

温室吸湿剂喷淋除湿降温系统的影响因子分析

陈传艳¹, 赵纯清^{2*}, 张继元², 丁淑芳², 徐俊²

(1. 湖北水利水电职业技术学院, 武汉 430070; 2. 华中农业大学工学院, 武汉 430070)

摘要: 为了解决湿热地区夏季温室的降温问题, 提出了利用 CaCl_2 溶液除湿降温系统对温室进行降温的方法。在 CaCl_2 溶液除湿降温系统运行条件下, 确定了以喷淋室出口空气相对湿度为试验指标, 分析了进口空气流量、除湿剂流量、除湿剂浓度和温度、进口空气温度和湿度等因子对试验指标的影响。通过影响因子的单因素试验和多因素正交试验, 得出了系统运行时影响除湿效果的显著因素是除湿剂浓度和温度、进口空气温度和湿度。通过回归分析建立了 CaCl_2 溶液喷淋除湿的数学模型, 并通过试验验证了该模型的最大相对误差小于 5%。该文为中国南方高温高湿的温室夏季降温提供参考。

关键词: 温室, 降温系统, 氯化钙, 除湿, 液体除湿剂

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2012.10.032

中图分类号: S625.5⁺1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2012)-10-0202-06

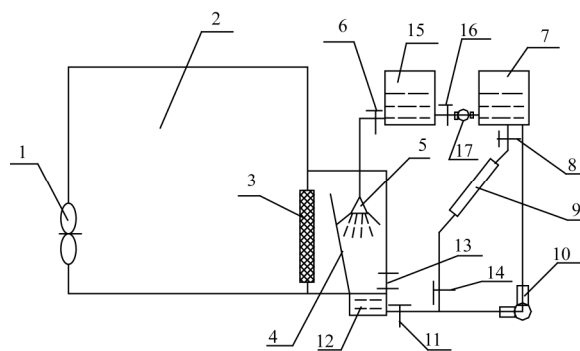
陈传艳, 赵纯清, 张继元, 等. 温室吸湿剂喷淋除湿降温系统的影响因子分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 202-207.
Chen Chuanyan, Zhao Chunqing, Zhang Jiuyuan, et al. Anaysis of influencing factors of dehumidifying and cooling system with moisture absorbent spraying for greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(10): 202-207. (in Chinese with English abstract)

0 引言

在中国南方高温高湿地区, 夏季温室的降温问题一直是困扰现代大型温室在该地区发展与应用的技术难题, 许多大型温室在 7-9 月的高温季节处于“停产”状态, 严重影响了温室的利用效率。虽然利用湿垫-风机降温系统在中国北方高温低湿地区有较好的降温效果, 然而该系统在中国南方的高温高湿地区的应用效果并不理想。为提高现行湿垫-风机降温系统对湿热气候条件的适应性, 解决湿热地区夏季温室降温问题, 本课题组提出了温室液体除湿降温系统, 并针对建于武汉地区的塑料温室设计了一套除湿降温系统^[1-11]。参考国内外文献和本课题组实测结果^[12-20], 在湿热气候条件下湿垫-风机系统的最大降温幅度为 4~5℃, 液体除湿降温系统最大降温幅度为 7~8℃, 相对湿度-风机系统降温幅度提高了 3℃左右, 能够满足湿热地区夏季温室作物生长的要求。由于中国目前针对高温高湿地区夏季温室除湿降温系统的研究相对较少, 因此研究液体除湿降温系统中各主要因素对温室降温效果的影响, 对优化系统结构参数和工作参数有理论意义和现实意义。

1 试验装置

除湿降温系统主要由湿垫、轴流风机、除湿室(喷淋室)、除湿剂再生子系统等组成。如图 1 所示。



1. 风机及出风口 2. 温室 3. 湿垫 4. 除湿室 5. 喷头 6, 8, 11, 14, 16. 阀 7, 12, 15. 储液池 9. 太阳能集热器 10. 泵 13. 进风口 17. 微型泵

图 1 温室除湿降温系统的结构简图

Fig.1 Structure of dehumidifying and cooling system for greenhouse

其工作过程是: 风机 1 工作形成温室 2 内产生负压, 高温高湿的空气由进风口进入除湿室 4, 空气在除湿室上升过程中与由多个喷头喷出的除湿剂(选用 CaCl_2 溶液)逆向流动并进行热质交换, 由于除湿剂溶液表面的饱和水蒸汽分压力低于空气中的水蒸汽分压力, 液体除湿剂吸收了空气中的水蒸气, 使空气的湿度降低, 较低相对湿度的空气在风机的作用下通过湿垫蒸发冷却, 被冷却的空气进入温室达到降温的目的。

除湿室中喷出的除湿剂因吸收空气中的水分而被逐渐稀释, 稀释后的溶液进入储液池后由泵 10 抽至待再生储液池 7, 再经阀 8 进入太阳能集热器 9, 除湿剂在太阳能集热器中再生, 从而使除湿剂溶液的浓度升高, 再由泵 10 抽入储液池 7, 当除湿剂的浓度达到使用要求后, 由微型泵抽至储液池中用于喷淋, 依此循环。

试验于 2010 年 7 月在华中农业大学工学院试验温室进

收稿日期: 2011-08-14 修订日期: 2012-03-22

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2009QC010)

作者简介: 陈传艳(1973-), 女, 湖北随州人, 讲师, 主要从事农业设施环境控制研究。武汉 湖北水利水电职业技术学院, 430070。

*通信作者: 赵纯清(1970-), 男, 湖北孝昌人, 副教授, 主要从事农业设施环境控制和水土保持研究。武汉 华中农业大学工学院, 430070。Email: zhaochunqing@mail.hzau.edu.cn

行。该温室长 27 m，9 开间（每开间长 4 m），双跨（单跨宽 7.5 m），顶高 4.9 m，檐高 3.2 m，温室两侧墙面上安装了 2 组 5.4 m² Celdek（赛代克）湿垫和 2 台 9FJ1250 型轴流风机。试验在 9 开间、双跨温室中进行，试验中除湿降温系统的风量风速、溶液流量等可借助风机和泵来调节。

2 正交试验

系统降温效果与空气经喷淋除湿后（亦即进入湿垫前）的相对湿度密切相关，从喷淋室出来的空气相对湿度越低，湿垫-风机系统的降温幅度则越大，为此，选定喷淋室出口空气的相对湿度为试验指标来考察各主要因素

对降温效果的影响。据张继元^[1]的分析，影响 CaCl₂ 溶液喷淋除湿效果的主要因素有进口空气的流量、溶液的流量、溶液的浓度和温度、进口空气的温度和湿度等 6 个因素。在进行了单因素试验后，选取了多因素试验的参数取值范围。利用正交表 L₁₆(2¹⁵) 安排试验如表 1，试验结果见表 2（标中的“空列”是根据现有正交表 L₁₆(2¹⁵) 的表头设计产生），方差分析见表 3。

在表 2、表 3 中：*A* 表示进口空气流量，*B* 表示进口空气温度，*C* 表示进口空气相对湿度，*D* 表示溶液温度，*E* 表示溶液质量浓度，*F* 表示溶液流量，*F*×*A*，*B*×*C*，*B*×*E*，*D*×*C*，*D*×*E* 表示因素的交互作用。

表 1 多因素正交试验安排
Table 1 Arrangement of multi-factor orthogonal experiment

试验号	溶液流量 <i>F</i> /(10 ⁻⁴ m ³ ·s ⁻¹)	进口空气流量 <i>A</i> /(m ³ ·s ⁻¹)	进口空气温度 <i>B</i> /°C	溶液温度 <i>D</i> /°C	进口空气相对湿度 <i>C</i> %	溶液质量浓度 <i>E</i> %
1	1(2)	1(1.764)	1(31-32)	1(32-33)	1(68-72)	1(32)
2	1	1	1	1	2(77-80)	2(40)
3	1	1	2(36-37)	2(37-39)	1	1
4	1	1	2	2	2	2
5	1	2(2.94)	1	2	1	1
6	1	2	1	2	2	2
7	1	2	2	1	1	1
8	1	2	2	1	2	2
9	2(3.478)	1	1	1	1	2
10	2	1	1	1	2	1
11	2	1	2	2	1	2
12	2	1	2	2	2	1
13	2	2	2	2	1	2
14	2	2	2	2	2	1
15	2	2	1	1	1	2
16	2	2	1	1	2	1

表 2 多因素正交试验结果
Table 2 Result of multi-factor orthogonal experiment

试验号	<i>F</i>	<i>A</i>	<i>F</i> × <i>A</i>	<i>B</i>	空列	<i>D</i>	空列	<i>C</i>	<i>E</i>	空列	空列	<i>B</i> × <i>C</i>	<i>B</i> × <i>E</i>	<i>D</i> × <i>C</i>	<i>D</i> × <i>E</i>	出口空气湿度/%	湿帘出口温度/°C
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	63	26
2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	68	26.6
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	62	29.4
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	67	30.2
5	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	62	25.8
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	64	26.2
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	63	29.4
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	68	30.4
9	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	62	25.6
10	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	67	26.4
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	64	29.6
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	66	30
13	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	61	25.6
14	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	68	26.8
15	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	65	29.8
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	66	30
<i>K</i> ₁	517	519	520	515	518	522	521	500	515	519	519	512	522	520	517		
<i>K</i> ₂	519	517	516	521	518	514	515	536	521	517	517	524	514	516	519		
<i>R</i>	2	-2	-4	6	0	-8	-6	36	6	-2	-2	12	-8	-4	2		
<i>S</i> _{<i>j</i>}	0.25	0.25	1	2.25	0	4	2.25	81	2.25	0.25	0.25	9	4	1	0.25		

注：*K*₁ 表示因素 1 水平之和，*K*₂ 表示因素 2 水平之和，*R* 表示极差，*S*_{*j*}=*R*²/16；*A* 表示进口空气流量，*B* 表示进口空气温度，*C* 表示进口空气相对湿度，*D* 表示溶液温度，*E* 表示溶液质量浓度，*F* 表示溶液流量，*F*×*A*，*B*×*C*，*B*×*E*，*D*×*C*，*D*×*E* 表示因素的交互作用，下同。

表3 方差分析表
Table 3 Variance analysis

方差来源	平方和	自由度	均方和	F值	显著性	临界值
A	0.25	1	0.25	0.36		
B	2.25	1	2.25	3.27	显著	
C	81	1	81	117.82	极显著	
D	4	1	4	5.82	较显著	
E	2.25	1	2.25	3.27	显著	
F	0.25	1	0.25	0.36		$F_{0.01}(1,4)=21.2$
F×A	1	1	1	1.45		$F_{0.1}(1,4)=4.54$
B×C	9	1	9	13.09	较显著	$F_{0.25}(1,4)=1.81$
B×E	4	1	4	5.82	较显著	
D×C	1	1	1	1.45		
D×E	0.25	1	0.25	0.36		
总变异	110.25	11	10.02	14.57		
误差	2.75	4	0.6875			

由表3可知,各因素对试验指标的影响显著程度依次是:进口空气相对湿度C,进口空气温度与进口空气相对湿度的交互作用(B×C)、进口空气温度与溶液质量浓度的交互作用(B×E)、溶液温度D,以及进口空气温度B和溶液质量浓度E。溶液的流量和进口空气的流量对出口空气相对湿度的影响不显著。

最优方案是: $A_1B_2C_2D_1E_2F_2$,即系统运行最佳条件是:溶液温度和进口空气流量选低水平,其余因素选高水平,在最优方案下,可降低进口空气相对湿度幅度为20%~30%,使出口空气的相对湿度达到50%左右。在后期针对最佳方案与其它方案的对比试验中,检验得出最佳方案条件下对空气除湿的效果最佳。通过已设计的除湿降温系统进行显著性多水平试验,在最优水平的条件

下,本系统可获得较理想的降温幅度(7~9℃)。

3 CaCl₂溶液喷淋除湿数学模型的建立与验证

3.1 模型的建立

为了定量地分析出口空气的相对湿度与各主要因素之间的关系,安排了线性回归试验。由于溶液的流量和进口空气的流量对出口空气相对湿度的影响不显著,且溶液的流量取高水平较好,进口空气的流量取低水平较好,在进行多元线性回归试验时,溶液的流量定为 $3.478 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$,进口空气的流量定为 $1.764 \text{ m}^3/\text{s}$,即气液流量比为5058:1。线性回归主要考察进口空气的温度及相对湿度、溶液的温度及浓度与试验指标的关系。因素编码表见表4,试验结果见表5,方差分析见表6。

表4 主要影响因素编码表
Table4 Table of main influencing factors

$Z_j(X_j)$	B 进口空气温度/℃	C 进口空气相对湿度/%	D 溶液温度/℃	E 溶液质量浓度/%
$Z_{j1}(-1)$	31	70	32	32
$Z_{j2}(1)$	36	78	38	40
$Z_{j0}(0)$	33.5	74	35	36
Δ_j	2.5	4	3	4
编码公式	$X_1=1/2.5(B-33.5)$	$X_2=1/4(C-74)$	$X_3=1/3(D-35)$	$X_4=1/4(E-36)$

表5 试验结果
Table 5 Result of experiment

试验号	X_0	$X_1(B)$	$X_2(C)$	$X_3(D)$	$X_4(E)$	X_1X_2	X_1X_4	空列	出口空气相对湿度/%	湿帘出口温度/℃
1	1	1(36)	1(78)	1(38)	1(40)	1	1	1	66	30
2	1	1	1	-1(32)	1	-1	-1	-1	66	29.8
3	1	1	-1(70)	1	-1(32)	-1	-1	1	65	29.6
4	1	1	-1	-1	-1	1	1	-1	60	29
5	1	-1(31)	1	1	-1	-1	1	-1	72	27
6	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	70	26.8
7	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	64	26.2
8	1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	62	25.6
9		0(33.5)	0(74)	0(35)	0(36)	0	0	0	64	28
10		0	0	0	0	0	0	0	63	27.8
11		0	0	0	0	0	0	0	65	28.2
K_1	525	257	274	267	258	260	260	263		
K_2	0	268	251	258	265	265	265	262		

续表

试验号	X_0	$X_1(B)$	$X_2(C)$	$X_3(D)$	$X_4(E)$	X_1X_2	X_1X_4	空列	出口空气相对湿度/%	湿帘出口温度/℃
B_j	525	-11	23	9	-5	-5	-5	1		
b_j	65.625	-1.375	2.875	1.125	-0.625	-0.625	-0.625	0.125		
Q_j	34453.12	15.12	66.125	10.125	3.125	3.125	3.125	0.125		

注： K_1 表示因素 1 水平之和， K_2 表示因素 2 水平之和， $B_j=K_1-K_2$ ， b_j 表示折合系数， Q_j 表示偏回归平方和。

表 6 方差分析表
Table6 Variance analysis

	平方和	自由度	均方和	F 值	显著性	临界值
B (进口空气温度)	15.125	1	15.125	121	较显著	
C (进口空气相对湿度)	66.125	1	66.125	529	极显著	$F_{0.05}(1,1)=161$
D (溶液温度)	10.125	1	10.125	81	较显著	$F_{0.1}(1,1)=39.100$
E (溶液浓度)	10.125	1	10.125	81	较显著	$F_{0.25}(1,1)=5.830$
B×C (交互因素项)	3.125	1	3.125	25	一般	$F_{0.05}(6,1)=234$
B×E (交互因素项)	3.125	1	3.125	25	一般	$F_{0.1}(6,1)=58.200$
SSR (回归平方和)	107.750	6	17.958	143.664	较显著	$F_{0.25}(6,1)=8.980$
SSE (残差平方和)	0.125	1				
SST (总变异平方和)	107.875	7				

由表 5 可得出回归方程

$$Y=65.625-1.375X_1+2.875X_2+1.125X_3-1.125X_4-0.625X_1X_2-0.625X_1X_4$$

经显著性检验，得知上述回归方程显著。

由于 $X_1=1/2.5(B-33.5)$ ， $X_2=1/4(C-74)$ ， $X_3=1/3(D-35)$ ， $X_4=1/4(E-36)$

所以，所求的回归方程是

$$Y=-202.45+6.325B+2.8125C+0.375D+1.8125D-0.0625BC-0.0625BE$$

式中，Y 为出口空气相对湿度，%。

3.2 模型的验证

为检验数学模型的有效性，课题组做了 1 组试验。检验试验的条件是溶液流量为 $3.478 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ，进口空气的流量为 $1.764 \text{ m}^3/\text{s}$ 。检验结果见表 7。

表 7 CaCl₂ 溶液喷淋除湿模型的检验

Table 7 Test for dehumidifying model under CaCl₂ liquid spraying

试验号	进口空气温度/℃	进口空气相对湿度/%	溶液温度/℃	溶液质量浓度/%	出口空气相对湿度/%		绝对误差/%	相对误差/%
					实测值	计算值		
1	1(30)	1(70)	1(32)	1(32)	62	63	1	1.61
2	1	1	1	2	62	64	2	3.2
3	1	2(78)	2(38)	1	71	72	1	1.41
4	1	2	2	2(40)	70	71	1	1.41
5	2(35)	1	2	1	65	66	1	1.5
6	2	1	2	2	60	61	1	1.67
7	2	2	1	1	65	67	2	3.08
8	2	2	1	2	64	64	0	0

由表 7 可知，出口空气相对湿度的实测值与用数学模型的计算值之间差别甚小，最大误差小于 5%，表明所建立的模型比较理想。

4 结论与讨论

1) 本温室除湿降温系统对出口空气相对湿度影响显著的因子依次是进口空气的相对湿度、进口空气的温度、溶液的温度和溶液的浓度。为取得理想的除湿降温效果，降低运行费用，减少雾沫夹带，溶液的流量应较大，而进口空气的流量应较小，最佳的气液流量比应为 5058:1。

2) 建立了当溶液的流量为 $3.478 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ ，进口空气的流量为 $1.764 \text{ m}^3/\text{s}$ 时，本除湿降温系统中进口空气的温度、进口空气的相对湿度、溶液的温度和溶液的浓度等 4 因子与出口空气相对湿度之间关系的模型。经试验验证，该模型的最大相对误差 < 5%，模型是可靠的。利

用该模型可对系统的降温效果进行预测。

本文提出的温室液体除湿降温系统是对现有温室湿垫-风机降温系统的改进，即在湿垫-风机降温系统的基础上增加了除湿室和除湿剂再生子系统。除湿室的构建与湿垫相结合，除湿剂选用价格较低的工业氯化钙水溶液，并可利用太阳能对其进行再生。该系统具有一次性投入少、运行费用低、降温幅度大，可满足中国南方高温高湿地区的温室夏季降温的要求，具有较好的经济性和较广泛的应用前景。

[参 考 文 献]

[1] 张继元, 赵纯清, 陈传艳. 温室除湿降温系统的研究与设计初探[C]// 管小冬, 国际农业生物环境与能源工程论坛文集.北京: 中国农业科学技术出版社, 2003: 202-204.
Zhang Ji Yuan, Zhao Chunqing, Chen Chuanyang. The initially research and design of desiccanting and cooling for

- greenhouse[C]// Guan Xiaodong. Proceedings of 2003 International Forum on Bio-environmental and Bio-energy Engineering. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2003: 202-204. (in Chinese with English abstract)
- [2] 赵纯清, 张继元. 温室除湿降温系统中除湿室结构的设计[J]. 华中农业大学学报, 2004, 23(3): 355-358.
Zhao Chunqing, Zhang Jiyuan. Study on construction designing about the dehumidifying room and cooling system for greenhouse[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2004, 23(3): 355-358. (in Chinese with English abstract)
- [3] 赵纯清, 张继元, 丁淑芳. 除湿降温系统用于温室降温的可行性探索[J]. 农机化研究, 2004, (5): 77-78.
Zhao Chunqing, Zhang Jiyuan, Ding Shufang. The feasibility exploring about the dehumidifying and cooling system applying to greenhouse[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2004, (5): 77-78. (in Chinese with English abstract)
- [4] 陈传艳. 温室除湿降温影响因子优化结合的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2004: 18-40.
Chen Chunyan. Study on Optimizing and Combining of Effect Eactories about Dehumidifying and Cooling Temperature for Greenhouse[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2004: 18-40. (in Chinese with English abstract)
- [5] 赵纯清. 温室除湿降温系统除湿剂利用及再生的实验研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2004: 5-23.
Zhao Chunqing. Experiment Research about the Utilization and Rebirth of the Desiccant for Dehumidifying and Cooling System for Greenhouse[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2004: (5)-23. (in Chinese with English abstract)
- [6] 胡建. 重庆市玻璃温室夏季降温效果的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2008: 10-35.
Hu Jian. Study on the cooling effect for glass greenhouse in summer in the Chongqing City[D]. Chongqing: Southwest university, 2008: 10-35. (in Chinese with English abstract)
- [7] 王吉庆, 张百良. 几种降温措施在温室夏季降温中的应用研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 257-260.
Wang Jiqing, Zhang Bailiang. Application of some cooling measures for freenhouse cooling in summer[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(9): 257-260. (in Chinese with English abstract)
- [8] 杨英, 李心刚, 李惟毅, 等. 高湿环境下太阳能液体除湿特性的实验研究[J]. 河北建筑科技学院学报, 1999, 16(3): 40-45.
Yang Ying, Li Xingang, Li Weiyi, et al. Experimental study on dehumidification process of solar energy liquid desiccant air conditioning system[J]. Journal of Hebei Institute of Architectural Science and Technology, 1999, 16(3): 40-45. (in Chinese with English abstract)
- [9] 顾洁, 温建军, 田志昶, 等. 氯化锂液体除湿器的试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(3): 121-124.
Gu Jie, Wen Jianjun, Tian Zhichang. Experimental research on dehumidifier using LiCl solution as liquid desiccant[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2006, 22(3): 121-124. (in Chinese with English abstract)
- [10] 殷勇高, 张小松, 权硕, 等. 溶液除湿冷却系统的再生性能实验研究[J]. 工程热物理学报, 2005, 26(6): 915-917.
Yin Yonggao, Zhang Xiaosong, Quan Shuo, et al. Experimental study on regeneration performance of liquid desiccant cooling system[J]. Journal of Engineering Thermophysics, 2005, 26(6): 915-917. (in Chinese with English abstract)
- [11] 丁涛, 黄之栋, 赵伟金, 等. 太阳能除湿系统中混合盐溶液的除湿/再生效率[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 295-299.
Ding Tao, Huang Zhidong, Zhao Weijin, et al. Dehumidification and regeneration efficiency of the mixed salt solution in the solar dehumidification system[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(2): 295-299. (in Chinese with English abstract)
- [12] 马承伟, 张森文, 崔引安, 等. 沸腾炉式集中雾化降温系统的应用实验[J]. 农业工程学报, 1998, 14(1): 158-162.
Ma Chengwei, Zhang Senwen, Cui Yinan, et al. An application test of centralized spray cooling system modeled on boiling movement[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 1998, 14(1): 158-162. (in Chinese with English abstract)
- [13] 张亚红. 日光温室空气湿度环境及除湿技术研究[J]. 宁夏农学院学报, 2000, 21(1): 32-36.
Zhang Yahong. Study on the environment of air humidify and the technology of dehumidify elimination in sunlight greenhouse[J]. Journal of Ningxia Agricultural College, 2000, 21(1): 32-36. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王本根, 苗香雯, 司慧萍, 等. 华东连栋塑料温室夏季降温效果比较研究[J]. 农机化研究, 2004, 5: 187-190.
Wang Bengen, Miao Xiangwen, Si Huiping, et al. A study on comparison of cooling efficiency for the East-China type multi-span plastic greenhouse in summer[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2004, 5: 187-190. (in Chinese with English abstract)
- [15] 钟应善, 杨家强, 邓劲莲. 温室温度和湿度的多变量模糊控制技术[J]. 农业机械学报, 2001, 32(3): 75-78.
Zhong Yingshan, Yang Jiaqiang, Deng Jinglian. Multivariable fuzzy conturol of temperature and humidity in a greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2001, 32(3): 75-78. (in Chinese with English abstract)
- [16] 柴立龙, 马承伟, 张晓蕙, 等. 地源热泵温室降温系统的实验研究与性能分析[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 150-154.
Chai Lilong, Ma Chengwei, Zhang Xiaohui, et al. Experimental investigation and performance analysis on ground source heat pump system for greenhouse cooling[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(12): 150-154. (in Chinese with English abstract)
- [17] Hamada Y, Saitoh H, Nakamura M, et al. Field performance of energy pile system for space[J]. Energy and Buildings, 2007, 39(2): 514-527.

- [18] 孟力力, 杨其长, Gerard. P. A. Bot, 等. 日光温室热环境模拟模型的构建[J]. 农业工程学报, 2009, 25(1): 164—170.
Meng Lili, Yang Qichang, Gerard P A Bot, et al. Visual simulation model for thermal environment in Chinese solar greenhouse[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(1): 164—170. (in Chinese with English abstract)
- [19] 易晓勤, 刘晓华, 江亿等. 两种除湿溶液的再生性能对比实验研究[J]. 太阳能学报, 2010, 31(2): 168—173.
Yi Xiaoqin, Liu Xiaohua, Jiang Yi, et al. Experimental and analytical comparison on regenerating capability of two kinds of dehumidifying solution[J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2010, 31(2): 168—173. (in Chinese with English abstract)
- [20] 陈正法, 梁称福, 李文祥, 等. 空气循环式塑料大棚蓄热除湿装置及运行效果[J]. 农业工程学报, 2009, 25(3): 158—163.
Chen Zhengfa, Liang Chengfu, Li Wenxiang, et al. Air-circulating and regenerative dehumidification device inside the plastic covered tunnel greenhouse and its running effects[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2009, 25(3): 158—163. (in Chinese with English abstract)

Analysis of influencing factors of dehumidifying and cooling system with moisture absorbent spraying for greenhouse

Chen Chuanyan¹, Zhao Chunqing^{2*}, Zhang Jiyuan², Ding Shufang², Xu Jun²

(1. Hubei Water Resources Technical College, Wuhan 430070, China; 2. College of Engineering and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to solve the cooling problem for greenhouse in the humid and hot area in summer, liquid dehumidifying and cooling system with CaCl_2 liquid was proposed. Under the condition that the dehumidifying and cooling system was operated in greenhouse, the experimental target about the relative humidity of the air on the spray room exit was determined, and the factors affecting on the experimental indexes were analyzed, such as inlet air flow, liquid desiccant flow concentration and temperature, inlet air temperature and humidity and so on. By the single factor and multi-factor orthogonal experiment, when the system was operating, the significant factors included desiccant concentration and temperature, inlet air temperature and humidity. Through the regression analysis, the mathematical model of spraying and dehumidifying with CaCl_2 was established and verified, and the maximum relative error of model was less than 5%. This paper provides a reference for greenhouse cooling under high temperature and high humidity condition in summer in the South China.

Key words: greenhouses, cooling systems, CaCl_2 , dehumidifying, liquid desiccant