

电厂余热温室生产蔬菜效果及气象效应

张达明 关福魁

宋学钰

(白城市蔬菜办公室)

(白城地区气象局)

白城市地处北纬 $45^{\circ}38'$ ，全年无霜期130天左右，年平均气温 4.3°C ，年极端最低气温 -36.0°C ，从10月中旬至翌年4月中旬，在长达半年的寒冷季节里，露地不能生产蔬菜。

冬季利用火炉、土暖气、电热器等加温措施进行保护地蔬菜栽培，由于消耗能源多、生产成本高，发展温室蔬菜生产有一定困难。1972年白城市蔬菜办公室等有关单位，对市发电厂排出的废温水进行了测量，并在东风公社工农一队搞了小型栽培试验，取得成功。1973、1974两年在距电厂水源1600米处和1300米处，相继修建红砖水泥结构的单屋面立窗式玻璃温室三栋，共2000平方米，1975~1979年从蔬菜栽培效果和气象效应上进行了探讨。实践证明，废水余热增温效果十分明显，在不采取其它任何加温措施的情况下，12~1月的最冷月份，室内平均气温达 10.0°C 左右，为蔬菜周年连续生产提供了较好的环境条件。冬季生产蒜苗、芹菜、韭菜、菠菜、香菜等叶菜获得成功；提早的黄瓜，延后的辣椒，品质好，产量高。这种废水余热温室，每年每平方米（三茬）生产鲜菜50~60斤，为露地栽培产量的四倍，三栋温室（共2000平方米）每年提供鲜菜10万斤左右，比煤火温室节省优质煤200吨左右，为解决白城市冬春淡季鲜菜供应起到了积极作用，并为工业余热的利用提供了经验。

一、余热温室结构

电厂废水余热温室由采光、加温、保温三部分组成，与普通温室结构不同的主要是加温部分。以工农一队温室为例，温室全长164米，宽7.3米，室内面积为1000平方米，东西两侧各连结一个工作间。温室方位正南，采用砖石、混凝土、三角铁和钢化玻璃等材料建成。

采光：通过前窗和天窗采光。前窗高90厘米，与地面夹角 73° ，中柱高2.6米，前窗与中柱距离5.3米，天窗角度为 20° 。

加温：为了充分合理利用废水余热，温室四周用水泥筑成深、宽各70厘米的流温水明渠，并在床面下40厘米处东西向构筑三道深40厘米、宽70厘米的流温水暗洞。明渠可以阻止外界冷空气侵入和土壤向室内冻结，起到防寒沟的作用，并有省料、省工、成本低、散热快的优点。暗洞对提高地温效果十分明显。为使温水流经温室畅通无阻，保持较大的流速与流量，以利于增加室内散热量，两条明渠和三条暗洞采取东西向平行排列。

保温：为了加强保温，除前窗和天窗夜间加盖蒲苇苫外，后墙是夹层墙，夹层墙内充填苇花，屋顶水泥天棚板上有保温防寒层（图1）。

二、余热温室蔬菜生产效果

几年来废水余热温室栽培的蔬菜有黄瓜、辣椒、蒜苗、芹菜、韭菜、香菜、菠菜、快豆角等十多种。一年生产三茬，冬季以蒜苗、芹菜、韭菜等耐寒的叶菜为主、其他季节以黄瓜辣椒等喜温的果菜提早和延后为主(图表1)。在主栽蔬菜中还间、套种香菜、菠菜、快豆角等快熟菜。春节鲜菜上市后，还利用部分面积进行茄子、辣椒、黄瓜、早甘兰等夏菜育苗。以工农

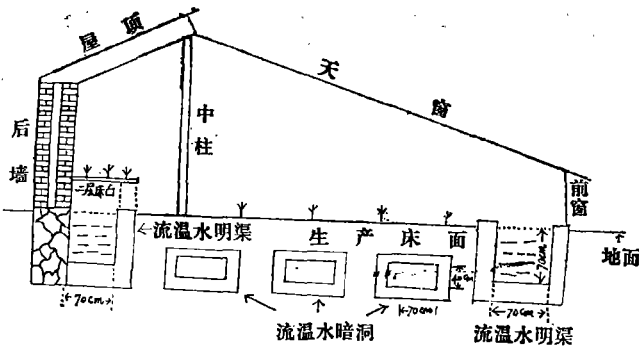


图1 废水余热温室横断面

一队废水余热温室为例，1978年每平方米产菜58.7斤，产值21.23元，利润11.25元。

图表1 废水余热温室蔬菜周年生产茬口安排

主栽蔬菜	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
	大寒 小寒	立春 雨水	惊春 春分	清明 谷雨	立夏 小满	芒夏 夏至	小暑 大暑	立秋 处暑	白露 秋分	寒露 霜降	立冬 小雪	大雪 冬至
黄瓜	△ ↑		▲ ↑	○ ↑			● ↑					
辣椒							▲ ↑		○ ↑			● ↑
蒜苗		● ↑									▲ ↑	○ ↑
芹菜		● ↑	● ↑					▲ ↑		○ ↑		
韭菜		● ↑									▲ ↑	○ ↑
夏菜育苗		△ ↑		∴ ↑								

说明：——温室生产阶段；-----育苗阶段。△播种期；∴移植期；▲定植期；○收获始期；●收获终期。

1、叶菜类冬季生产。 主要生产蒜苗和芹菜、韭菜。

蒜苗：选择出蒜苗多而质地柔软的白皮多芽蒜，分两期栽培。第一期于10月中旬栽，新年前收割头刀，春节前收割二刀，倒茬后进行夏菜育苗；第二期于12月中旬栽，春节前收割头刀，3月上旬收割二刀，倒茬后定植黄瓜。废水余热温室栽培蒜苗要比其他温室注意适当少给水，给小水，出苗后每隔4~6天用喷壶浇一次，以保持土壤湿润，满足蒜苗生长对水分的要求。由于废水余热温室具有比其他温室优越的温湿条件，湿度较大，土温较高而平衡，昼夜温差小，很适合蒜苗生长，蒜苗出的齐，长的快，叶宽厚而质地柔软（如表2）。

表2 不同温室蒜苗生产情况调查 (1979年1月23日)

温 室	项 目	栽 植 期 (年、月、日)	收 获 期 (年、月、日)	生 育 日 数 (日)	蒜 苗 高 (厘米)	每 平 方 米 头 刀 产 量 (斤)	耗 煤 (吨)	窗 面 覆 盖 物
工农一队	废水余热温室	78,12,10	79,1,23	44	33~38	25	0	蒲苇苫
三队	普通温室	78,12,4	79,1,23	50	25~23	20.5	7	棉 被

芹菜：选用实心芹菜，于6月下旬露地育苗。立秋前后将芹菜苗定植于温室中，亩施底肥1万斤，行距10厘米，株距6厘米。初霜前扣玻璃窗、扣窗前期，室内光照强，温度高，湿度大，要大通风。根据芹菜生长适温18~22℃的生理要求，灵活掌握通风大小和时间。新年前劈收一次，至春节全部起收，平均每平方米产量10斤左右。

韭菜：工农一队于1976年11月上旬挖二年生韭根冻堡移入温室中栽培，至春节前收割了两刀，韭菜高30厘米左右，韭叶青绿柔软，尤其头刀品质好，有5~6片叶，韭味浓厚。实践证明废水余热温室冬季生产韭菜是成功的。但由于挖韭根冻堡这一栽培措施不当，单位面积产量较低。因此，韭菜栽培措施尚需改进。

2、黄瓜提早生产。 废水余热温室在12~2月期间温度较低，不利于黄瓜生长发育，要在温室内用薄膜隔小间生火炉加温进行育苗，于1月上中旬播种，3月上、中旬定植。苗期加强管理，培育壮苗。定植后，灵活掌握通风的时间和大小。进入4月后，随着外温升高，逐渐加大通风，注意防止高温徒长。根瓜和腰瓜收获期各追一次肥，进入盛瓜期灌大水大肥，大通风，以满足黄瓜生长的需要。后期注意防治霜霉病。

提早黄瓜一般于4月上中旬开始采收，至7月上旬拉秧，收获期80~90天，平均每平方米产量15~25斤，单株产量3~5斤。

3、辣椒延后生产。 栽培管理的关键是适时播种与定植，加强定植后至盖苫前的管理，使辣椒在入冬前大量开花着果，以达到延后丰产的目的。具体做法是：选择高产的中晚熟品种三道筋，4月下旬或5月上旬育苗，7月中旬定植，行距60厘米，株距40厘米，亩施过石100斤掺入农家肥作底肥。定植后，注意勤松土，适时追肥灌水，以促秧攻果。定植后半月左右追一次大粪稀，以后间隔10天左右追一次硝酸铵，连追两次。视土壤墒情并结合追肥进行灌水，不宜过多，注意蹲苗，控制徒长，促使辣椒早期形成花蕾，

开花着果。进入9月份，随着天气渐凉，适当调节玻璃窗开闭时间和通风大小，室温白天保持20~26℃，夜间保持15~20℃。10月中旬把玻璃窗扣严，不再掀开，只靠温室水沟进出口通风换气。这段期间正是辣椒开花结果盛期，光照、温度、湿度、水肥等各种条件都比较适宜于辣椒生育要求，所以大量开花结果，为延后丰产打下了基础。辣椒生育后期枝繁叶茂，结果较多，株高达1米左右，茎较脆，易折、易倒伏，需及时插架。10月下旬开始覆盖蒲苇苫，并把进出水口用薄膜盖好，以加强防寒保温。据观察，11月底以前辣椒生育正常，前期形成的果实逐渐长大，并能继续开花结果。进入12月份以后，由于室内温度下降，湿度增大，影响辣椒开花授粉，出现落花落果现象，后期形成的果实，皮薄畸形，个别有霉烂现象。

延后辣椒于12月末采收结束，平均每平方米产量6~8斤，单株产量1.5~2斤。

三、余热温室性能

(一) 增温

废水余热温室增温效应十分明显，稳定。据观测，距电厂水源1600米的工农一队废水余热温室12~1月进口水温变化幅度在16~22℃，12月份温室平均气温10.6℃，比室外温度-12.7℃高23.3℃，1月份温室平均气温7.9℃比室外温度-15.5℃高23.4℃。温室地温提高的更为明显，12月份10厘米深平均地温14.8℃比气温高4.2℃，1月份10厘米深平均地温12.2℃比气温高4.3℃。

废水余热温室室内外温度要素逐旬变化及日变化情况分别如图2、图3。

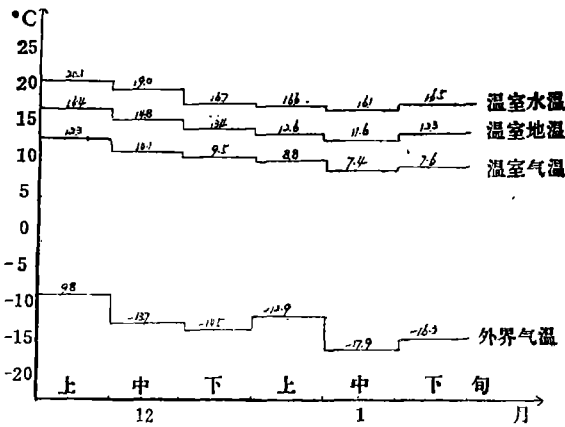


图2 最冷季节废水余热温室逐旬温度变化曲线

从图3可以看出：室温与外温变化趋势基本一致。但外界气温日变化剧烈，日变幅为11.1℃；温室水温与地温日变化平缓，日变幅为2.0℃左右，温室气温白天随日照变化而明显升降，夜间变化则较平缓，日变幅为6.6℃。

废水余热温室具有地温比气温高的特点。从寒冷季节逐旬平均温度变化看，地温（10厘米）均比气温高4.0℃左右，而且日变化与旬变化都较平稳。据观测5~20厘米深地温日变化：5、10、20厘米深地温由浅往深递增，但温差较小，日平均温差为1.4℃（见表3），在根系活动的土层内，地温比较均匀。

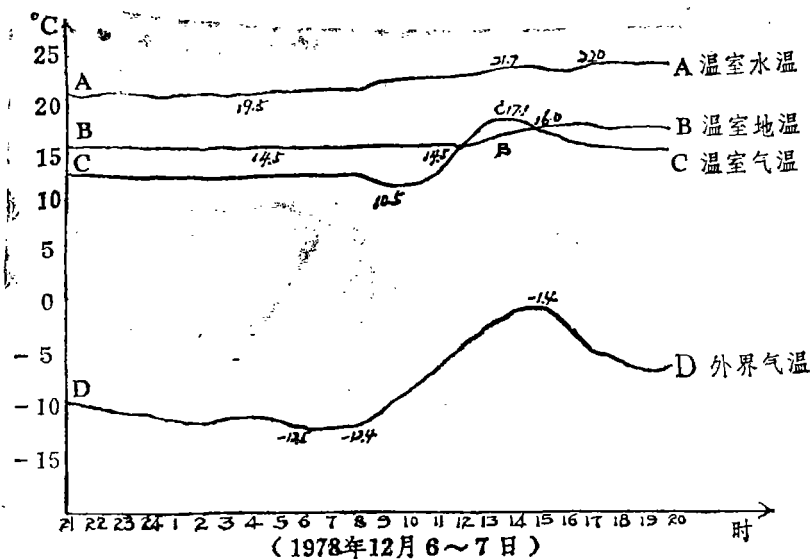


图3 废水余热温室内外温度各要素变化曲线

表3 废水余热温室5~20厘米地温日变化情况 (1978年12月6~7日)

时	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5cm	15.0	15.0	14.9	14.8	14.8	14.6	14.6	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
10cm	15.0	15.0	14.9	14.8	14.8	14.6	14.6	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5
15cm	15.7	15.6	15.7	15.9	15.3	15.7	15.7	15.6	15.7	15.6	15.7	15.6	15.6
20cm	16.1	16.2	16.3	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.4	16.5
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	平均	
	14.5	14.5	14.5	15.3	16.0	16.1	16.1	16.0	16.0	15.9	15.9	15.0	
	14.5	14.5	14.5	15.3	16.0	16.1	16.1	16.1	16.0	16.0	15.9	15.0	
	15.6	15.7	15.6	15.7	15.8	16.0	16.2	16.3	16.3	16.4	16.4	15.8	
	16.3	16.4	16.3	16.5	16.5	16.5	16.6	16.6	16.8	16.8	16.9	16.4	

发电厂每天排出水量2~3千吨,进机水温平均17~18°C,排出水温30°C左右。逐月、逐日、逐时排出水量和水温都较稳定。以1978年为例,12个月平均排水温度为32°C;以当年12月份为例,逐日平均排水温度为28°C。据1979年1月6日实地观测,电厂排出水温为30.5°C,距电厂1600米的工农一队废水余热温室进口水温24小时平均为21.5°C,出口水温为20.1°C,进出口水温差1.4°C。温水流经温室所散发的热量是由温水流量与进出口水温差

决定的，按理论值计算工农一队温水水渠每小时散热918,792大卡。

(二) 保 湿

温水温室空气相对湿度变化与温度变化相反，随着外温下降，室内湿度上升（见图4）。

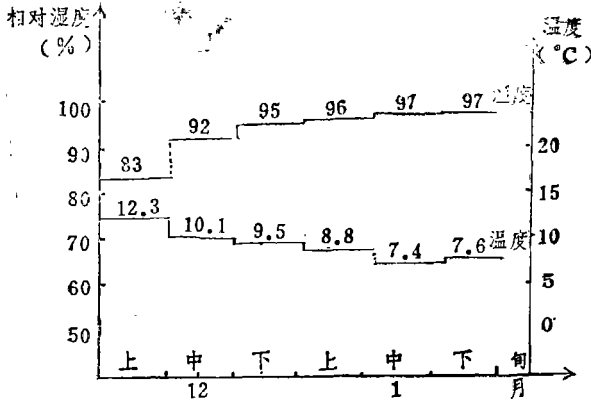


图4 最冷季节废水余热温室空气相对湿度与温度逐旬变化情况

从冬季观测看，12月上、中旬自16时至次日9时温室空气相对湿度可达90%以上，有轻雾存在，早8时许掀苫后，轻雾在半小时内消散，相对湿度保持在75~90%，室内透光正常，对叶菜的生长与品质、产量形成都较为有利。12月下旬至2月上旬夜间室内相对湿度高达90%以上，喜湿的蒜苗等长势繁茂、品质柔嫩，但不利延后菜及部分叶菜生长发育。

(三) 光照充足

日光是废水余热温室的主要光源和重要热源。据观测，废水余热温室的光照强度见表4。

表4 钢化玻璃废水余热温室与塑料薄膜日光温室的光照
(1979、1、22 晴 单位: Lux)

项目		时	8	9	10	11	12	13	14	15	16
废水 余热 温室	光强		12,000	14,000	22,000	30,000	32,000	34,000	23,000	16,000	800
	透光率		57.1	60.8	68.7	76.9	80.0	80.9	63.8	51.6	13.3
日光 温室	光强			12,000	20,000	25,000	26,000	27,500	21,000	12,000	
	透光率			52.2	62.2	64.1	65.0	65.5	58.3	38.7	
自然光强			21,000	23,000	32,000	39,000	40,000	42,000	36,000	31,000	6,000

1、从早8时至15时，废水余热温室光照强度为1.2~3.4万米烛光，完全可以满足蔬菜生长发育对光照强度的要求。

2、日出后，随着太阳光度角的增大，温室光强与透光率亦显著增大，最大值出现在13时，15时以后显著减弱，观测数据同时说明，晨光比夕光利用价值大。

3、钢化玻璃窗面的废水余热温室比塑料薄膜窗面的日光温室逐时光强与透光率都大，证明在自然光照和窗面角度相同的情况下，温室的光照条件主要取决于窗面物质的透光性能，而与温室内有无温水流过关系不大。

四、 建 议

1、试验证明，利用电厂废水余热发展温室蔬菜生产是一项变废为利、近期见效的实用技术，是发展城市工矿区蔬菜生产的先进措施。

2、目前建成的温室距电厂水源较远，水温较高的上游还没有合理利用，发展生产的潜力很大。经勘测计算，上游可修建每栋500平方米的温室16栋，在温室之间的渠道上，扣塑料薄膜大棚，形成温室——大棚群，减少温水散热面积，提高温室、大棚温度，增强蔬菜生产效果。新建温室要注意合理布局，在水温较高的上游修建光照条件好便于作业的改良式温室，并把四周明渠修成暗渠，增设暖气片，以提高温室温度，降低湿度，专门进行果菜生产。在下游宜建以生产叶菜类为主的温室，从建材、投资上考虑，此类温室宜维持现有结构水平。

3、在温室空间和时间利用上，还不够充分。目前有效生产面积仅占五分之四左右，利用系数0.8，其余为明渠和过道所占，明渠上应覆盖水泥预制板，覆土栽培蔬菜，过道也应改革，并把平面栽培向立体栽培发展，使温室利用面积系数达1.0~1.2。在蔬菜生产管理上，应进一步安排好茬次，增加栽培种类和品种，按现在三茬总生产时间计算，还有40天左右的空闲时间，温室时间利用系数为0.9，应通过提早育苗和间套种菜类等途径，使时间利用系数不小于1。

4、采用先进技术，实行科学管理。采用滴灌、补光、增施二氧化碳、施用增温剂等新技术，向栽培管理机械化和温湿度调节自动化方向发展，为城市居民提供更多更好的新鲜蔬菜。