;有效功率;流量法;性能

[中图分类号] TK428 **[文献标识码]** A

发动机的漏气量与功率、耗油率一样,被广泛地认为是发动机性能检测的重要指标之一。发动机的漏气主要指气缸内的气体通过活塞与气缸壁间隙泄漏到曲轴箱的气体,也有少量是通过气门与气门座之间的间隙泄漏出去的。漏气严重的发动机其动力性、经济性都较差。

目前,对发动机漏气量的测量方法大多为流量法^[1],即利用流量计测量从曲轴箱流出的气体量。由于柴油机曲轴箱并非完全封闭,因而利用这种方法很难达到较高的测量精度。本研究利用静态压力测试与动态性能测试相结合的试验方法,探讨漏气对柴油机动力性和经济性的影响。

1 设备和方法

1.1 试验设备

为了减少试验工作量,采用模拟漏气量的试验方法,用不同磨损程度的气缸活塞组来模拟漏气进行试验。试验用发动机为C15-195柴油机。

本试验在熄火状况下进行缸内压力测量。采用将压力传感器安装在发动机喷油器处,然后由调速电机拖动发动机运转来进行缸内压力测试。经传感器输出的信号由动态应变仪进行滤波放大,通过A/D转换由计算机进行数据采集处理^[2],同时利用光电信号传感器输出信号作为数据采集中断信号,以保证整周期采集^[3],从而获得较精确的最高压缩压力值。性能指标测试是在发动机动态工作时,采用计算机辅助测试进行的^[4]。

压力传感器采用成都科学仪器厂生产的BPR-2型压力传感器。其主要技术指标为:线性误差 $\epsilon_L=0.4\%$;滞后误差 $\epsilon_H=0.4\%$;温度误差 $0.04\%/^{\circ}\text{C}$;分辨率能力为额定压力的 0.1% ;固有频率为 $35\ 000\ \text{Hz}$;输出灵敏度为 $0.000\ 5\ \text{V/V}$ 以上。

[收稿日期] 1999-09-08

[作者简介] 陈军(1970-),男,讲师,硕士。

1.2 测试方法

在每种磨损程度下,首先利用调速电机控制器对发动机运转转速进行调整,使发动机转速达到 500 r/min,且等到运转稳定后进行压力测试。压力测试结束后,解除调速电机对发动机的拖动,起动机,在同磨损程度下测试发动机的有效功率和耗油率。

2 结果与分析

2.1 试验结果与处理

将测试所得功率值和耗油率值经大气修正,求出最高压缩压力值后,然后将所得值列入表 1。

表 1 耗油率和功率、最高压力的试验结果

试验号	最高压力/ MPa	耗油率/ (g·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)	有效功率/ kW	试验号	最高压力/ MPa	耗油率/ (g·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)	有效功率/ kW
1	2.369	256.5	11.172	6	2.073	312.9	9.849
2	2.218	278.7	10.731	7	2.048	319.3	9.655
3	2.132	285.2	10.390	8	1.986	322.2	9.480
4	2.102	292.9	10.143	9	1.933	332.3	9.261
5	2.085	305.4	9.905				

由表 1 可见,随着最高压力的减小,发动机的功率减小,而耗油率上升。

说明不同状态下的最高压力变化为漏气所致,对其运动过程进行简化可看作为理想气体压缩时的状况。如果将压缩开始的温度、压力及压缩结束的温度都对应进行修正,则可用相同的值来分别代替,由克拉伯龙方程得压缩终了压力:

$$p_i = \frac{RT_i}{v_i} n_i$$

其中, v_i 为压缩终了容积; T_i 为压缩终了温度; n_i 为压缩终了每公斤工质的摩尔数; R 为气态系数, $R=8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ 。

由于容积保持不变, T_i 、 R 都对应相等,那么 p_i 与 n_i 对应成正比,而 n_i 的变化就是漏气量的变化,这样可将漏气量变化近似地看作最高压力的变化。如定义漏气率 f_a , 功率下降率 f_{N_e} 和耗油率上升率 f_{g_e} 分别为:

$$f_a = \frac{p_1 - p_i}{p_1} \times 100\%, f_{N_e} = \frac{N_{e_1} - N_{e_i}}{N_{e_1}} \times 100\%, f_{g_e} = \frac{g_{e_1} - g_{e_i}}{g_{e_1}} \times 100\%$$

那么,就可用 f_a 、 f_{N_e} 、 f_{g_e} 分别代替漏气量、功率和耗油率的变化量。

通过最小二乘法拟合得 f_a 与 f_{N_e} 、 f_a 与 f_{g_e} 之间的关系式为:

$$f_{N_e} = -0.45 + 0.74f_a + 0.01f_a^2 \quad (1)$$

相关系数 $R^2=0.97$, 检验值 $F=96.13$

$$f_{g_e} = -0.44 + 1.28f_a + 0.02f_a^2 \quad (2)$$

相关系数 $R^2=0.94$, 检验值 $F=48.26$ 。

漏气率与功率下降率及耗油率上升率之间关系曲线见图 1。由图 1 可知,随着漏气率的增大,功率下降率和耗油率上升率均非线性上升。

2.2 结果分析

2.2.1 漏气率对功率的影响 由表 1 和图 1 可以看出,随着发动机最高压缩压力的降低,即漏气量的增加,发动机的有效功率随着非线性下降。这是由于如果仅考虑气体泄漏所带走的质量和能量对柴油机性能的影响,则功率下降率与漏气率的增加成线性关系。但从图 1 及式(1)可以看出,漏气率对功率的影响是非线性的,说明漏气还对燃烧过程产生影响。据文献[5]报道,漏气主要造成发动机压缩压力下降,从而造成滞燃期增加。由于在滞燃期内形成一定量的混合气,且在油束外层浓度、

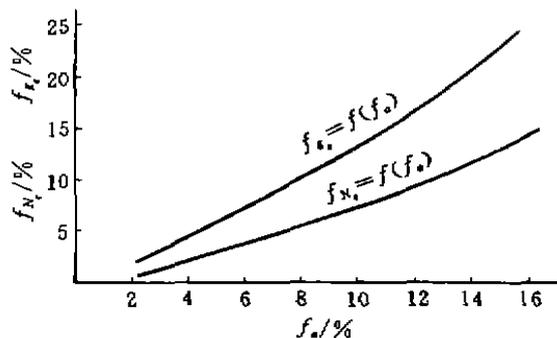


图 1 f_{x_e} 、 f_{x_i} 与 f_a 的关系图

温度适宜处出现一处或多处着火中心,并在速燃期内火焰迅速传播。根据应用最广泛的火焰传播理论^[6,7],燃烧速度是由化学反应速度来决定的,过量空气系数的减少使化学反应速度减慢。因此,漏气通过带走质量和内能使有效功率线性下降,而燃烧过程的变化则影响有效功率的下降速度,两者的综合作用使得漏气率对发动机有效功率的影响成非线性。

2.2.2 漏气率对耗油率的影响 由图 1 及式(2)可以看出,随着漏气率的增大,柴油机的耗油率非线性上升,且柴油机有效功率的下降率小于耗油率的上升。这是由于随着漏气率的增大,柴油机的有效功率非线性下降,造成耗油率非线性上升;另外由于随着漏气率的增大,柴油机充气效率变小,燃油不完全燃烧量增大。在有效功率变化及参与燃烧的燃油量变化综合作用下,耗油率的变化较快。

因此,实际工作中单一利用最高气缸压力作为发动机送修的依据并不完全可靠,可以利用实测气缸压力作为柴油机的技术状态检查的参考。

4 结 论

1) 柴油机功率随着漏气率的增大而下降,耗油率随着漏气率的增大而增大,有效功率的下降率小于耗油率的上升率。

2) 漏气带走内能,使功率线性下降;漏气对燃烧过程产生影响,影响功率的下降速率。

3) 不能单一用静态时气缸最高压力作为发动机送修的判定依据。

[参考文献]

- [1] 应平,陈忠慧. C195 柴油机活塞环—气缸套快速模拟磨损试验研究[J]. 小型内燃机, 1990, (2): 29—33.
- [2] 刘维驷,李燕宾,史绍熙. 内燃机气缸压力测量的一种新的压力信号滤波处理方法[J]. 内燃机学报, 1992, 10(1): 13—20.
- [3] 陈军. 发动机气缸活塞组磨损及其 CAT 系统的研究[D]. 陕西杨陵: 西北农业大学, 1998.
- [4] 陈军,师帅兵,王应宽. 气缸活塞组磨损对柴油机性能影响的研究[J]. 西北农业大学学报, 1998, 26(6): 66—69.
- [5] 古滨庄一. 汽车发动机润滑[M]. 北京: 人民交通出版社, 1979.

- [6] 吉林工业大学内燃机教研室. 内燃机理论与设计(上册)[M]. 北京:机械工业出版社,1977.
 [7] 华中农业大学. 拖拉机汽车学(第 3 册)[M]. 北京:农业出版社,1995.

A study on the effect of gas leakage rate on diesel engine performance

CHEN Jun, LI Jun-yao, XI Xin-ming, ZHANG Xiu-qin

*(College of Mechanical and Electronics Engineering, Northwest Science and Technology
University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)*

Abstract: Using the comparison method, this paper studies the influence of diesel engine cylinder gas leakage on its power performance and economic results. The results show that gas leakage brings about not only the loss of quality and internal energy, but also the effect on the combustion of diesel engine, resulting in non-linear decrease of effective power and non-linear increase of fuel consumption. And the increase of fuel consumption is more than the decrease of effective power. The result also indicates that the maximum cylinder pressure of static state is not regarded as the only judge foundation for engine repair.

Key words: diesel engine; gas leakage rate; maximum pressure; effective power

欢迎订阅 2001 年《麦类作物学报》

《麦类作物学报》是由中华人民共和国农业部主管、西北农林科技大学和国家小麦工程技术研究中心(位于河南农大)联合主办的专业性学术期刊,也是全国唯一的一份国家学报级麦类作物专刊。其前身为 1981 年创刊的技术性期刊《麦类作物》,于 1999 年 4 月被国家科技部批准更名为《麦类作物学报》,已于 2000 年正式刊行。本刊立足全国,面向世界,主要刊载麦类作物(小麦、大麦、燕麦、黑麦等)遗传育种、生理生化、栽培管理、食品加工等方面有创见性的学术论文、领先水平的科研成果、学术报告、有新意的文献综述以及学术动态等。此外,本刊还开办有“著名专家介绍”以及“新成果、新品种、新产品介绍”等宣传性专栏,并继续以优惠价刊登各类广告。

本刊为季刊,季首月出版,大 16 开本,96 页码。每册定价 8.00 元,全年 32 元。国内刊号:CN61-1308/S,国际刊号:1009-1041。全国各地邮局均可订阅,邮发代号:52-66。广告经营许可证:陕工商广字 03-031 号。漏订者可直接向编辑部邮购。

编辑部地址:陕西杨陵渭惠路 3 号 西北农林科技大学农科院校区
 邮编:712100 电话:(029)7083508

[文章编号]1000-2782(2000)04-0102-06

反刍动物内脏能量利用和代谢研究进展

罗 军

(西北农林科技大学 动物科学与动物医学学院, 陕西 杨陵 712100)

S823

S852.219.3

[摘要] 引用国外有关研究结果,从内脏系统能量利用的影响因素、门静脉排流内脏系统的能量利用、肝静脉系统的能量利用和能量利用的稀释作用4个方面详细阐述了反刍家畜内脏能量利用的规律,并提出内脏能量代谢方面的研究领域。

[关键词] 反刍动物; 内脏; 能量代谢; 能量利用; 粗饲料

[中图分类号] S823.5 **[文献标识码]** A

反刍动物营养物质吸收的主要场所是小肠和瘤胃,营养物质经肠上皮细胞进入肠粘膜下的毛细血管,渐次汇聚成小静脉及静脉,然后流入门静脉内,门静脉血液入肝后,与来自肝动脉的血液混合,再由肝静脉将肝内血液输至后腔静脉,大部分蛋白质、糖类及无机盐都是经过这条途径消化吸收的。不同的内脏组织在营养物质消化吸收中的作用也有所差别,通过内脏组织营养物质分配的研究,可以更好地探讨代谢机理。

粗饲料主要用于反刍家畜生产,是能量物质的主要来源。粗饲料采食特点的生理控制机制对家畜能量代谢效率和体组织的维持、生长和产物分泌等方面所需代谢能的多少非常重要^[1]。由于肝、肠系统的产热量占整个身体产热量的比例最大(40%),影响其代谢的因素对热量平衡和饲料采食有着极其重要的意义^[2]。本文引用国外的研究结果和试验数据,综述以粗饲料为主的反刍家畜内脏能量利用和代谢的研究进展,并提出反刍动物内脏能量代谢的重要研究领域。

1 内脏系统能量利用的影响因素

近年来,国外许多学者利用手术安装血管导管的方法,对牛、绵羊等反刍家畜内脏能量利用进行了广泛的研究,测定了通过门静脉排流内脏(Portal-drained Viscera, PDV)、肝脏和内脏床(Splanchnic Bed)的血液营养物质浓度和氧饱和度。Goetsch等^[3]对11个以阉绵羊作为试验动物的研究(基础日粮为粗饲料,日饲喂2~3次)结果的归纳分析发现,消化能摄入量(DEI)是影响内脏系统能量利用效率的主要变量,分别占PDV、肝脏和内脏床能量利用总变异的22%、25%和35%,引入其他自变量可增加能量利用回归估计方程的决定系数,但未必能反映出变量间的真实关系。除DEI之外,DEI²、粪便中性洗涤纤维(NDF)排泄量和肝静脉血液尿素N的浓度,也是影响内脏组织能量利用的重要变量。

[收稿日期] 1999-08-30

[作者简介] 罗 军(1965-),男,教授,博士。

2 门静脉排流内脏系统(PDV)的能量利用

肝脏是体循环系统中最主要的动力性血库,含有丰富的血管,能容纳大量的循环血液。在绵羊上,心脏输出量30%~40%的血液由肝脏接受。肝脏总血流量的2/3左右由门静脉供应。由内脏毛细血管汇集入静脉系统,通过门静脉而流入肝脏,这些内脏器官称为门静脉排流内脏(PDV,包括胃肠道,胰脏,脾脏,肠系膜及网膜脂肪)。目前关于消化液化学特性与PDV组织能量代谢的研究很少,机理也不十分清楚。Johnson等^[4]认为,小肠粘膜增厚与吸收有关,与代谢的关系不大。但是研究表明^[5],DEI增加时,粪便NDF的排泄量的影响效应减少。由于受DEI和肠内纤维含量等影响的某些代谢过程共存,因此胃肠道中纤维素的含量并非营养物质吸收的限制因素。

瘤胃后消化道内消化液的化学作用可能包括一种或几种挥发性脂肪酸(VFA),这些VFA对非反刍家畜上皮细胞有营养作用^[5]。粪便NDF排泄量增加时,由于瘤胃液流速和pH值增高^[6],瘤胃后消化道内纤维发酵可刺激微生物VFA的产量,因此会使瘤胃后消化道对瘤胃VFA的吸收增加。VFA也可刺激瘤胃上皮细胞的分化,丁酸的刺激效果强于乙酸和丙酸,可使粘膜细胞群产生持久性地变化^[7,8]。但是对VFA效应的作用方式仍不清楚,如系统与局部的关系,胰岛素、肠高血糖素和粘膜血流量的效用等等。有关VFA对上皮细胞增生的化学刺激作用,随日粮中不同消化能含量和消化液特性变化方式的研究目前尚属空白。

除VFA对小肠上皮细胞的影响效应之外,Ketelaars等^[9]指出,瘤网胃中Na⁺和VFA的比例也影响肠道的能量利用。尽管未知其确切的作用机理,但对高纤维含量日粮而言,PDV产热量与吸收能量的比率增高将导致相对较高的唾液量和较低的VFA产量。另外,动物采食后肠道和其他组织间体液的重新分配也可提高体增热。

消化液物理特性在一定程度上也会影响PDV的能量利用与代谢。包含粪便NDF排泄量的回归方程对肠道中消化液的量及物理特性效应的决定程度有多大仍有待研究。Rompala等^[10]认为,肠道中消化液的组成比消化液量的多少更为重要。羔羊饲养试验发现,与对照组相比,给瘤胃中投放质量分数10%的聚乙烯粉可增加胃的重量,而投放聚氨基甲酸乙酯对胃重没有影响(聚乙烯粉和聚氨基甲酸乙酯均为不可消化的非营养物质,通常用于研究非降解物质对反刍动物消化道上皮细胞生长和形态学等的影响作用)。有人认为,热带牧草的结构粗糙、具有突出和锋利的边缘^[11],特定植物组织(如温带牧草与热带牧草之间)的结构完整性和比例差异对肠上皮细胞代谢的作用仍然未知,可以推测,相对于反刍刺激而言,它很可能通过改变蛋白质的合成或转换对肠上皮细胞质量和消化液代谢特性产生影响^[12]。肠上皮细胞蛋白质合成主要用于分泌(包括酶、粘蛋白和粘多糖,占整个合成作用的20%以上)、细胞间转化和细胞脱落进入管腔。Lobley^[13]认为,日粮成分对分泌性蛋白质的合成具有显著的影响作用。小肠消化液纤维含量和内源氮之间存在一定的正相关^[14],或许与非反刍动物一样,消化液的酶吸收作用以及消化液的量和理化特性也是导致上述相关关系的原因^[15],同样程序性的上皮细胞死亡的速率随着肠消化液的量和特性的不同而异^[16],这也将影响细胞迁移过程中的蛋白质转化^[17]。VFA对瘤胃上皮细胞增大的刺激作用和消化液特性之间的关系也将影响上皮细胞死亡和脱落的速度。

除蛋白质转化之外,肠道内的代谢过程如离子转运,也可能受到消化液特性的影响。Rompala 等^[18]给试验组羔羊饲喂基础日粮和质量分数 10% 聚乙烯粉,对照组饲喂基础日粮(质量分数 67% 玉米、质量分数 28% 苜蓿颗粒料、质量分数 5% 添加剂),结果发现试验组羔羊盲肠和结肠粘膜 Na^+/K^+ ATP 酶的活性增加与 Na^+ 通透性变化有关。另一个与消化液物理效应有关的因素(可能导致 PDV 能量利用与 DEI 比率增加)是相对于 DEI 的采食时间,采食时间和 PDV 产热量间的关系包括肠道收缩的肌肉活动^[19,20]、上皮组织的能量利用量远大于肠道肌肉的能量利用量。

3 肝静脉系统的能量利用

对小肠能量代谢而言,除 DEI 之外,肝静脉能量利用率较大的变异程度也受 PDV 能量消耗量的影响,并且不仅仅是一种相关关系。内脏床能量利用回归方程中包含粪便 NDF 排泄量这一变量也是上述观点的例证,相应地,PDV 能量利用的影响作用也反映了 DEI 和粪便 NDF 排泄量对肝能量利用的间接影响作用。由于 PDV 和肝脏代谢的相关关系^[21,22],因此可以视作肝脏能量代谢生理载荷的调节变量。相对于营养物质吸收量来说,肠能量代谢对肝脏代谢的影响也会随试验设计或生产条件的不同而异。以中等或较差品质粗饲料为主的日粮限制能量吸收,容易引起肠道质量增加和与 DEI 相关的能量利用率提高^[23]。

通过 PDV 和外周组织汇于肝脏的营养物质流,理论上或至少在某程度上会改变肝脏的能量利用。但是,这种效应是否会引起肝脏能量利用的显著变化,尚待进一步研究^[24]。可以推论,瘤胃氨吸收增高会提高尿素合成过程中肝脏的能量利用(因为该过程要利用相当比例的能量)^[25],这个效应可以通过肝脏尿素氮流对肝能量利用的影响作用证实。在内脏能量利用回归方程中引入 DEI 和肝静脉尿素 N 浓度间的交互作用,可能受 DEI 和可消化 N 采食量之间的相关之影响。研究证实,肝脏氨氮释放速度快将导致与肝静脉尿素合成有关的能量消耗增加,两者之间的强正相关($r=0.904$)关系说明尿素合成过程中的能量消耗较大^[26]。在以粗饲料为主的生长阉羊试验中发现,肝重占体重的相对比例较大,说明营养物质(可能是由于氨的浓度增加而导致肝脏的代谢作用增强)对肝的质量有一定影响,在所有参试饲草中,苜蓿可消化 N 采食量最大,苜蓿蛋白质在瘤胃中的降解最为充分和迅速^[27]。此外,给饲喂劣质干草的绵羊补饲蛋白质可提高 DM、DE 和 ME 采食量^[26]。

有关肝脏尿素合成过程影响因素研究,主要侧重于 PDV 氨释放量,但是提高肝脏氨基酸摄入量的试验或生产条件,同样也会增加尿素合成过程中的能量利用率,与外周组织蛋白质合成有关的 PDV 释放量增加,糖原合成过程中所需的丙酸和乳酸浓度较低或者肝脏氨的摄入量高等均会导致肝静脉氨基酸吸收量增加。例如,Goetsch 等^[28]发现,补饲瘤胃保护蛋白质(非降解蛋白质)的 10 月龄阉羊肝静脉 α -氨氮浓度比对照组大。在限饲条件下,向阉羊真胃中连续灌注酪蛋白,结果发现其肝静脉 α -氨氮浓度比未灌注对照组高^[29]。肝静脉氨基酸脱氨作用过度,导致尿素合成作用增强时,氨基酸吸收量和 DEI 的比率,将随着家畜成熟度增加或瘦肉组织生长潜势下降而减小,根据可利用能量的多少,幼畜或补偿生长能力强的家畜可在外周组织中沉积多量的氨基酸,因此外周组织氨基酸释

放和肝静脉脱氨作用降至最低程度。例如,Oddy等^[30]发现,与采食劣质粗饲料、蛋白质沉积能力强、体重轻的羔羊相比,补饲瘤胃保护蛋白可导致营养水平较高、蛋白组织生长潜力较低羔羊的氨基酸氧化作用发生较大变异。

4 能量利用的稀释作用

当DEI随自由采食量增加时,DEI²对PDV能量利用,DEI对内脏组织能量利用的作用,说明维持状态下内脏组织能量的稀释作用(由于内脏器官的机械收缩从而抵消了家畜采食的部分消化能)。营养物质增加时,内脏组织的代谢机械能可能超过平均日吸收和代谢的能量需要,同样根据定时饲喂反刍家畜VFA和氨基酸吸收的规律,相对较高的营养水平,也许会导致每日特定时间的吸收和代谢水平提高,以满足需要。可以推论,由于内脏中营养成分复杂和每日饲料转换频繁,因此内脏组织酶解作用范围很广。如果内脏组织代谢能力不足(有限的VFA或氨基酸吸收)产生负效应,则很可能导致某些代谢作用过度^[31],此外,这可以防止血液中乙酸等代谢产物含量过高带来的有害作用。

目前关于能量稀释的生理机制还不清楚。在离子转运和蛋白质转化中,PDV和肝脏利用了相当一部分能量。尽管前面主要阐述了肠道消化液的影响作用,但是日粮效应的主要影响因素尚未确定。对单位能量吸收而言,通过所有或特定VFA,或者消化液的物理效应等产生的刺激作用随DEI增加而下降,在一般或最佳条件下,能量消耗过程中对刺激的反应性可能减弱,另一潜在相关因素为细菌等对肠道上皮细胞转化的刺激作用,这种作用对自由采食量差异的反应性较差^[12]。正如关于日粮包含谷物饲料的问题中提到的,稀释作用可能与外周组织能量对饲料采食量的影响有关。

5 内脏能量利用和代谢的研究领域

综上所述,在反刍动物内脏能量利用和代谢领域尚需进行以下专题研究:包括饲料采食量调节机理的研究;粗饲料纤维含量对小肠生长和细胞增殖机理的研究;内脏营养物质吸收、转运机理的研究;消化液的物理特性对上皮细胞Na⁺通透性变化的影响,日粮对消化液Na⁺浓度的影响效应,Na⁺在VFA吸收中的作用及其互作,蛋白质补饲对反刍家畜生产性能影响的生理机制等。通过上述方面的理论研究,可全面了解反刍动物内脏系统能量利用和代谢的机理,推动有关应用基础研究的开展,并将其研究成果尽快运用于生产实践中,对我国动物营养学的发展具有重要意义。

[参考文献]

- [1] Goetsch A L. Splanchnic tissue energy use in ruminants that consume forage-based diets ad libitum[J]. J Anim Sci, 1998, 76: 2737-2746.
- [2] Ferrell C L. Contribution of visceral organs to animal energy expenditures[J]. J Anim Sci, 1988, 66(Suppl. 3): 23-34.
- [3] Goetsch A L, Patil A R. Relationships among splanchnic tissue energy consumption and net flux of nutrients, feed intake and digestibility in weibers consuming forage-based diets ad libitum[J]. J Appl Anim Res, 1997, 11: 1-18.
- [4] Johnson D E, Johnson K A, Baldwin R L. Changes in liver and gastrointestinal tract energy demands in response

- to physiological workload in ruminants[J]. *J Nutr*, 1990, 120: 649—655.
- [5] Sakata T. Stimulatory effect of short-chain fatty acids on epithelial cell proliferation in the rat intestine; A possible explanation for trophic effects of fermentable fiber, gut microbes and luminal trophic factors[J]. *Br J Nutr*, 1987, 58: 95—103.
- [6] Illius A W, Jessop N S. Metabolic constraints on voluntary intake in ruminants[J]. *J Anim Sci*, 1996, 74: 3052—3062.
- [7] Sakata T, Tamate H. Rumen epithelial cell proliferation by rapid increase in intraruminal butyrate[J]. *J Dairy Sci*, 1978, 61: 1109—1113.
- [8] Sakata T, Tamate H. Rumen epithelial cell proliferation accelerated by propionate and acetate[J]. *J Dairy Sci*, 1979, 62: 49—62.
- [9] Ketelaars J J M H, Tolkamp B J. Oxygen efficiency and the control of energy flow in animals and humans[J]. *J Anim Sci*, 1996, 74: 3036—3051.
- [10] Rompala R E, Hoagland T A, Meister J A. Modifications in growth and morphology of ovine jejunal and ruminal epithelia as affected by inert dietary substances[J]. *J Anim Sci*, 1990, 68: 2530—2535.
- [11] Wilson J R. Organization of forage plant tissues[A]. Jung H G, Buxton D R, Hatfield R D, et al. Forage cell wall structure and digestibility[C]. Madison WI; Am Soc Agron, Crop Sci Soc Am, Soil Sci Soc Am, 1993. 1—32.
- [12] MacRae J C. Advancing our understanding of amino acid utilization and metabolism in ruminant tissues[A]. Kornegay E T. Nutrient management of food animals to enhance and protect the environment[C]. Boca Raton, FL, CRC Press, 1996. 73—90.
- [13] Lobleby G E. Amino acid and protein metabolism in the whole body and individual tissues of ruminants[A]. Asplund J M. Principles of Protein Nutrition of Ruminants[C]. Boca Raton, FL, USA, CRC Press, 1994. 147—178.
- [14] Van Bruchem J, Voigt J, Lammers-Wienhoven TSCW, et al. Secretion and reabsorption of endogenous protein along the small intestine of sheep; estimates derived from ^{15}N dilution of plasma non-protein-N[J]. *Br J Nutr*, 1997, 77: 273—286.
- [15] Dunaif G, Schneeman B O. The effect of dietary fiber on human pancreatic enzyme activity in vitro[J]. *Am J Clin Nutr*, 1981, 34: 1034—1035.
- [16] Jin L, Reynolds L P, Redmer D A, et al. Effects of dietary fiber on intestinal growth, cell proliferation, and morphology in growing pigs[J]. *J Anim Sci*, 1994, 72: 2270—2278.
- [17] Lobleby G E. The physiological bases of nutrient responses; growth and fattening[J]. *Proc Nutr Soc*, 1986, 45: 203—214.
- [18] Rompala R E, Hoagland T A, Meister J A. Effect of dietary bulk on organ mass, fasting heat production and metabolism of small and large intestines in sheep[J]. *J Nutr*, 1988, 118: 1553—1557.
- [19] Kelly J M, McBride B W, Milligan L P. In vitro ouabain-sensitive respiration and protein synthesis in ruminal epithelial papillae of Hereford steers fed either alfalfa or bromegrass hay once daily[J]. *J Anim Sci*, 1993, 71: 2799—2800.
- [20] Seal C J, Reynolds C K. Nutritional implications of gastrointestinal and liver metabolism in ruminants[J]. *Nutr Res Rev*, 1993, 6: 185—208.
- [21] Bergman E N, Pell J M. Integration of amino acid metabolism in the ruminant[A]. Gilchrist F M C, Mackie R I. Herbivore Nutrition in the Subtropics and Tropics[C]. Craighall, South Africa, The Sience Press, 1984. 613—630.
- [22] Reynolds C K. Metabolism of nitrogenous compounds by ruminant liver[J]. *J Nutr*, 1992, 122: 850—854.
- [23] Kouakou B, Goetsch A L, Patil A R, et al. Visceral organ mass in wethers consuming low- to moderate-quality grasses[J]. *Small Ruminant Res*, 1998, 26: 69—80.
- [24] Parker D S, Lomax M A, Seal C J, et al. Metabolic implications of ammonia production in the ruminant[J]. *Proc*

- Nutr Soc, 1995, 54, 549—563.
- [25] Lobleby G E, Wetjts P J M, Connell A, et al. The fate of absorbed and exogenous ammonia as influenced by forage or forage-concentrate diets in growing sheep[J]. Br J Nutr, 1996, 76, 231—248.
- [26] Krehbiel C R, Ferrell C L, Freetly H C. Effects of frequency of supplementation on dry matter intake and net portal and hepatic flux of nutrients in mature ewes that consume low-quality forage[J]. J Anim Sci, 1998, 76, 2464—2473.
- [27] Kouakou B, Goetsch A L, Patil A R, et al. Visceral organ mass in wethers consuming diets with different forages and grain levels[J]. Livest Prod Sci, 1997, 47, 125—137.
- [28] Goetsch A L, Patil A R, Wang Z S, et al. Net flux of nutrients across splanchnic tissues in wethers consuming bermudagrass or ryegrass-wheat hay supplemented with rumen undegradable protein[J]. Small Ruminant Res, 1997, 25, 119—128.
- [29] Guerino F, Huntington G B, Erdman R A. The net portal and hepatic flux of metabolites and oxygen consumption in growing beef steers given post-ruminal casein[J]. J Anim Sci, 1991, 69, 387—395.
- [30] Oddy V H, Edwards S R, Warren H M, et al. Interrelationships between amino acid and glucose metabolism in lambs of different dietary history supplemented with rumen escape protein[J]. J Agri Sci (Camb.), 1997, 128, 105—116.
- [31] Cant J P, McBride B W, Croom Jr W J. The regulation of intestinal metabolism and its impact on whole animal energetics[J]. J Anim Sci, 1996, 74, 2541—2553.

Research progress on splanchnic energy use and metabolism in ruminants

LUO Jun

*(College of Animal Science and Veterinary Medicine, Northwest Science and Technology
University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi 712100, China)*

Abstract: By the extensive citation of related research findings, the splanchnic energy use in ruminants was elucidated in detail from four aspects, including the causal factors of splanchnic energy use and metabolism, PDV energy use, hepatic energy use, and dilution of energy use. Future research fields in splanchnic energy use and metabolism of ruminants were projected.

Key words: ruminant; splanchnic tissue; energy metabolism

节能日光温室的发展现状与存在问题

王宏丽, 李凯, 代亚丽, 李良晨

S626.5

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

[摘要] 阐述了我国节能日光温室的产生背景以及近10余年来该类温室在建筑结构、光热环境等方面的研究进展与所取得的一系列成果, 提出了今后加强研究的方向。

[关键词] 节能日光温室; 建筑结构; 光热环境; 光环境; 设施园艺

[中图分类号] S626.5 **[文献标识码]** A

我国解决高纬度北方地区冬春非生长季节的蔬菜供给问题经历了下列阶段: 一是就地生产, 储藏供应阶段。其特点是萝卜白菜一统天下, 蔬菜品种严重单调。二是南菜北运阶段。80年代期间, 我国的“南菜北运”大流通发展迅速, 一度运输量曾达到10~15亿kg^[1]。广东、广西、海南、云南、福建、四川等地还形成了一些初具规模的北运菜生产基地。但是, 由于运输力量严重不足, 加上包装和转运设施简陋, 冷链系统缺乏, 保鲜困难, 不论在数量上还是在质量上都远不能满足北方市场对冬季鲜菜的需求, 还给铁路运输带来了很大压力。三是利用加热温室, 就地就近生产供应阶段。这虽解决了运输困难, 但耗煤量很大, 可达300~1000 t/hm²(35°N~43°N)^[2]。这种产量效益低下的生产方式在能源短缺的我国, 难以大面积推广。在这种情况下, 人们开始寻找低成本、节能耗、效益好的北方蔬菜生产途径。以玻璃、塑料薄膜为透明覆盖材料, 热量主要来自太阳辐射能的节能日光温室便应运而生。在政府和广大科技人员的共同努力下, 日光温室的建筑结构、环境调控技术和栽培技术不断改进, 使得在我国北纬32°~41°乃至43°的寒冷地区, 在完全不用人工加热或有极少量加热的温室内, 实现了严冬季节生产喜温果菜的突破。由于节能型日光温室有良好的经济效益, 近10年来发展十分迅猛。为适应这一发展形势, 探讨节能日光温室研究进展显得十分必要。

1 日光温室的建筑结构

日光温室建筑结构型式向经济合理实用的方向发展。早期日光温室多为一坡一立式玻璃温室, 夜间采光屋面外侧覆盖草苫, 其保温效果好但采光不佳。鞍山式日光温室^[3], 通过改造屋面形式、角度和后墙高度, 增加外围结构保温能力, 提高了热能利用率, 增强了温室白天增温能力。但其空间小, 昼夜温差大。随后, 聂和民^[4,5]通过对日光温室采光理论的分析, 确定了不同纬度地区优化的采光屋面角度和相应的高(中脊高)跨(跨度)比, 据此确定温室高度、跨度、采光屋面形状等建筑参数; 通过对温室热环境研究分析, 确定温室墙体

[收稿日期] 1999-09-15

[基金项目] 西北农业大学青年科学基金资助项目(5210818)

[作者简介] 王宏丽(1966—), 女, 讲师, 硕士。

厚度,结构后屋面仰角和投影等参数。亢树华、陈端生^[6]通过对节能型日光温室墙体后坡及采光面等各项主要结构参数进行单项因子温光性能的测试与分析,提出了优型结构的各项参数指标。依据这些参数设计的优型结构温室,在严寒季节室内外最低温度差达到30℃的鞍山地区(41°N),在不加温的情况下,冬季可生产喜温的果菜类蔬菜^[7]。周长吉^[8]通过建立数学物理模型,编制计算机模拟程序,对各种结构参数组合的温室进光量和时空分布等特征进行分析,寻求采光和受力均满足设计要求的结构参数。从而进行了通过模拟计算,对日光温室的采光结构参数优化的探索。塑料薄膜在蔬菜生产中的大量应用,使日光温室的结构形式更趋多样化,为日光温室的大面积推广提供了一条新途径。值得一提的是,周长吉^[9,10]针对日光温室特殊的几何形状,参考美国、日本等国家温室建筑规范,对无柱式日光温室设计荷载的取值方法和荷载组合进行了积极的探索,提出了用恒载+前屋面均布荷载、草苫+风载+(植物吊重)、草苫+雪载+(植物吊重)对日光温室前屋面骨架进行曲线寻优,然后用后屋面荷载进行校核的设计优化思路,并绘出了部分结构形式的日光温室建筑结构优化设计通用图。王树忠^[11]、刘士勇^[12]、马新立^[13]、王洪礼^[14]分别研究了北京、山西、新疆等地日光温室的结构及性能,为我国日光温室设计规范化做了有益的工作。近年来,我国在日光温室的结构优化方面做了不少的研究工作,并取得了许多成果,但目前国产温室建筑骨架结构多数矮小单薄,材料尺寸(直径和壁厚)偏小。热浸镀锌层不均匀,表面粗糙,外观较差,这些都需要研究改进。在建筑标准化方面,目前只有装配式塑料大棚有国家标准,玻璃温室的结构标准尚未批准公布。至于日光温室标准,温室配套设备的标准至今仍是空白。我国地域广阔、气候条件差异大,各地日光温室形式多样,温室的受荷情况和配套设施随地域变化较大,因此在设施、设备标准化方面还有许多工作要做。另外,降低温室设施造价也是急需研究的一个方向。

2 温室环境

2.1 光环境

日光温室中的光环境,制约着温室的生产潜能,决定着温室的建筑参数,是日光温室研究的一个很重要的方面。对日光温室采光性能的研究,近年来国内外取得很大的进展。国内学者对采光屋面构型优化研究较多。聂和民^[5]针对悬索式温室和一面坡玻璃温室,通过寻求温室前屋面主要控制点上曲线的斜率来确定日光温室的屋面形状;陈端生等^[15]以整体曲面为研究对象,对曲面型塑料薄膜日光温室的几种典型曲线断面做了采光性能计算,吴毅明等^[16]推广了该算法的使用范围;周长吉等^[17]率先采用网格优化原理,使温室采光屋面构型优化方法实用性进一步拓宽。周长吉^[8]、潘锦泉^[18]最近编制出了日光温室采光性能计算程序,并利用模拟的方法对温室的采光性能进行了全面的研究,探明了太阳辐射在地面、后墙及屋面后坡的分配比例为1:2:1,计算出了温室地面日射总量中直射辐射与散射辐射所占的比重。从温室采光角度,研究了日光温室的最佳高跨比和最佳跨度求解方法,为优化设计提供了依据。

需要指出的是,目前对日光温室光环境的研究多集中在特定地理纬度的不同结构类型温室可截取的太阳能及其分布上,而且多集中于对太阳直射光的研究,对散射光,尤其是太阳反射光的研究甚少。另外,提高透光材料透光性和使用寿命的研究也是今后急需解

决的问题。

2.2 热环境

采光和保温是保证温室良好热环境的两个重要方面。采光是使尽可能多的太阳辐射热进入温室内;保温是采取措施将白天蓄积的太阳能尽可能多地保存在室内。

温室围护结构是保温研究的热点之一。经测定^[19],厚度 50 cm 的夯实土墙体,白天和夜间墙体内部表面的温度均低于室温,这表明该种墙体白天和夜间都是散热体,热量不断地由墙内表面向外传递;而 50 cm 有空心层的砖墙在升温阶段是“吸热体”,在降温阶段是“放热体”。由此说明具有空心夹层的砖墙白天吸热,并至少将一部分的热量贮存于墙体中,以便在降温阶段从墙内侧表面向温室内传递热量,起到保温作用。并且,在墙内中空夹层附近,温度的变化波动有明显的后滞现象^[20]。据此认为:理想的墙体结构应该是由内侧蓄热层,中间隔热层,外侧保温层组成的异质复合墙体。其蓄热层应由吸热、蓄热能力较强的材料(如土墙)组成;保温层应由导热、散热能力较差的材料(如空心砖、蛭石板等)组成。通过对北京和盘锦的日光温室隔热填充材料的热效应测定^[21],在室外最低气温为 -16.5°C 时,填充材料分别为珍珠岩、炉渣、木屑和中空墙体,室内最低气温依次为 $8.6, 7.8, 7.6$ 和 6.2°C 。

我国现阶段日光温室夜间保温覆盖材料主要为草苫、纸被、棉被等。这些材料的保温能力分别为,草苫 $5\sim 6^{\circ}\text{C}$,棉被 $7\sim 10^{\circ}\text{C}$,4层牛皮纸复合成的纸被为 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ ^[19]。虽然其保温效果良好,但却存在着笨重、雨雪侵蚀、易腐烂污染等缺点,不能适应温室集约化、规模化发展的要求。近年来,许多研究者致力于新型保温材料的研究。邱仲华、宋明军^[22]研制了一种替代草帘的日光温室外覆盖材料,它是由镀铝膜+微孔泡沫塑料组成的复合材料。不仅保温隔热性能优于草帘,而且质地轻、防水、价格适宜、洁净光滑、不损伤沾污棚膜。齐刚等^[23],周新群等^[24]分别对以塑料铝箔蜂窝结构材料作为日光温室保温覆盖材料进行了研究。试验和计算表明,它能减少温室透光面的散热量,总热损系数比普通塑膜降低40%左右。并且,铝箔蜂窝结构(AHPS)覆盖层传热系数比无铝箔蜂窝结构(HPS)覆盖层下降35%~70%,铝箔朝上放置比铝箔朝下放置时传热系数小10%。选用PE AHPS覆盖层可比相应的PVC AHPS覆盖层传热系数小10%~25%。陈邦奎^[25]开发的透明保温软板采用双层中空的特殊结构,增强了双层塑膜的强度和耐用性,利用双层上下间的空心体起隔热作用,其保温性能比单层结构塑膜好,抗风性强。周长吉^[26]对单层塑膜温室和双层充气膜温室进行了保温性能比较,从两种温室的传热系数看,双层塑膜温室(传热系数为 $4.0\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)较单层塑膜温室(传热系数为 $6.8\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$)的保温能力高40%多。在单层玻璃上覆盖双层充气塑料膜,其保温性能要比单层玻璃温室提高近55%。

提高土壤温度也是增加日光温室热量的途径之一。例如,将地下热交换系统引入日光温室,提高室内地温和气温。在适当的土层中(如土层40 cm处)铺垫有机酿热物,以提高植物根层土温。经测定,地中铺垫一层厚15 cm马粪,平均土温可提高 2.7°C ;铺混入鸡粪的麦秸,增温 2.5°C ;铺混入尿素的麦秸,增温 1.5°C ^[27]。

有关温室热环境理论方面的研究也取得了进展。吴德让等^[28]、杨晓光等^[29]分别根据土壤热传导方程,并用有限差分格式求解,得到二维土壤温度场的数学模型,并对土壤热状况的若干问题进行了推测。李元哲^[30]等在详细分析日光温室各部位热收支的基础上,

建立了一组非稳态的热平衡方程,并提出了数值解法,为日光温室的热量平衡机制研究提供了分析和计算方法。郇伟、董仁杰^[31]考察了日光温室各部件的湿热平衡,建立了数学模型,并验证了模型的准确性。通过分析得出,室内气温主要受室外太阳辐射的影响,而室外气温只具有次要的作用;温室后墙对保证温室热环境具有重要的作用,而且其夜间的作用大于白天;随着保温性能的提高,温室的热环境得到稳定改善,特别是当使用透光保温合一型材料时,温室的热环境得到更大的改善。有关凝结水量对透光率的影响也有研究,陈青云等^[32]等通过对PO和PVC薄膜温室光温环境的连续测量,分析比较了2种温室光温环境,同时测量了薄膜内表面凝结水量的差异,推导出了计算温室内外气温差的简便计算式,在该式中包含了薄膜内表面凝结水量对透光率的影响。

我国地域辽阔,各地自然条件、气候条件差异很大,这使日光温室需要研究的环境问题复杂多样。目前这方面的研究基本上是单项研究,涉及到光、热、水、气等环境因素的综合研究还显欠缺。国内温室仍靠人的经验进行单因子控制,加强综合控制技术的研究已势在必行。温室供暖热风机、热风炉品种单一,热效率和内在质量都有待提高。采光保温建材的研制工作也应加强,如高采光率、高强度玻璃的研究;顶面涂层隔热材料的研究。

3 结 语

近10年来,我国日光温室建筑结构与环境的研究,在理论和实际应用方面都取得了很大的进展,出现了以东北型、华北型、华东型、华南型等为代表的不同气候条件下的日光温室研究模式。塑料薄膜日光温室在蔬菜、花卉和养殖等方面的推广应用,形成了具有我国特色的设施农业发展道路雏形。但同国外先进水平相比,我国的日光温室的研究仍处于较低的水平。光、温、气环境综合控制技术、低成本、低能耗的设施设备配套技术,高效设施栽培管理技术,现代化设施生产、设计标准与质量监控体系等方面仍存在许多问题,还待于进一步研究。

[参考文献]

- [1] 张真和,李建伟. 日光温室蔬菜高效节能栽培技术开发项目实施成果[J]. 中国蔬菜, 1997, (6): 30-32.
- [2] 葛晓光. 对我国北方蔬菜温室生产发展中几个问题的思考[J]. 中国蔬菜, 1998, (4): 1-5.
- [3] 亢树华. 鞍山日光温室的沿革和改进[J]. 农业工程学报, 1990, 6(2): 101-102.
- [4] 聂和民. 我国北方日光温室的结构与建造[J]. 农村实用工程技术, 1990, 6(4): 2-3.
- [5] 聂和民. 日光温室的结构与发展问题探讨[J]. 农业工程学报, 1990, 6(2): 100-101.
- [6] 亢树华, 陈端生. 日光温室优型结构的研究[J]. 农业工程学报, 1996, 12(增刊): 30-35.
- [7] 李天来, 何莉莉, 印东生. 日光温室和大棚蔬菜栽培[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997.
- [8] 周长吉. 日光温室优化设计及综合配套技术[J]. 农村实用工程技术, 1999, 2: 7.
- [9] 周长吉. 日光温室设计荷载探讨[J]. 农业工程学报, 1994, 10(1): 161-166.
- [10] 周长吉. 日光温室的结构优化[J]. 农业工程学报, 1996, 12(增刊): 23-29.
- [11] 王树忠. 北京节能型日光温室结构及性能[J]. 中国蔬菜, 1995, (3): 37-40.
- [12] 刘士勇. 北方寒冷地区日光温室的设计与施工[J]. 农村能源, 1995, (3): 11-12.
- [13] 马新立. 鸟翼形日光温室的建造标准和规范[J]. 农村实用工程技术, 1995, 11(12): 6-9.
- [14] 王洪礼. 新疆节能日光温室结构优化初探[J]. 农业工程学报, 1996, 12(增刊): 36-40.
- [15] 陈端生, 郑海山, 张建国. 日光温室气象综合研究[J]. 农业工程学报, 1992, 8(4): 78-82.