

太阳能干谷仓的研究

农机系谷物干燥研究小组*

提 要

太阳能干谷仓是一种代替传统晒场的新型干燥装置,经1982及1983年收获季节的试验,效果良好,符合设计要求。

太阳能干谷仓是由安装在屋顶上的铝质太阳能集热器(42米²)和室内多孔谷床(18米²)所组成,采用轴流通风机将太阳能加热的空气送入热空气室,由下而上地穿过放置在谷床上的谷层而使谷物得到干燥。据试验,此谷仓每天(8~9太阳时)可干燥1.4吨稻谷,使其含水率从收割时的22.3%干燥至入仓标准(13~14%)。如用晒场干燥上述稻谷,则其面积相当于干谷仓集热面积的10倍。此干谷仓的干燥费比用煤、油、电为能源的其他谷物干燥机便宜,且干燥品质好,并可干燥其他农产品。

本文还对太阳能干谷仓的各项性能指标如加热空气能力、谷温、含水率、单位热耗、单位能耗、单位集热面除水能力和生产能力等进行了分析。

一、前 言

谷物干燥是谷物生产过程的最后一道环节。这道环节搞得好不好,不但直接影响谷物品质,而且直接影响谷物生产的实际产量。例如,广东省在谷物收获季节也常是台风天雨季节,每年约有5~10亿斤稻谷因不能及时干燥而发芽、变质、霉烂,这是多么令人痛心的事情。因此,在谷物生产过程中,谷物干燥是摆在我们面前的关键课题,是农业现代化所必须攻克的突破点。

谷物干燥又是一种很耗能的作业,如何选用能源,是谷物干燥这个关键课题的关键。就广东而言,每年约收获300亿斤稻谷,若用柴油或煤为能源来干燥,约需27.6万吨柴油或55.2万吨中等煤(设谷物含水率由25%降至13.5%、柴油发热量为10,000千卡/公斤,中等煤发热量为5000千卡/公斤),这是很大的一笔商品能源。如果上述稻谷全部用太阳能干燥,就节约了这笔商品能源。所以,在目前情况下用商品能源(石油、天然气、煤、电等)去代替太阳能来干燥谷物,是不合算的,也是不可能的,即使在能源条件较充裕的情况下,也应从长计议,节约能源。

利用晒场晒干稻谷除能节约商品能源外,其优点是:谷物品质较好,色泽鲜黄、发芽率高、爆腰率及碎米率较少;晒干谷物的成本在当前农村劳力较充裕的情况下仍属较低;晒场能适应分散的农村就地晒干谷物。然而,晒场也有其不足之处,占相当农田

* 谷物干燥研究小组成员:邵耀坚、刘道被、肖俊铭、郑官杞、黄玉德、陈羽白、魏宇青、陈嘉立;

邵耀坚、刘道被执笔。洪德梅、黄维新同志协助谷物品质测定,谨此致谢。

面积（每100亩农田约需要晒场2亩），受天气影响很大，在阴雨天，因谷物无法及时晒干而发芽、霉变，造成损失；晒场要耗用不少劳动力以摊晒、翻动、收集谷物；晒场作业相当繁重，特别在我省夏季，晒场上温度高达 $42^{\circ}\sim 46^{\circ}\text{C}$ ，是高温作业；在晒场晒干的谷物，易混入泥沙小石或草籽杂物，导致稻谷品质不纯。

以上情况表明：必须研究及设计一些新型的太阳能谷物干燥装置去代替晒场，以保留晒场具有节约商品能源等优点，克服晒场存在的缺点。这是一项重大的节能措施。

我们设计的太阳能干谷仓是代替晒场的一种谷物干燥装置，去年夏、秋两季及今年夏季进行了试验，今后还准备进一步改进。这里介绍的试验情况及分析，旨在抛砖引玉，引起各方面的重视和讨论，以促进太阳能谷物干燥装置的研究工作。

二、 太阳能干谷仓的结构及工作原理

太阳能干谷仓的结构如图1所示，其主要组成部分及工作原理分述如下：

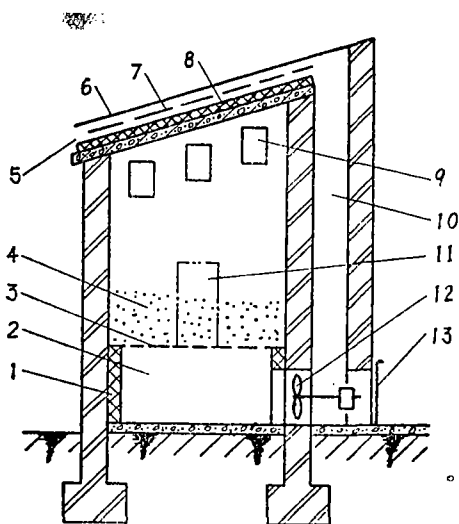
（一）主要组成部分

1. 太阳能集热器：太阳能集热器设置在干谷仓及与干谷仓相连的工作室的屋顶上，透光面积共 42米^2 。5毫米厚的透光玻璃下面的铝板（0.6毫米厚的铝合金薄板）呈翅状，并套接有 $\phi 18\times 1.5$ 毫米的铝合金水管。铝板及水管涂上无光泽的黑漆。在铝板下面装有约25毫米厚的珍珠岩作保温层。

2. 谷床：谷床为平床。孔板面积为 18米^2 ，孔板厚为1.5毫米，板上冲有许多 18×1.5 毫米的小长孔，开孔率为28.7%。

3. 通风机：1982年的试验采用6号轴流低压通风机，转速为2000转/分，铭牌风量为 $12,700\text{米}^3/\text{小时}$ ，风压为27毫米水柱，配套动力为3千瓦。

1983年的试验采用FG 740—5号轴流通风机，转速为2,900转/分，铭牌风量为 $11,560\text{米}^3/\text{小时}$ ，风压为57.6毫米水柱，配套动力为4千瓦。实测风量比铭牌风量小得多。



1. 保温层 2. 热空气室 3. 孔板 4. 谷床 5. 冷空气进口 6. 玻璃 7. 铝板 8. 保温层 9. 排气窗 10. 热空气道 11. 门 12. 风机 13. 检查孔

图1 太阳能干谷仓示意图

（二）工作原理

外界冷空气经太阳能空气集热器后，含湿量不变，但温度提高，相对湿度降低。加热后的空气经热空气道由风机送入热空气室，穿过谷层，加热谷物并带走从谷物中蒸发出来的水蒸汽，使谷物逐渐干燥。穿过谷层后的热空气由于温度降低、含湿量及相对湿度增大而成为废气，并由排气窗排出室外。

三、试验结果分析

1982年我们对太阳能干谷仓进行了六次试验(夏、秋各三次),共干燥湿稻谷10,214公斤、湿糯谷1,472公斤。第一次试验时,使热空气先经过热空气室下部的卵石库后再入谷层,经17.5小时才使谷物含水率降低5%,干燥效果较差。据此,拆去卵石库,再进行第二次及以后各次试验,干燥效果显著改善。在头三次试验中,热空气室分隔为三个小室,气流阻力损失较大。为减小气流阻力,秋收试验前将热空气室由三个小室合并为一个大气室,并适当修整风机的出风口,干燥效果又进一步改善。

1983年夏,我们在透光玻璃下面的翅状铝板上复盖一层黑色塑料薄膜,增大了太阳能空气集热器的吸热面积,干燥效果比前六次试验更好。

用太阳能干谷仓干燥的稻谷,品质良好,色泽鲜黄,气味正常,发芽率高,不增加污染,干燥成本亦较低。

(一) 利用太阳能干燥谷物的可能性问题

我省年平均日照时数约为1,900小时(广州为1891小时),若每天日照时数以10小时计算,则全省年平均日照天数约为190天(广州为189天),全年有52%是有日照的晴天,可用来干燥谷物。

据广东省气象局的气象资料,在七、八月,太阳辐射猛烈,以广州地区为例,七月份太阳辐射能为12,005.8卡/厘米²·月,平均每天每平方米的太阳辐射能为3,873千卡/米²·日,相当于0.3873公斤柴油或0.7746公斤中等煤的发热量。若只考虑晴天,则在晴天实测的太阳辐射能比上述气象资料平均值大得多:最热的一天(由6时至18时)约为7,190千卡/米²·日,1982年7月24日我们由10时15分至17时所测得的约为4,590千卡/米²·日。上述数据说明:若充分利用太阳能干燥谷物,必为国家节约许多商品能源。

夏收时节也常是多雨时节,能否利用太阳能干燥谷物呢?我们的初步试验表明是能够的。由于被干燥的谷物放在谷仓里,因此,下雨时就暂时停止鼓风干燥,不必象晒场那样紧张地抢收谷物;雨停后,又可开动风机继续干燥,不必象晒场那样重新摊晒谷物。去年秋收期间,连续阴雨,在干燥期间的十五天中下了十一天雨,只有四天属多云的晴天,我们就在这四天多云的晴天中进行了三次试验,满意地完成稻谷干燥任务,平均干燥速度达0.28~0.37%/小时,薄层干燥达0.8%/小时,干燥后的谷物的品质也良好。

总之,利用太阳能干燥谷物是可能的。若适当增设辅助加热装置,则太阳能干谷仓将不受天气影响,更加完善。

(二) 关于卵石库(热库)问题

如前所述,第一次试验时,使热空气先经过卵石库,干燥效果差。经分析,干燥效果不佳的原因有二:其一,风机的风压不够,使气流经过卵石库后,气流阻力损失增大,通过谷层的风量减小,影响干燥;其二,由于我们未设辅助加热装置,干燥作业只在白天进行,因此,每天上午开始干燥时,卵石库吸热,使进入谷层的热空气温度降低,

虽然下午当太阳辐射强度减弱时,卵石库又会放出一部分热量给热空气,使热空气温度波动较小,但直至停止鼓风干燥时,卵石库仍未将所吸收的热量全部释放出来,这未释放出来的热量就是热空气经过卵石库时损失的热量。“未释放”的热量夜间散失一部分,剩下的将保存到第二天,使卵石库在第二天的吸热量减小。由于夜间散热不可避免,故增设卵石库不可避免地损失一部分热量,影响干燥效果。例如,第一次试验时,热空气经过卵石库,平均干燥速度为 0.286% / 小时;第二次试验时,取消卵石库,平均干燥速度增大至 0.47% / 小时。图 2 中的温度曲线也表明:有卵石库时谷温与热空气道中的热空气温度相差较大,谷物温度较低,影响干燥。所以,对于无辅助加热装置且在白天进行干燥的太阳能干燥仓,没有必要增设卵石库。但是,若夜间需要干燥,所设计的卵石库不但能贮热,也能回收辅助加热干燥时的废气余热,则增设卵石库有可取之处。

(三) 太阳能平板式集热器对空气加热能力

据夏、秋试验测定,太阳能平板式集热器对空气的加热能力如下:

1. 夏收试验:1982年夏,在平均热空气量为 $2,008 \sim 2,626 \text{米}^3$ / 小时的情况下,外界空气经集热器后,可使其平均温度由 $31.7^\circ \sim 34.1^\circ \text{C}$ 升高至 $41.5^\circ \sim 43^\circ \text{C}$,空气温度提高 $8.9^\circ \sim 9.8^\circ \text{C}$ 。而在每天的13时至15时,可使空气温度提高 $14^\circ \sim 15^\circ \text{C}$,热空气温度达 $48^\circ \sim 49^\circ \text{C}$ 。

1983年夏,集热器的吸热板改用黑色塑料薄膜,而热空气量增大至 $3,402 \sim 4,017 \text{米}^3$ / 小时,外界空气经集热器后按全天计算的平均升温仍达 7.3°C 。

外界空气与热空气温度随时间而变的情形如图3所示(1982年7月25日实测值)。

2. 秋收试验:在平均热空气量为 $2,521 \sim 3,140 \text{米}^3$ / 小时的情况下,外界空气经集热器后,可使其平均温度由 $18.2^\circ \sim 26^\circ \text{C}$ 升高至 $22.4^\circ \sim 31.9^\circ \text{C}$,空气温度

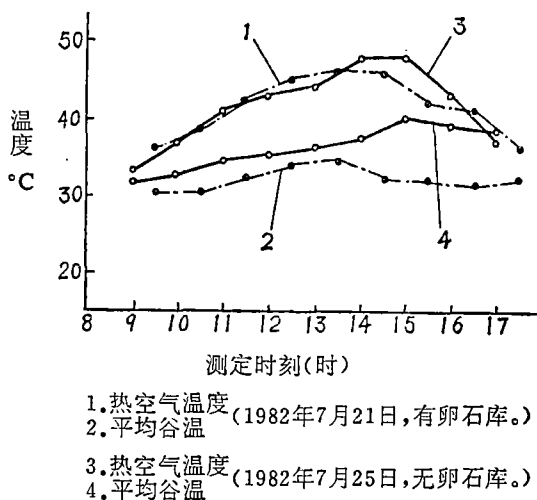


图2 热空气道中的热空气温度与平均谷温的关系

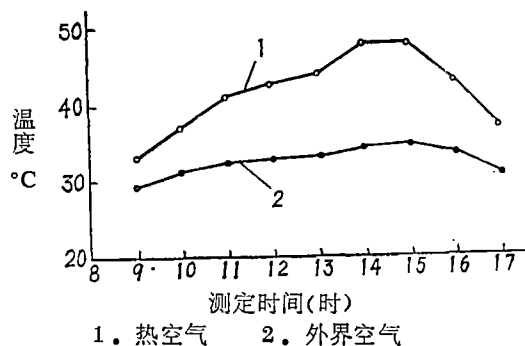


图3 空气温度变化(82年7月25日,晴)

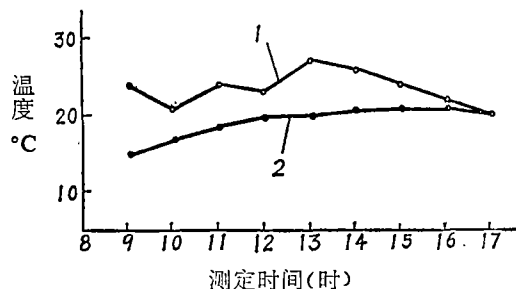


图4 空气温度变化(1982年12月1日,阴)

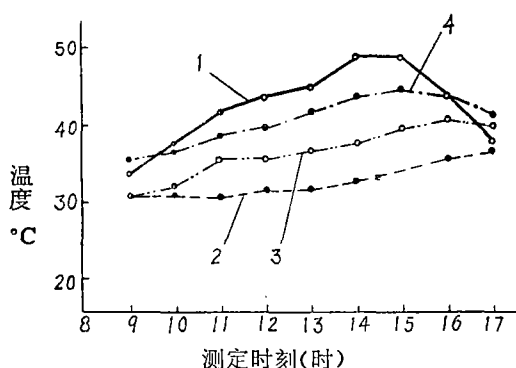
提高 $4.2^{\circ}\sim 5.9^{\circ}\text{C}$ ，而在 $13^{\circ}\sim 15^{\circ}\text{C}$ 时，可使空气温度提高 $11.7^{\circ}\sim 13^{\circ}\text{C}$ 。

秋收试验时外界空气与热空气温度随时间而变的情形如图4所示。

(四) 谷温变化

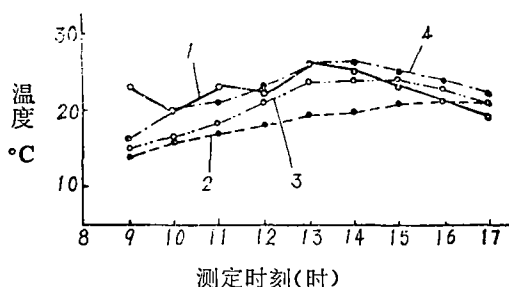
谷温的升高较慢，一般是每天14~15时达到最高温度，此后温度渐降，如图5、图6所示。

图5、图6表明：下午当热空气温度降低时，谷温升高缓慢；当热空气温度比谷温低时，谷物就处在降温干燥状态。



1.热空气 2.上层谷温 3.中层谷温 4.下层谷温

图5 热空气与谷物的温度变化(1983年7月25日)



1.热空气 2.上层谷温 3.中层谷温 4.下层谷温

图6 热空气与谷物的温度变化(1982年12月1日)

(五) 谷物含水率变化

由于穿过谷层的热空气量较小，热空气温度也较低，故含水率降低速度较慢，如图7、图8所示（图7的条件是：热空气平均温度为 41.5°C ，平均热空气量为 $3,363\text{米}^3/\text{小时}$ ，湿谷重量为2468.5公斤，谷床面积为 18米^2 。图8的条件是：热空气平均温度为 22.4°C ，平均热空气量为 $3,140\text{米}^3/\text{小时}$ ，湿谷重量为1,472公斤，谷床面积为 18米^2 ）。

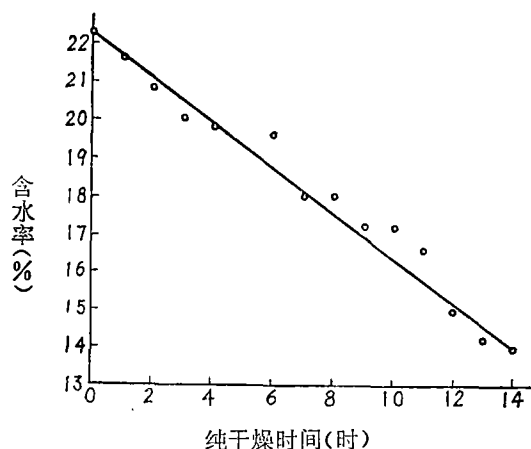


图7 谷物含水率变化(1983年7月12日~13日)

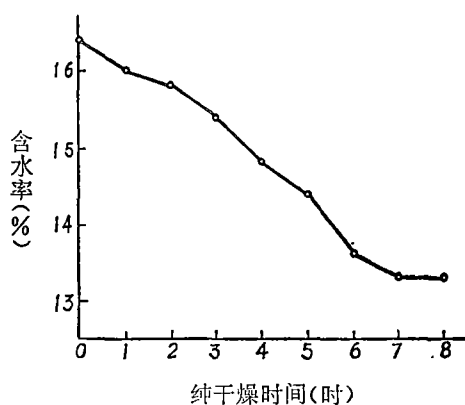


图8 谷物含水率变化(1982年12月1日)

(六) 单位热耗量 q_r

使谷物蒸发1公斤水所需的太阳辐射能称单位热耗量,以符号 q_r 表示,可用下式计算:

$$q_r = \frac{Q_f \tau_{ch}}{W_s} = \frac{Q_f \tau_{ch}}{G_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2}} \text{千卡/公斤水}$$

式中: Q_f ——实测的平均每小时投射到集热器透光面积(共42米²)上的太阳辐射能, 千卡/小时;

τ_{ch} ——纯干燥时间(即风机开动时间), 小时;

W_s ——从谷物中蒸发出来的水分重量, 公斤;

G_1 ——干燥前湿谷重量, 公斤;

ω_1 ——干燥前谷物含水率(湿基), %;

ω_2 ——干燥后谷物含水率(湿基), %。

1982年7月24~25日试验(以下简称1982年夏)时, $Q_f = 22831.2$ 千卡/小时, $\tau_{ch} = 16.17$ 小时, $\omega_1 = 20.6\%$, $\omega_2 = 13\%$, $G_1 = 2166$ 公斤, $W_s = 189.2$ 公斤, 则 q_r 为:

$$q_r = \frac{Q_f \tau_{ch}}{W_s} = \frac{22831.2 \times 16.17}{189.2} = 1951.3 \text{ (千卡/公斤水)}$$

1983年7月12~13日试验(以下简称1983年夏)时, $Q_f = 25092$ 千卡/小时, $\tau_{ch} = 14$ 小时, $\omega_1 = 22.3\%$, $\omega_2 = 14\%$, $G_1 = 2468.5$ 公斤, $W_s = 238.24$ 公斤, 则 q_r 为:

$$q_r = \frac{Q_f \tau_{ch}}{W_s} = \frac{25092 \times 14}{238.24} = 1474.5 \text{ (千卡/公斤水)}.$$

(七) 单位集热面除水能力

每日投向1米²集热面的太阳辐射能 Q_{fd} 可使谷物中的水分蒸发的数量称单位集热面除水能力, 以符号 W_{ds} 表示, 可用下式计算:

$$W_{ds} = \frac{Q_{fd}}{q_r} \text{公斤水/米}^2 \cdot \text{月}$$

Q_{fd} 按广州地区历年七月份气象资料的平均值为3873千卡/米²·日, 则 W_{ds} 为:

$$W_{ds} = \frac{3873}{1951.3} = 1.985 \text{ (公斤水/米}^2 \cdot \text{日) (1982年夏)}$$

$$W_{ds} = \frac{3873}{1474.5} = 2.627 \text{ (公斤水/米}^2 \cdot \text{日) (1983年夏)}$$

Q_{fd} 按我们夏收干燥试验期间晴天时所测的平均值为5000千卡/米²·日, 则 W_{ds} 为:

$$W_{ds} = \frac{5000}{1951.3} = 2.562 \text{ (公斤水/米}^2 \cdot \text{日) (1982年夏)}$$

$$W_{ds} = \frac{5000}{1474.5} = 3.39 \text{ (公斤水/米}^2 \cdot \text{日) (1983年夏)}$$

(八) 单位集热面生产能力

每日投向1米²集热面的太阳辐射能 Q_{fd} 所干燥的谷物(湿谷)的数量称单位集热面

生产能力, 以符号 G_{ds} 表示, 可用下式计算:

$$G_{ds} = \frac{Q_{fd} (100 - \omega_2)}{q_r (\omega_1 - \omega_2)} \text{ 公斤湿谷/米}^2 \cdot \text{日}$$

Q_{fd} 按广州地区历年七月份气象资料的平均值为 3873 千卡/米²·日, 则 G_{ds} 为

$$G_{ds} = \frac{3873 (100 - 13)}{1951.3 (20.6 - 13)} = 22.72 \text{ (公斤湿谷/米}^2 \cdot \text{日) (1982 年夏)}$$

$$G_{ds} = \frac{3873 (100 - 14)}{1474.5 (22.3 - 14)} = 27.22 \text{ (公斤湿谷/米}^2 \cdot \text{日) (1983 年夏)}$$

Q_{fd} 按我们夏收干燥试验期间晴天时所测的平均值为 5000 千卡/米²·日, 则 G_{ds} 为:

$$G_{ds} = \frac{5000 (100 - 13)}{1951.3 (20.6 - 13)} = 29.33 \text{ (公斤湿谷/米}^2 \cdot \text{日) (1982 年夏)}$$

$$G_{ds} = \frac{5000 (100 - 14)}{1474.5 (22.3 - 14)} = 35.14 \text{ (公斤湿谷/米}^2 \cdot \text{日) (1983 年夏)}$$

本干燥仓的集热面积为 42 米², 故夏天晴天时, 一天可干燥上述湿谷 1231.86 ~ 1475.88 公斤。

(九) 单位机械能耗量

干燥过程中除去谷物中蒸发的 1 公斤水所需的风机、输送装置等机械所消耗的能量称单位机械能耗量, 以符号 q_{ix} 表示, 可用下式计算:

$$q_{ix} = \frac{A_{ix}}{W_s} \text{ 度/公斤水}$$

式中: A_{ix} ——总干燥时间内机械能耗量, 度; 将夏收干燥试验时的 A_{ix} 、 W_s 代入上式则得:

$$q_{ix} = \frac{28.3}{189.2} = 0.15 \text{ (度/公斤水) (1982 年夏)}$$

$$q_{ix} = \frac{39.6}{238.24} = 0.166 \text{ (度/公斤水) (1983 年夏)}$$

(十) 太阳能干谷仓热效率

使谷物蒸发水分所需热量占投向集热面的太阳辐射能的百分率称太阳能干谷仓热效率, 以符号 η_r 表示, 可用下面近似公式计算:

$$\eta_r = \frac{600 W_s}{Q_f \tau_{ch}} \times 100\%$$

将夏收干燥试验时的 W_s 、 Q_f 、 τ_{ch} 代入上式则得

$$\eta_r = \frac{600 \times 189.2}{22831.2 \times 16.17} \times 100 = 30.75 (\%) \text{ (1982 年夏)}$$

$$\eta_r = \frac{600 \times 238.24}{25092 \times 14} \times 100 = 40.69 (\%) \text{ (1983 年夏)}$$

以上计算结果表明: 1983 年夏在改进太阳能集热器及更换风机后, 干燥效果明显地提高了, 仅单位机械能耗量稍有增加。因此, 合理地设计太阳能集热器及选用适当的风机十分重要。

四、结 束 语

经过试验, 我们所设计的具有 42 m^2 集热面积的太阳能干谷仓, 夏季在热风流量 $3,000\sim 4,000\text{ m}^3/\text{h}$ 的情况下可使热空气温度达到 $42^\circ\sim 49^\circ\text{C}$, 每天可使 1.4 吨含水率 $\omega_1 = 22.3\%$ 的湿谷干燥至入仓标准(含水率 $\omega_2 = 13\sim 14\%$)。若用晒场晒干上述谷物, 其晒场面积约比太阳能干谷仓集热面积大10倍。若在农村现有谷仓的基础上安装太阳能集热器、鼓风机、风道、谷床等设施, 其投资费约与建造同样干燥能力的晒场相当, 因此, 用太阳能干谷仓代替晒场, 是减少晒场占地面积的有效途径。

其次, 太阳能干谷仓不必燃烧煤、油、柴等商品能源, 使干燥费用减至很少; 由于干燥谷物的热空气一般在 44°C 左右, 最高不超过 49°C , 故干燥后的谷物品质很好, 色泽鲜黄, 发芽率高, 适用于谷物种籽干燥; 由于热空气洁净, 谷物不会增加污染, 也不会混入泥、沙、小石等杂物, 优于晒场; 由于谷物在仓内, 天雨时停机, 天晴时开机, 可避免晒场上的高温及繁重的劳动。

此外, 太阳能干谷仓除干燥谷物外, 还可干燥其他农副产品, 作综合利用。由于集热器内装有水管, 因此, 集热器除加热空气外, 还可加热水。此热水一则供洗澡之用, 也可和热空气一起兼作育秧、冬季育蘑菇、蔬菜苗、甘蔗苗、花苗等。因此, 太阳能干谷仓是农村中很有希望的干燥设施和综合利用设施。

参 考 文 献

- [1] 广东省气象局, 广东省气象资料, 1977。
- [2] 吉林省建筑设计院, 1979, 《建筑日照设计》, 中国建筑工业出版社。
- [3] 冷长庚编, 1977, 《太阳能及其利用》, 30—50, 科学出版社。
- [4] 潘家修等, 1982, 利用太阳能作谷物干燥新能源的研究, 《福建农机》, (1)
- [5] A. AM. Sayigh: Solar Energy Engineering(Academic Press)1977.
- [6] J. F. Kieider F. Kreith: Solar Heating and Cooling Engineering, Practical Design and Economics(Mcgraw Hill Book Company Hemisphere Publishing Corporation)1977.
- [7] Ralph M. Lebens: Passive Solar Heating Design(Applied Science Publishers Ltd) 1980.
- [8] S. V. Szokolay: Solar Energy and Building (The Achitectural Press, Halsied press John Wiley and sons) 1978.
- [9] W. A. Beckman, S. A. Klein J. A. Duffie: Solar Heating Design (John Wiley and sons) 1977.

STUDIES ON THE SOLAR GRAIN BIN DRYER

Department of Agricultural Machinery *

ABSTRACT

A solar grain bin dryer with aluminum flat plate air-water collectors (42M^2), perforated floor (18M^2), plenum and air duct, and low pressure axial flow fan is designed in place of sunny ground.

In the summer and autumn harvest (1982 and 1983), this solar grain bin dryer was tested with nice performance and the best economical effect. It could dry 1.4 tons of paddy rice from an initial moisture of 22.6% to a final storage moisture of 13-14% in one day of 8—9 sunny hours. The area of its solar collectors is only about 10% that of the sunny ground to give equal drying capacity. Its drying cost is cheaper than the conventional grain dryers in which the high cost fossile fuel such as coal, oil and electricity are used. This solar grain bin dryer may be used for drying other crops.

The performance of the solar grain bin dryer and some of its parameters such as air temperature rising, rice temperature and moisture variation, unit heat consumption and energy consumption, unit drying capacity of rice and unit moisture drying are analysed in this paper.

*Members of the grain dryer research group:

Shao Yaojian Liu Daobei Xiao Junming Zheng Guanqi

Whang Yude Chen Yubai Wei Yuching Chen Jiali