

# 中国农村沼气发酵温度适宜性区划

陈 豫, 胡 伟

(宜宾学院 作物科学研究所, 四川 宜宾 644000)

**摘 要:**中国农村沼气发酵温度适宜性区划对中国农村沼气合理布局具有重要的意义。以沼气发酵温度为研究对象,系统分析了温度与沼气发酵之间的关系及沼气池发酵液的温度与气温、地温之间的关系,以最低发酵温度(12℃)的发酵时间和发酵较快温度(20℃)的发酵时间作为中国农村沼气发酵温度的适宜性分区指标,对中国农村沼气发酵温度适宜性进行分区,划分为沼气发酵温度最适宜区、适宜区、次适宜区和非适宜区并进行分区描述。分区结果表明:发酵温度最适宜区包括福建、广东、广西、海南、云南 5 个省(区);发酵温度适宜区包括浙江、湖北、湖南、贵州、重庆、江苏、江西、四川、上海、河南、山东、安徽、天津、北京、河北 15 个省(市);发酵温度次适宜区包括山西、辽宁、吉林、甘肃、新疆、宁夏、陕西、内蒙古 8 个省(区);发酵温度非适宜区包括黑龙江、西藏、青海 3 个省(区)。在此基础上,形成了中国农村户用沼气发酵原料适宜性区划图。

**关键词:**户用沼气; 发酵温度; 区划

**中图分类号:**S216.4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2013)01-0250-04

## Research on Suitability Regionalization of Household Biogas Fermentation Temperature in Rural China

CHEN Yu, HU Wei

(Institute of Crop Science, Yibin University, Yibin, Sichuan 644000, China)

**Abstract:** It's significant to research household biogas fermentation temperature in rural China for rational distribution of biogas digester. The relationship among air temperature, ground temperature and digester temperature was analyzed. The index for China's rural household biogas fermentation temperature division was built. According to the temperature suitability, the development of household biogas can be divided into four different regions in rural China, optimum region including suitable region, sub-suitable region and unsuitable region. Results showed that Fujian, Guangdong, Guangxi, Hainan, Yunnan were in the optimum regions, Zhejiang, Hubei, Hunan, Guizhou, Chongqing, Jiangsu, Jiangxi, Sichuan, Shanghai, He'nan, Shandong, Anhui, Tianjin, Beijing, and Hebei were in the suitable regions. Shanxi, Liaoning, Jilin, Gansu, Xinjiang, Ningxia, Shaanxi, Inner Mongolia are in the sub-suitable regions, and Heilongjiang, Tibet, Qinghai were in the unsuitable regions. According to these results, biogas fermentation temperature zoning map in rural China was made.

**Key words:** household biogas; fermentation temperature; regionalization

区域差异是中国农村沼气发展的重要特征<sup>[1]</sup>。沼气发展水平和空间分布格局受到多种因素的共同影响<sup>[2]</sup>。Alvarez 等<sup>[3]</sup>通过实地观测分析了气温变化对沼气发酵的影响。徐小刚等<sup>[4]</sup>指出中国农村沼气南北方发展不平衡的主要因素是地域温度,认为气温是农村沼气推广利用的一个决定性因素。杨艳丽等<sup>[1]</sup>的研究结果表明,中国农村户用沼气以河北四川线和江苏广东线为界,呈现出三个空间分异带,形成以四川、广西、云南为代表的西南地区 and 以河南、湖南为代表的华北—中南地带;影响农村户用沼气发展空间格局的首

要因素是气候条件 and 市场消费,其次是原料来源,地区经济状况对其影响不显著。中国地域辽阔,拥有较多的气候带,不同气候带的气候差别很大。中国农村户用沼气发酵温度适宜性区划对中国农村沼气合理布局具有重要的意义。本文以沼气发酵温度为研究对象,以为合理布局中国农村户用沼气提供理论依据。

## 1 发酵温度与沼气产量速率的关系

沼气发酵又称厌氧消化,是指各种有机物在厌氧条件下,被各类沼气发酵微生物分解转化,最终生成

沼气的过程<sup>[5]</sup>。参与沼气发酵活动的细菌主要为发酵性细菌,产氢产乙酸菌,耗氢产乙酸菌,食氢产甲烷菌,食乙酸产甲烷菌 5 大类群<sup>[5]</sup>。沼气发酵微生物只有在一定的温度条件下才能生长繁殖,进行正常的代谢活动。10℃以下时,无论是产酸菌或产甲烷菌都受到严重抑制;10℃以上时产酸菌开始活动,在 10~30℃温度区间,产甲烷菌的产气能力随着温度的降低而减小,温度在 15℃以下时产甲烷菌不适宜生长,15℃以上时产甲烷菌的代谢活动才活跃起来<sup>[6]</sup>。

1.1 发酵温度对产气量和产气率的影响

在一定的温度范围内(15~40℃),随着温度的增高,微生物的代谢加快,分解原料的速度也相应提高,产气量和产气率都相应地增高。例如沼气发酵温度为 10℃时,每千克干物质产气量 0.45 m<sup>3</sup>,20℃时产气量 0.61 m<sup>3</sup>,到 30℃时,产气量达 0.76 m<sup>3</sup>,可见不同温度下原料的产气效率变化很大<sup>[7]</sup>。温度每上升 10℃,反应速率约增加 2~3 倍<sup>[8]</sup>,也就是说,同一种发酵原料在 35℃的条件下发酵一个月相当于 15℃条件下发酵 6—9 个月的产气量。表 1 为温度与沼气产气速度的关系<sup>[9]</sup>。

表 1 温度与沼气产气速度的关系

沼气发酵温度/℃	10	15	20	25	30
沼气发酵时间/d	90	60	45	30	27
有机物产气率/(ml·g <sup>-1</sup> )	450	530	610	710	760

1.2 发酵温度的突变对产气量的影响

沼气发酵温度的突然升高或降低,对产气量影响显著。一般认为,温度突然上升或下降 5℃,产气量显著降低,若温度变化过大则会停止产气,当温度恢复正常后,仍可以正常产气<sup>[10]</sup>。

1.3 发酵温度对一定发酵原料总产气量的影响

发酵原料总的产气量并不受发酵温度的影响。在一定的温度变化范围内(8~35℃),一定量的发酵原料的总产气量基本保持不变,也就是说提高原料的发酵温度并不能提高发酵原料的分解利用率,只能提高沼气发酵的速度。例如要产同样多的沼气,发酵池温度低则发酵周期长,发酵池温度高则发酵周期短。

2 沼气池发酵液的温度与气温、地温之间的关系

中国农村户用沼气池均是在自然温度下进行沼气发酵,其特点是发酵料液的温度随气温、地温的变化而变化,一般料液温度为 8~25℃,低于 10℃以后,产气效果很差<sup>[11]</sup>。其优点是不需要对发酵料液温度进行控制,节省保温和加热投资;其缺点是同样投料条件下,一年四季产气率相差较大。南方农村沼气池

建在地下,还可以维持用气量。北方的沼气池则需建在太阳能暖圈或日光温室下,才可确保沼气池安全越冬,维持正常产气。

气温、地温和池温的关系密切,池温(发酵液温度)直接受地温影响,而地温又随着气温而变化。以成都地区(表 2)和长沙地区(表 3)沼气池发酵液温度与气温、地温变化情况可见,离地表面越近温度变化越大,越接近气温;越深变化越小,与气温差异越大。夏天离地面越近温度越高,冬天离地面越近温度越低<sup>[12]</sup>。尽管气温变化大、变化快,但由于地热容量大,地温相对稳定,变化慢,不会随气温产生明显变化<sup>[13]</sup>。

表 2 成都地区沼气池发酵液温度与气温、地温变化比较

季节	月份	平均气温	平均地温	平均池温
冬季	11 月	10.9	19.0	20.6
	12 月	6.7	16.5	14.8
	1 月	7.6	14.7	11.7
春季	2 月	6.8	13.5	11.3
	3 月	12.1	13.8	12.5
	4 月	15.9	14.7	14.8
夏季	5 月	24.4	18.0	18.4
	6 月	23.3	18.1	20.9
	7 月	25.9	19.5	22.6
秋季	8 月	27.3	21.2	24.5
	9 月	20.8	22.0	23.3
	10 月	19.7	21.6	22.0
全年		16.79	17.55	18.12

表 3 长沙地区沼气池发酵液温度与气温、地温变化比较

季节	月份	平均气温	平均地温	平均池温
冬季	11 月	10.2	13.0	18.6
	12 月	6.5	9.1	15.9
	1 月	5.8	8.1	13.3
春季	2 月	4.8	6.0	12.9
	3 月	10.2	10.7	13.0
	4 月	16.1	16.0	14.9
夏季	5 月	20.8	21.8	17.7
	6 月	26.2	26.7	19.6
	7 月	29.5	30.9	23.4
秋季	8 月	29.9	32.7	26.2
	9 月	22.8	27.0	24.9
	10 月	15.2	18.2	21.2
全年		16.6	18.4	18.6

3 中国农村户用沼气发酵温度适宜性区划

3.1 区划指标的选取

气温,池温,地温之间的关系复杂,影响因子较

多,目前还没有统一的研究结果。对中国农村沼气发酵温度进行区划,测定各地沼气池发酵液的温度工作量大,不易实现。地温与池温较为接近,但目前观测地温的方法(高精度测温仪、气象站常规观测、卫星遥感技术)存在费用昂贵、点位分散、大气校正复杂等问题,难以普遍开展<sup>[14]</sup>。气温的数据相对易获得,且精度高。因此本研究利用气温的分布来对沼气所需的温度环境进行分区。依据发酵温度与沼气产量速率的关系,沼气池发酵液的温度与气温、地温之间的关系,以最低发酵温度(12℃)的发酵时间和发酵较快温度(20℃)的发酵时间作为中国农村沼气发酵温度适宜性分区的指标。最低发酵温度的发酵时间大于等于 10 个月且发酵较快温度的发酵时间大于等于 6 个月的区域为沼气发酵温度最适宜区;最低发酵温度的发酵时间在 7~10 个月之间且发酵较快温度的发

酵时间大于等于 4 个月的区域为沼气发酵温度适宜区;最低发酵温度的发酵时间在 3~7 个月之间且发酵较快温度的发酵时间大于等于 3 个月的区域为沼气发酵温度次适宜区;最低发酵温度的发酵时间小于等于 3 个月为沼气发酵非适宜区。具体指标及分级标准见表 4。

表 4 中国农村户用沼气发酵温度适宜性区划指标及分级标准

分区指标	最适宜区	适宜区	次适宜区	非适宜区
≥12℃的月数	≥10	7~10	3~7	≤3
≥20℃的月数	≥6	≥4	≥3	

3.2 中国气温分布

根据表 4,对中国气温分布进行分析,附图 10 为 2009 年中国气温分布图,数据来源于国家气候中心网站。根据附图 10 得到中国各地各温度段的月数见表 5。

表 5 中国各地各温度段的月数

地 区	<4℃	4~8℃	8~12℃	12~16℃	16~20℃	20~24℃	24~28℃	>28℃
北 京	4	1	0	2	1	1	3	0
天 津	4	1	0	2	1	1	3	0
河 北	4	1	0	2	1	1	3	0
山 西	4	1	1	1	2	3	0	0
内蒙古	5	1	1	1	2	2	0	0
辽 宁	5	0	2	1	1	3	0	0
吉 林	5	1	1	1	2	2	0	0
黑龙江	7	1	1	1	1	1	0	0
上 海	2	0	3	1		3	3	0
江 苏	2	1	2	1	1	2	3	0
浙 江	0	1	3	1	1	3	2	1
安 徽	1	2	2	0	2	2	3	0
福 建	0	1	1	3	1	2	4	0
江 西	0	1	2	2	1	2	3	1
山 东	4	1	0	1	2	1	3	0
河 南	4	0	1	0	3	1	3	0
湖 北	1	1	3	0	2	1	4	0
湖 南	0	2	2	1	1	2	3	1
广 东	0	0	2	1	2	2	4	1
广 西	0	0	2	1	2	2	4	1
海 南	0	0	0	0	3	3	4	2
重 庆	0	1	2	2	2	4	1	0
四 川	0	1	3	1	2	4	1	0
贵 州	0	2	2	1	2	2	3	0
云 南	0	0	2	2	2	6	0	0
西 藏	5	2	2	3			0	0
陕西北部	4	1	1	2	1	3	0	0
陕南、关中	2	0	3	2	2	1	2	0
甘 肃	5	0	2	2	3	1	0	0
青海北部	6	0	3	2	1		0	0
青海南部	6	3	3				0	0
宁 夏	4	1	1	2	1	3	0	0
新疆(北)	4	1	1	1	2	3	0	0
新疆(南)	4	0	1	1	3	1	2	0

注:因台湾发酵原料数据缺失,本研究在进行温度区划时未考虑台湾。

3.3 区划原则

(1) 沼气发酵温度和发酵时间区内一致性和区间差异性;

(2) 区域间不重叠,即任何一个被作为分区对象的地域单元不能同时归属于两个或两个以上的同级区域。

3.4 区划方法

按照中国农村户用沼气发酵温度分区指标分级标准对 2009 年中国气温分布情况进行分区,分区结果见表 6。根据区划结果,形成了中国农村户用沼气发酵温度适宜性区划图(图 1)。

3.5 分区评述

I 发酵温度最适宜区。包括福建、广东、广西、海南、云南 5 个省。此区全年基本可产气,且 1 a 中有 6 个月产气速度较快,产气效率高,具有发展沼气的最适

宜温度条件。

II 发酵温度适宜区。包括浙江、湖北、湖南、贵州、重庆、江苏、江西、四川、上海、河南、山东、安徽、天津、北京、河北。沼气池的利用时间在半年以上,但产气速度快、原料产气效率高的时间有 4~6 个月,为沼气池季节利用、短时间高产地区,具有发展沼气的适宜温度条件。

III 发酵温度次适宜区。包括山西、辽宁、吉林、甘肃、新疆、宁夏,陕西、内蒙古。沼气池的利用时间小于半年,产气速度快、原料产气效率高的时间只有 1~3 个月。

IV 发酵温度非适宜区。包括黑龙江、西藏、青海。沼气池利用时间短,产气速度慢,产气效率低,因此在自然条件下,不具有发展沼气的温度条件。

表 6 中国农村户用沼气发酵温度适宜性区划

分区名称	分区标准	区域
最适宜区 I	≥12℃ 的月数 ≥10 ≥20℃ 的月数 ≥6	福建、广东、广西、海南、云南
适宜区 II	≥12℃ 的月数 7~10 ≥20℃ 的月数 ≥4	浙江、湖北、湖南、贵州、重庆、江苏、江西、四川、上海、河南、山东、安徽、天津、北京、河北
次适宜区 III	≥12℃ 的月数 3~7 ≥20℃ 的月数 ≥3	山西、辽宁、吉林、甘肃、新疆、宁夏,陕西、内蒙古
非适宜区 IV	≥12℃ 的月数 ≤3	黑龙江、西藏、青海

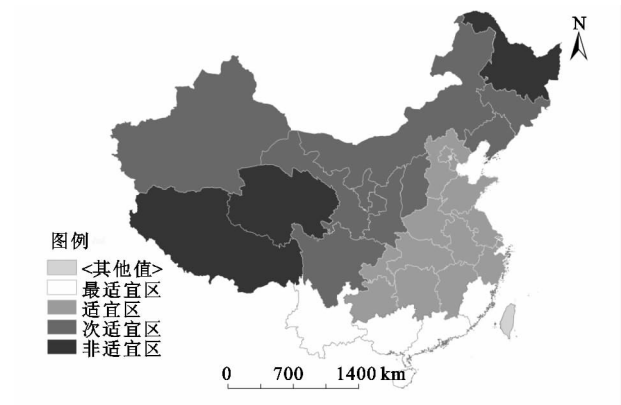


图 1 中国农村户用沼气发酵温度适宜性区划

4 结论

论文以沼气发酵温度为研究对象,将中国农村户用沼气发酵温度划分为沼气发酵温度最适宜区、适宜区、次适宜区和非适宜区。发酵温度最适宜区包括福建、广东、广西、海南、云南 5 个省;发酵温度适宜区包括浙江、湖北、湖南、贵州、重庆、江苏、江西、四川、上海、河南、山东、安徽、天津、北京、河北 15 个省;发酵温度次适宜区包括山西、辽宁、吉林、甘肃、新疆、宁夏、陕西、内蒙古 8 个省;发酵温度非适宜区包括黑龙江、西藏、青海 3 个省。根据区划结果,形成了中国农村户用沼气发酵温度适宜性区划图。

中国农村沼气的区划主要包括发酵原料的区划

和发酵温度的区划。发酵原料的统计资料都是以省为单位,为了便于中国农村户用沼气发酵温度适宜性区划与原料区划的匹配和结合,在做中国农村户用沼气发酵温度适宜性区划时仍采取了以省为单位进行分区。由于省内部温度条件存在一定的差异,可能会影响到温度区划的精确性。本研究在中国农村沼气发酵温度适宜性区划方面做了一些尝试性的工作,还有许多问题有待于进一步探索研究。

参考文献:

[1] 杨艳丽,侯坚,张培栋. 中国农村户用沼气发展的空间分异格局[J]. 资源科学,2009,31(7):1219-1225.

[2] Ramachandra T V, Shruthi B V. Spatial mapping of renewable energy potential [J]. Renewable&Sustainable Energy Reviews,2007,11(7):1460-1480.

[3] Alvarez R, Liden G. The effect of temperature variation on biomethanation at high altitude [J]. Bioresource Technology,2008,99(15):7278-7284.

[4] 徐小刚,李秀峰. 我国农村沼气发展影响因素分析[J]. 安徽农业科学,2008,36(7):2888-2890.

[5] 周孟津,张榕林,蔺金印. 沼气实用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004.

[6] 王华,杨光,刘小刚,等. 温度对沼气菌群产气能力的影响及菌群变化的研究[J]. 西北农业学报,2008,17(5):294-297.

由上述分析可知,人口数量的快速增加是长春市城市生态系统的最大制约条件。人口数量的变化直接影响了经济子系统和社会子系统的健康状况。这就需要城市管理者正确看待长春市城市化快速发展的现实,在城市政策的规划和制定方面体现出一定的前瞻性。同时,各子系统的发展在同步性和协调性方面也存在一些问题。自然子系统的健康状况较为稳定,而经济和社会子系统则呈现出逐渐好转趋势。这是由于一直以来东北地区的地广人稀,较低的人口密度给自然环境带来的压力相对较小。但是应当注意的是,随着城市化的发展,自然子系统所受到的压力必然会逐步增大,切不可降低对自然子系统的投入力度。

3 结论及建议

长春市生态系统 2000—2008 年从病态逐渐转变为亚健康状态,其趋势虽有好转,但各子系统协调发展还有待配合。自然子系统稳定于很健康的状态,经济子系统和社会子系统状况增长迅速但仍然有待发展和提高。因此,长春市生态系统健康状况的恢复须走经济集约化、资源节约型发展模式,切实转变经济增长方式,把发展动力转到依靠工业结构调整、科技进步和政府管理水平上来,加强资源、环境、经济、社会四大要素的平衡协调发展,进一步推进长春市的城市生态环境建设和保护。

参考文献:

[1] 郭秀锐,杨居荣,毛显强.城市可持续发展的生态学分

(上接第 249 页)

[14] 张富刚,刘彦随,王介勇.沿海快速发展地区区域系统耦合状态分析[J].资源科学,2007,29(1):16-20.  
[15] 李智国,杨子生,王伟.西南边疆山区耕地资源利用与粮食生产耦合态势:以云南省为例[J].山地学报,2008,26(4):410-417.  
[16] 李宏,王红梅.黑龙江省耕地数量变化及驱动因子分析[J].农机化研究,2007(12):12-15.

(上接第 253 页)

[7] 钟贤烈.农村沼气[M].北京:农业出版社,1983.  
[8] 腾传钧,汪国英.沼气节能综合利用技术[M].贵阳:贵州科技出版社,2003.  
[9] 徐曾符.沼气工艺学[M].北京:农业出版社,1981.  
[10] 张全国.沼气技术及其应用[M].北京:化学工业出版社,2005:71-73.  
[11] 马洪儒.家用沼气池稳定产气的技术要点[J].可再生

析:以广州市为例[J].城市环境与城市生态,2002,15(5):26-28.  
[2] 刘明华,董贵华.城市生态系统健康评价指标体系的构建:以秦皇岛市生态系统为例[J].中国疗养医学,2005,14(3):161-164.  
[3] 周申立,杨位飞,薛宗保.邛海水生生态系统健康评价[J].中国环境监测,2006,22(5):78-81.  
[4] Rapport D J, Whitford W G. How ecosystems respond to stress: common properties of arid and aquatic system [J]. BioScience,1989,49:193-203.  
[5] 李春晖,郑小康,崔崑,等.衡水湖流域生态系统健康评价[J].地理研究,2008,27(3):565-571.  
[6] Hancock. Urban ecosystem and human health: a paper pre-pared for the Seminar on CIID-IDRC and urban development in Latin America, Montebideo, Uruguay, April 6-7. 2000[C/OL]. [2007-11-05]. <http://www.idrc.ca/locro/docs/conferencias/hancock.html>.  
[7] 郭秀锐,杨居荣,毛显强.城市生态系统健康评价初探[J].中国环境科学,2002,22(6):525-529.  
[8] 周文华,王如松.基于熵权的北京城市生态系统健康模糊综合评价[J].2005,25(12):3244-3251.  
[9] 苏美蓉,杨志峰,王红瑞,等.一种城市生态系统健康评价方法及其应用[J].环境科学学报,2006,26(12):2072-2079.  
[10] 徐志婧,刘维,张建丰,等.基于流域不同特征的湟湍河生态系统健康评价[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2011,39(8):215-223.  
[11] 李双江,罗晓,胡亚妮.快速城市化进程中石家庄城市生态系统健康评价[J].水土保持研究,2012,19(3):245-249.

[17] 李茂.河南省耕地和粮食灰色关联分析[J].地理科学进展,2002,21(2):163-172.  
[18] 周慧秋,李效忠.影响黑龙江省粮食综合生产能力的因素分析[J].黑龙江粮食,2005(6):16-17.  
[19] 倪超,雷国平.资源枯竭型城市土地综合承载力评价研究[J].水土保持研究,2011,18(2):164-168.  
[20] 马彩虹,赵先贵.陕西省人口—耕地—粮食系统耦合态势研究[J].干旱地区农业研究,2005,23(5):217-221.

能源,2003,108(2):29-30.  
[12] 林聪.沼气技术理论与工程[M].北京:化学工业出版社,2007.  
[13] 宋洪川.农村沼气实用技术[M].北京:化学工业出版社,2007.  
[14] 黄广思.地温遥感预报地震的原理和方法[J].地壳形变与地震,1993,13(1):23-29.