

中国连栋温室采暖期的确定及采暖能耗分布

张亚红¹, 陈青云^{2*}

(1. 宁夏大学农学院, 银川 750021; 2. 中国农业大学农学与生物技术学院, 北京 100094)

摘要: 该文利用中国多年气候资料, 参照建筑设计标准, 采用气象学中的五日滑动平均法, 计算了不同地区在不同温度界限下日平均温度小于等于该界限温度的持续时间, 并同中国连栋温室实际采暖期相比较, 确定了中国大型连栋温室采暖期的计算方法; 利用日本度时法计算了中国各地大型连栋温室的期间热负荷, 进而计算采暖能耗。结果表明: 以当地累年逐日平均气温 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ 的持续日数作为连栋温室的采暖期和实际情况相符。分析结果表明, 从南方部分地区采暖期为 0 d 到青海、西藏大部分地区 365 d, 说明中国连栋温室对热量的要求南北差异极大。通过计算中国各地的采暖能耗, 表明各地最大采暖耗煤量出现在 1 月, 其次为 12 月和 2 月, 北方 1 月平均耗煤量占年耗煤量的 30% 左右, 12 月占 20% 以上, 2 月占 20% 以下, 年耗煤量在中国范围内也存在极大差别。大型温室采暖期的确定及采暖能耗的计算可为中国连栋温室采暖设计标准化提供依据, 为温室节能提供参考。

关键词: 连栋温室; 采暖期; 耗煤量

中图分类号: S265

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2006)02-0147-06

张亚红, 陈青云. 中国连栋温室采暖期的确定及采暖能耗分布[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2): 147-152.

Zhang Yahong, Chen Qingyun. Analysis of heating duration and heating load of multi-span greenhouse in China[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(2): 147-152. (in Chinese with English abstract)

0 引言

采暖能耗大是中国连栋温室在生产过程中经济效益得不到充分实现的主要原因, 采暖能耗的大小除和当地气候条件有关外, 也与温室的结构设计以及供热技术有关, 所以正确计算温室采暖负荷对温室结构参数优化和供热技术的改进具有积极意义。

期间热负荷是温室栽培期间实际消耗的热量, 由此估算燃料消耗量。“期间热负荷”术语来自日本。三原义秋、冈田益己、大原源二、林真纪夫和古在丰树等学者在此方面作了大量研究, 总结出利用度时(degree-hour)计算期间热负荷的不同方法, 日本农业气象学会设施园艺部会的提案, 推荐使用林真纪夫和古在丰树的算法^[1], 并已编入日本《设施园艺手册》指导生产实践, 其重要意义是把温室实际采暖负荷的变化, 精确到以小时计。

中国 20 世纪 80 年代引入了日本期间热负荷计算方法^[2], 但采用的是三原义秋的算法^[3], 三原在计算度时时虽考虑了日照时数, 但在提案中未被推荐使用。中国实际采暖耗热多以月为单位做粗略估计, 但刘建禹等^[4]用度日法, 使日光温室的耗热计算精确了一步。以色列 Ido Seginer 和美国 Bryan M. Jenkins^[5]合作研究, 也提出一种用日最高和最低温度计算热度日, 估计年耗热和各种短期耗热的方法。由于白天和夜间的热平

衡方程不同, 故笔者认为, 计算耗热量必须将白天和夜间分开, 若温室进行变温管理, 这种区分更为必要, 因此以度时计算更具科学性。

本文通过确定中国连栋温室的采暖期, 采用日本度时法确定期间热负荷^[6], 计算了中国 202 个站点连栋温室冬季采暖能耗, 在此基础上对中国温室采暖能耗分布进行了分析, 目的是为中国连栋温室采暖设计标准化提供依据, 为温室节能提供参考。

1 计算方法

1.1 参考温室的选取

从目前中国连栋温室运行效果看, 北方以保温性较好的 Venlo 型玻璃温室、南方以通风降温效果较好的拱圆型塑料温室运行效果好, 温室过大环境条件难以控制, 过小则难成规模。所以计算能耗的参考温室, 是在调查了南北方连栋温室运行效果基础上, 照考专家意见, 以温室地面积为 5000 m² 左右, 北方区为玻璃温室、南方区以薄膜温室为标准计算而得^[7]。以青藏高原的东南边缘向东经秦岭、淮河一线以南地区称为南方地区, 以北为北方区, 界限以一年中最冷月份的 30 年平均温度为划分标准, $> 0^{\circ}\text{C}$ 为南方, $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 为北方。

玻璃温室为 Venlo 型温室, 单跨 6.4 m, 共 20 跨, 开间 4.0 m, 共 10 个开间, 每跨 2 个小屋面, 每个小屋面跨度 3.2 m, 高度 0.8 m, 檐高 3.5 m。温室地面积 5120 m², 温室表面积 7003 m², 温室体积 19968 m³。薄膜温室为拱圆型塑料温室, 单跨 8.0 m, 共 18 跨, 开间 3.0 m, 共 12 个开间, 檐高 4.0 m, 拱面矢高 1.5 m。温室地面积 5184 m², 温室表面积 7369 m², 温室体积 21772 m³。

1.2 连栋温室采暖期的确定

采暖期天数, 按 30a 累年日平均温度稳定低于或等

收稿日期: 2005-02-01 修订日期: 2005-09-02

基金项目: 科技部重要技术标准研究专项“工厂化农业技术标准研究”(2002BA906A17-02)

作者简介: 张亚红, 女, 博士, 副教授, 银川 宁夏大学农学院, 750021。Email: yhzheau@sina.com

*通讯作者: 陈青云, 副院长, 教授, 博士生导师, 北京 中国农业大学农学与生物技术学院, 100094。Email: chenqinyun@cau.edu.cn

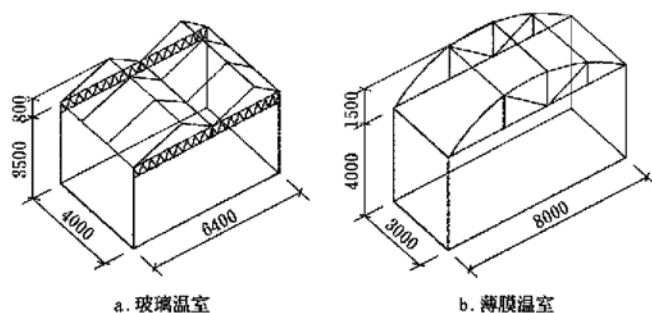


图1 参考温室单元结构图

Fig. 1 Unit structure figures of reference greenhouse

于室外某临界温度的总日数确定。中国民用建筑和生产厂房及辅助建筑物, 临界温度采用 5°C , 采暖空调采用 8°C ^[8]。温室建筑由于透光覆盖材料的热惰性较差, 几乎没有蓄热能力(日光温室除外), 外界温度的变化在很短的时间内就会影响到温室内温度, 温室采暖室外设计温度应比民用建筑采暖取值低^[9]。即温室(日光温室除

外) 采暖设计应比民用建筑空气调节安全系数高, 故以 8.5°C 作为临界值开始计算中国各站点日平均温度稳定低于或等于此临界值的总日数, 和实际采暖值比较, 发现偏低, 温度临界值每次增加 0.5°C , 再对比计算, 到 10°C 时, 发现 10°C 作为界限计算的采暖日数起止日期同实际调查情况符合(调查沈阳、北京、济南、武汉、上海及昆明等城市), 分析作物的生长发育特点, 日平均温度 10°C 一般为作物生长季的开始或结束界限, 所以取 10°C 为界线是合理的, 符合实际。

气候学上常用 5 日滑动平均法确定某界限温度的起止日期, 其计算公式为:

$$\bar{x}_{5i} = \frac{1}{5} \sum_{k=i}^{i+(5-1)} x_k \quad i = 1, 2, \dots, N \text{ (样本数序号)}$$

5 日滑动平均法可以将次要的、小的波动平滑掉, 获得稳定低于或等于 10°C 的日数。以任意站点杭州站采暖结束期的时段为例, 累年日平均温度不滑动处理和 5 日滑动平均处理的结果见图 2, 采用滑动平均处理后, 采暖结束日期为 3 月 26 日。

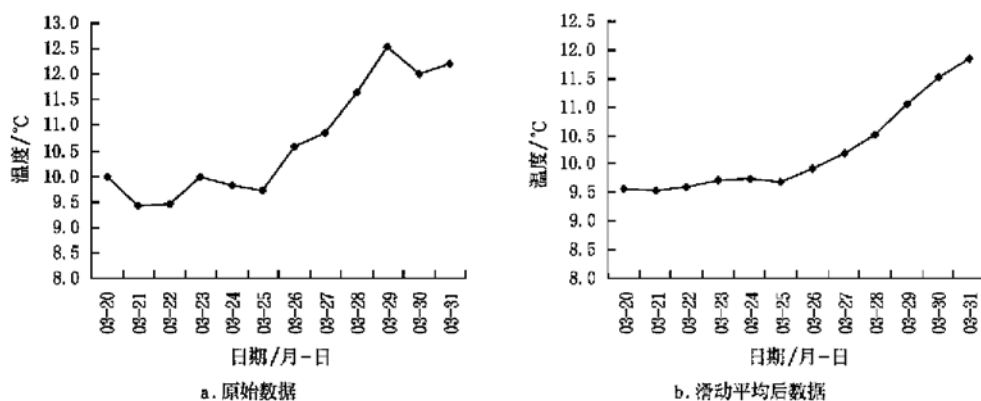


图2 累年逐日平均温度 5 日滑动平均温度示意图(杭州)

Fig. 2 Daily changes of five-day sliding average temperature

在每一站点的累年日平均气温分别从 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ 开始和结束前后做 5 日滑动平均, 将稳定通过 10°C 的第一个点所对应的日期为结束日期, 稳定通过的最后一个点所对应的日期为开始日期, 确定了温室采暖期。

需要说明, 本文所确定的采暖时间, 只说明各地 30 年平均状况, 由于当地每年的气候条件不同, 暖年份会少于平均值, 冷年份则相反, 而且要根据温室作物对温度的要求适当调整采暖期, 故本文提供的采暖开始和结束时间, 仅供参考。

1.3 期间热负荷的计算

期间热负荷是栽培期间实际消耗的热量, 由此估算燃料消耗量, 并在供暖设计中根据期间热负荷的变化规律予以调节。期间热负荷的计算采用日本度时法计算^[6], 具体计算方法见文献[10], 根据下式由期间热负荷计算燃料消耗量

$$V_f = Q_h / B_o \eta$$

式中 V_f ——燃料的消费量, kg, 月耗热量为日耗热量在一月中的累计, 年耗热量为一年中加温期耗热量的累

计(加温期由本文 1.2 确定); Q_h ——期间热负荷(采暖期内的每日热负荷代数和), kJ; B_o ——燃料的发热量, 本文取标准煤的发热量 23000 kJ/kg ^[11]; η ——热利用效率, 采用热风加温取值为 $0.7 \sim 0.85$, 热水加温为 $0.5 \sim 0.7$ 。

在使用上述算法时, 有一个前提, 即将采暖期(12、1、2 月)平均夜长视为 14 h , 中国大部分地区(除南方)温室采暖在 1、2、3、11 和 12 月等 5 个月, 通过计算各地各月平均夜长, 做 5 个月的平均, 夜长时间在 14 h 左右, 说明可以用上式度时算法计算温室耗煤量, 至于采暖期在 6 个月以上的地区, 发展连栋温室由于能耗过高意义不大。

计算度时所取室内设计温度, 参考温室内黄瓜、番茄及青椒生长所需的温度, 白天室内设计温度取 23°C , 夜间室内设计温度取 18°C ^[12]。

2 结果与分析

2.1 计算值和实际值比较

表 1 为中国几个城市耗煤量和采暖期计算值与实际值(实际调查得到)的比较,其中,哈尔滨、沈阳两地的年耗煤量引用文献数值^[13, 14]。由于各地在温室运行中管理不同,如室内设定温度、供热技术、温室管理等不同会使耗煤量的多少有差异,从总体看,计算值接近实际

值并普遍低于实际值,在于计算耗煤量没有考虑供热过程的浪费,如中国连栋温室在供暖过程中普遍存在的一边通风一边加热的现象^[15, 16];同时计算值也是一种近似。但计算出耗煤量的变化趋势是随着纬度的增高耗煤量增大,符合实际。

表 1 耗煤量、采暖期计算值和实际值比较
Table 1 Comparison of calculated values with actual values of coal consumption and heating duration

时 间		耗煤量/t • (667 m ²) ⁻¹					
		哈 尔 滨	沈 阳	北 京	济 南	上 海	昆 明
计 算 值	1 月日平均	1.11	0.85	0.62	0.53	0.40	0.30
	2 月日平均	0.93	0.74	0.54	0.46	0.36	0.25
	3 月日平均	0.62	0.49	0.37	0.30	0.28	0.17
	4 月日平均	0.34	0.26	0.16	0.09	0.13	0.08
	10 月日平均	0.38	0.27	0.17	0.10	0.00	0.10
	11 月日平均	0.70	0.51	0.40	0.30	0.17	0.20
	12 月日平均	0.96	0.75	0.56	0.47	0.32	0.29
	年	151	110	76	59	40	21
	采暖时间	10.1~ 4.28	10.12~ 4.17	10.26~ 4.4	11.7~ 3.28	11.30~ 3.30	11.30~ 2.13
实 际 值	采暖时间	10 月上旬~ 4 月下旬	10 月上中旬~ 4 月中下旬	10 月中下旬~ 4 月上中旬	11 月上旬~ 3 月底、4 月初	12 月初~ 4 月初	12 月初~ 2 月中下旬
	年耗煤量/t • (667 m ²) ⁻¹	125	153	85	58	25	17

由度时计算的耗煤量只说明中国温室能耗的大致情况,各地在温室管理中,都有相应的措施,所以实际值和计算值之间存在一定差异。

本文确定的连栋温室加温期与实际情况相符。

2.2 中国连栋温室加温期分布

由以上确定的连栋温室加温时间,即各地近 30 年

(1970~ 2000 年)累年≤10℃的持续日数,计算了中国 202 站点的采暖期。图 3 为中国采暖期分布,由图可见, (1) 中国连栋温室的采暖时间从 0 到 365 d 不等,青海、西藏部分地区,如西藏的安多、班戈、帕里等,青海的玛多、达日、曲麻莱等地,需 365 d 常年加热,所以建造连栋温室不实际; (2) 黑龙江、吉林大部、内蒙东部、青海、

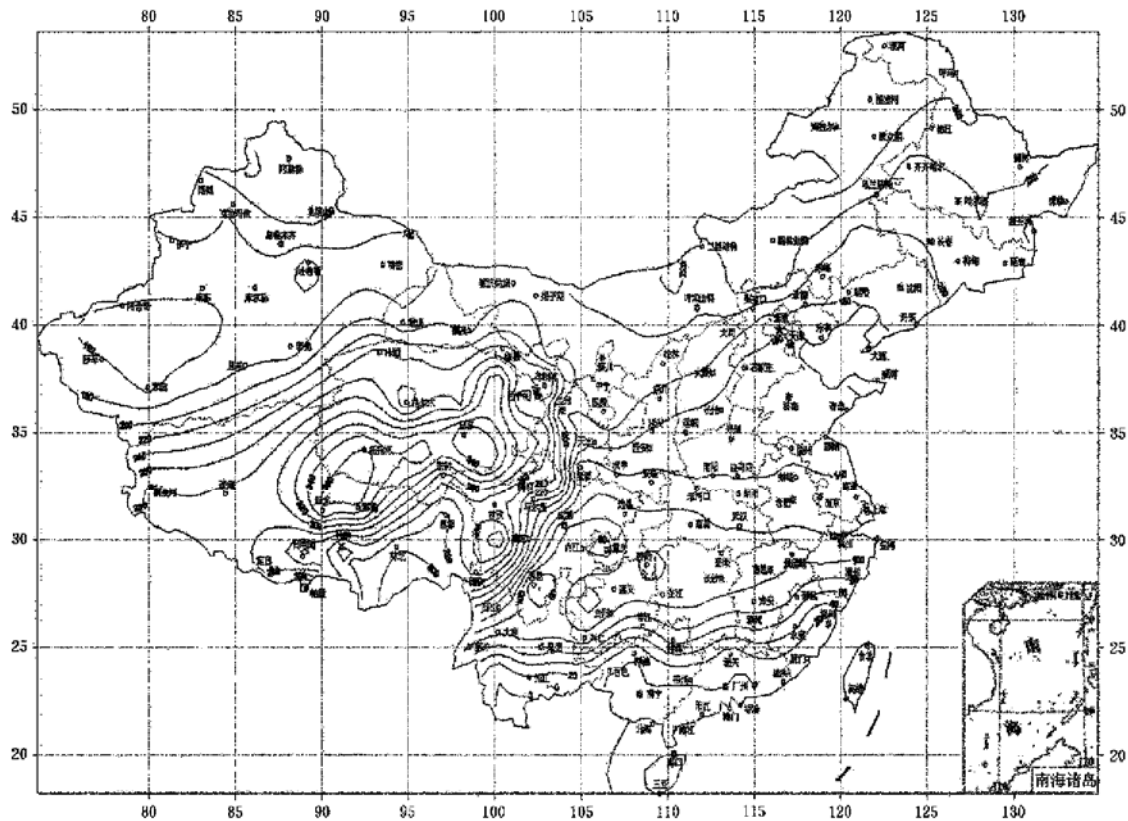


图 3 连栋温室采暖期的分布/d
Fig. 3 Distributions of multi-span greenhouse heating durations

西藏、四川西北部及新疆南疆部分地区加温期都在 200 d 以上; (3) 广东、海南、广西大部 and 云南的部分地区冬季不需要加温; 华南大部分地区冬季加温在 80 d 以下, 冬季温室采暖费用低, 只需临时加温。

2.3 中国连栋温室采暖能耗分布

本文计算出中国不同地区连栋温室(202 站点, 北方采用玻璃温室, 南方采用塑料温室) 1~4 月、10~12 月 7 个月每月日平均耗煤量(超出 7 个月的采暖期, 温室发展已无意义, 所以只计算了 7 个月的耗煤量), 对于采暖期长达 7 个月以上的地区, 超出的值按 7 个月的日平均耗煤量乘以其余加温时间并乘系数 0.7。由计算所得中国主要城市采暖期、各月日平均耗煤量及年耗煤量见表 2, 年耗煤量分布见图 4。对比分析发现, (1) 从全年耗煤量看, 由于中国从南到北, 气候差异很大, 从南方的无能耗(广东全部、海南全部、广西大部分地区、福建部分地区和云南部分地区) 到北方的高能耗(黑龙江、内蒙、西藏藏北和青海部分地区全年耗煤量都高于 200

t/(667 m²), 耗煤量存在极大的差别。(2) 分析各月耗煤量发现, 中国各地最大耗煤量出现在 1 月, 其次为 12 月和 2 月, 北方 1 月平均耗煤量占年耗煤量的 30% 左右, 12 月占 20% 以上, 2 月占 20% 或以下。(3) 从月日平均耗煤量看, 1 月日平均, 黑龙江、内蒙东部、新疆北疆和青海部分地区日耗煤量都达到 1 t/(667 m²) 以上, 以黑龙江的漠河和内蒙古的图里河为中国最大值, 分别为 1.48 t/(667 m²) 和 1.45 t/(667 m²); 12 月、2 月这些地区大部分都在 1 t/(667 m²) 以上。(4) 西藏藏南地区, 如林芝, 虽然采暖天数比北京多 41 天(北京 162 天, 林芝 203 天), 但年耗煤量(北京 76 t/(667 m²), 林芝 75 t/(667 m²)) 与北京相差不多, 比北京少 1 t, 最主要的原因是, 年采暖能耗除和采暖期密切相关外, 还同采暖期间的日平均温度有关, 采暖期间北京日平均温度(1.2℃) 比林芝低 2.9℃(林芝 4.1℃)。故衡量温室能耗的大小, 除考虑采暖期的长短外, 采暖期间的日平均温度也是重要的指标。

表 2 中国主要城市采暖期、各月日平均耗煤量及年耗煤量(计算值)

Table 2 Calculated heating duration, daily average coal consumptions and yearly coal consumptions

城市名	采暖期 /d	/t · (667 m ²) ⁻¹							
		1 月日平均 耗煤量	2 月日平均 耗煤量	3 月日平均 耗煤量	4 月日平均 耗煤量	10 月日平均 耗煤量	11 月日平均 耗煤量	12 月日平均 耗煤量	年总 耗煤量
北 京	162	0.62	0.54	0.37	0.16	0.17	0.40	0.56	76
天 津	158	0.61	0.53	0.36	0.14	0.15	0.37	0.54	74
石 家 庄	152	0.57	0.49	0.33	0.12	0.14	0.35	0.51	68
太 原	176	0.69	0.56	0.41	0.20	0.24	0.44	0.61	88
呼 和 浩 特	201	0.86	0.74	0.51	0.29	0.33	0.56	0.80	120
沈 阳	188	0.85	0.74	0.49	0.26	0.27	0.51	0.75	110
长 春	202	0.96	0.84	0.58	0.32	0.34	0.61	0.87	133
哈 尔 滨	210	1.11	0.93	0.62	0.34	0.38	0.70	0.96	151
上 海	119	0.40	0.36	0.28	0.13	0.00	0.17	0.32	40
南 京	134	0.45	0.41	0.29	0.12	0.07	0.24	0.39	50
杭 州	123	0.41	0.37	0.27	0.10	0.04	0.19	0.34	42
合 肥	134	0.45	0.40	0.28	0.10	0.06	0.23	0.39	48
南 昌	100	0.38	0.33	0.23	0.06	0.01	0.16	0.31	33
济 南	140	0.53	0.46	0.30	0.09	0.10	0.30	0.47	59
郑 州	143	0.51	0.44	0.31	0.12	0.12	0.30	0.46	59
武 汉	120	0.42	0.37	0.25	0.08	0.05	0.21	0.36	41
长 沙	115	0.39	0.36	0.23	0.07	0.04	0.19	0.34	38
成 都	103	0.37	0.32	0.21	0.07	0.07	0.20	0.33	33
重 庆	70	0.32	0.27	0.16	0.03	0.03	0.15	0.28	22
贵 阳	102	0.38	0.34	0.22	0.08	0.08	0.20	0.32	33
昆 明	74	0.30	0.25	0.17	0.08	0.10	0.20	0.29	21
拉 萨	206	0.55	0.48	0.39	0.30	0.28	0.43	0.53	88
西 安	146	0.52	0.43	0.30	0.13	0.14	0.33	0.48	60
兰 州	174	0.67	0.53	0.37	0.19	0.24	0.43	0.60	84
西 宁	214	0.73	0.60	0.45	0.30	0.33	0.50	0.68	109
银 川	186	0.76	0.61	0.43	0.23	0.27	0.47	0.69	97
乌鲁木齐	192	0.89	0.83	0.56	0.24	0.31	0.58	0.81	122

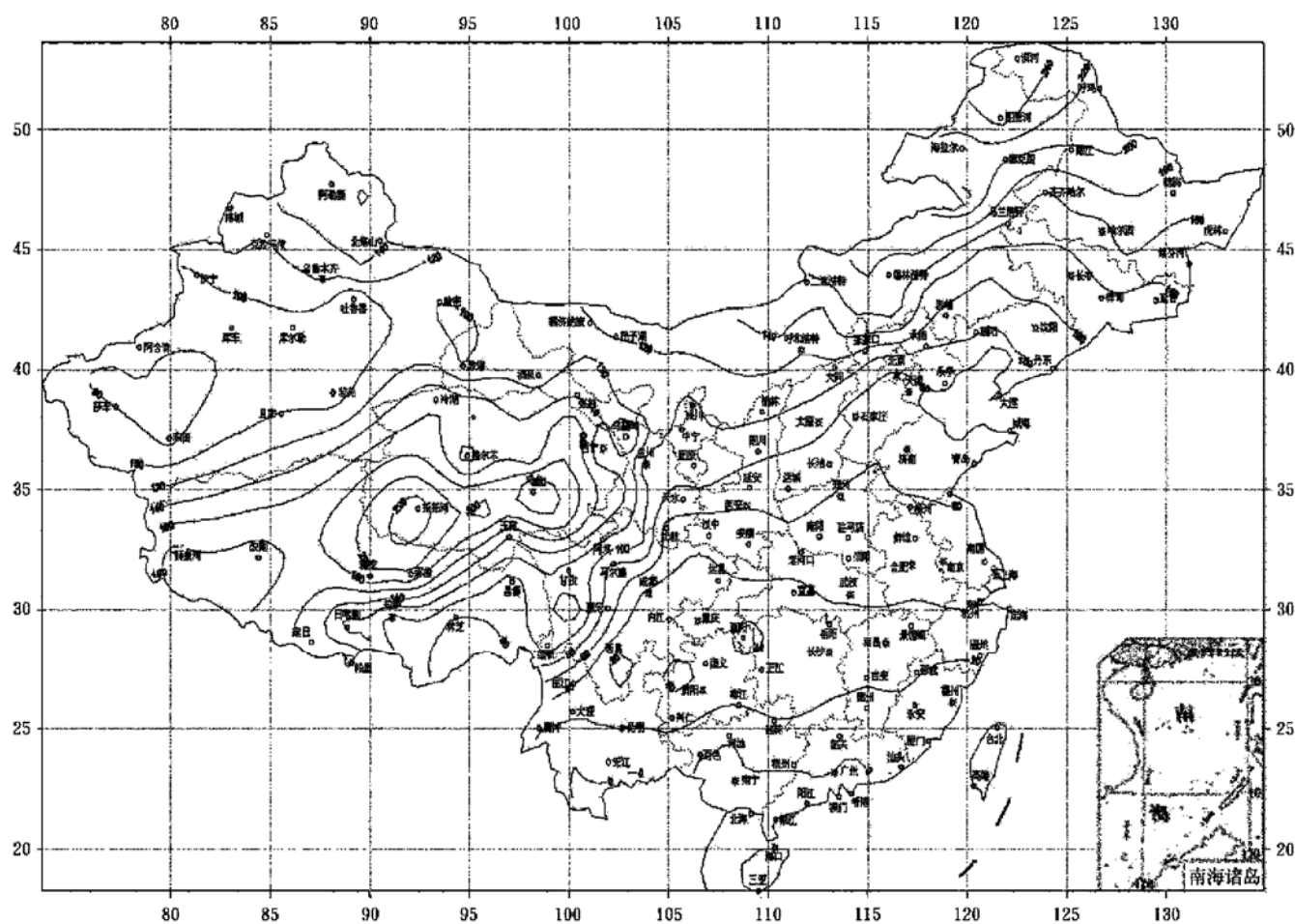
图4 连栋温室年耗煤量分布/ $t \cdot (667 m^2 \cdot a)^{-1}$

Fig. 4 Distributions of yearly coal consumptions on multi-span greenhouse

3 结 语

1) 以当地多年逐日平均气温 $\leq 10^\circ\text{C}$ 的持续日数确定为连栋温室的采暖期,由此确定的温室采暖期和实际情况相符,也和作物生长状况相吻合。计算分析得出,中国连栋温室采暖期变化很大,从南方部分地区不需要采暖到青海、西藏大部分地区全年采暖,说明温室发展对热量的要求存在极大差异。

2) 期间热负荷用于计算温室实际采暖能耗,其算法参考日本采暖标准。据此计算的耗煤量基本可以反映中国温室耗煤量的分布规律。

3) 通过计算中国各地的采暖能耗发现,中国各地最大采暖耗煤量出现在1月,其次为12月和2月,北方1月平均耗煤量占年耗煤量的30%左右,12月占20%以上,2月占20%或以下。从全年耗煤量看,从南方的无能耗(广东全部、海南全部、广西大部分地区、福建部分地区和云南部分地区)到北方的高能耗(黑龙江全部、内蒙古大部、新疆北疆、西藏藏北,全年耗煤量每 $667 m^2$ 200 t左右),耗煤量存在极大的差别。另外,衡量温室能耗的大小,除取决于采暖期的长短外,采暖期间的日平均温度也是重要的指标之一。

致谢: 本文在完成过程中得到中国农业大学农学与生物技术学院陈端生教授的诸多建议和指导,在此致以衷心感谢!

[参 考 文 献]

- [1] 施設园艺研究部会. 暖房デグリアワーの算定法について. 一日本农业气象学会施設园艺研究部会からの提案[J]. 农业气象, 1983, 38(4): 429-434.
- [2] 北京农业大学主编. 蔬菜栽培学(保护地栽培)(第2版)[M]. 北京: 农业出版社, 1987: 163-173.
- [3] 三原义秋. 日照を考慮した温室暖房デグリアワーの算定式[J]. 农业气象, 1978, 34(2): 83-85.
- [4] 刘建禹, 翟国勋, 鄂佐星, 等. 日光温室供暖耗热量的度日计算法[J]. 农村能源, 2001, 99(5): 35-37.
- [5] Ido Seginer, Bryan M, Jenkins. Temperature Exposure of greenhouses from monthly means of daily maximum and minimum temperatures[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1987: 191-208.
- [6] 日本施設园艺协会. 施設园艺ハンドブック(新订)[M]. 1987: 178-186.
- [7] 张亚红. 中国温室气候区划及连栋温室采暖气象参数的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2003, 6.
- [8] GBJ 19-87 采暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京: 中

- 国计划出版社, 2001 年.
- [9] 周长吉. 温室设计安全标准的制定及其要则探讨[J]. 农业工程学报, 2002, 18(增): 16–19.
- [10] 张亚红, 陈青云. 日本温室采暖负荷的计算及其对我国连栋温室发展的借鉴[J]. 农业工程学报, 2002, 18(增): 105–109.
- [11] 李岱森. 简明供热设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998: 25–26.
- [12] 蔡象元. 现代蔬菜温室设施和管理[J]. 上海: 上海科学技术出版社, 2000: 108–113.
- [13] 潘锦泉, 李新义, 王惠永, 等. 我国引进的温室设施及国内温室的发展[J]. 农业工程学报, 1989, 5(2): 64–74.
- [14] 周长吉, 冯广和. 引进温室带给中国设施园艺现代化的思考[J]. 沈阳农业大学学报, 2000, 31(1): 23–25.
- [15] 郭浩, 韩德文, 高靖华. 连栋式温室供暖系统节能的改进设计[J]. 农机化研究, 1998, 1: 61–63.
- [16] 林聪, 黄之栋, 马承伟, 等. 华北型连栋式温室热水采暖系统节能技术探讨[A]. 发展中的中国工厂化农业. 工厂化农业可持续发展研讨会论文集[C]. 北京: 北京出版社, 2000: 268–273.

Analysis of heating duration and heating load of multi-span greenhouse in China

Zhang Yahong¹, Chen Qingyun^{2*}

(1. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Using architectural design standard as a reference, the climatology method of five-day sliding average was adopted to calculate the durations of daily average temperature less than many given temperatures, to compare these calculated durations with the actual heating periods of multi-span greenhouse in China, the heating duration of multi-span greenhouse was determined. The heating load in China was also obtained by adopting Japan's degree-hour method. The results are as follows: 1) The determined heating period, which was obtained by duration of daily average temperature less than 10°C of local 30 years' daily temperature, is in good agreement with that of matter-of-fact, and it varies from zero at the southern part areas to 365 days at most areas in Qinghai province and Tibet Automomous Region; 2) The maximum coal consumption occurs in January, next does in December and February, by calculation the average coal consumption in January is 30% of whole year in north China, more than 20% in December and less than 20% in February. There are significant differences within different areas on the annual energy consumption. The calculation of heating duration and energy consumption can provide basis for on standardized heating-design as well as reference for the energy-saving for the multi-span greenhouse.

Key words: multi-span greenhouse; heating duration; coal consumption