

挤压(膨化)食品/饲料的 水分控制¹

EXTRUDED FOOD/FEED MOISTURE CONTROL

熊易强 博士，美国大豆协会饲料技术主任

摘 要

根据一个关于平衡水分和霉菌发展的试验观察，确定一家美国宠物饲料厂产品的周年安全储藏水分应当是 11%。最终产品水分的变异系数，在手工操作时根据 3 个数据来源分别为：9.2%（根据 3 个间隔 30min 24h 现场取样水分测定结果），15.4%（根据 1 种产品的全年水分分析结果）和 11.4%（根据 10 种产品两个月的水分分析结果）。在水分自动化控制系统中，最终产品水分的变异系数按 2 个数据来源分别为：2.2%（根据该控制系统 10 周的水分读数）和 1.8%（根据间隔 15min 7h 现场取样水分测定结果）。为保证 97% 以上的产品不超过安全水分 11%，在手工操作时设置的目标水分是 8.5%；在自动控制系统中设置的目标水分是 10.5%；但每次开机运行的最初 45min 是手工操作，这时目标水分设置为 9.0%。在环境控制室反复进行的试验表明，塑料（聚丙烯）衬里的袋子在潮湿（或干燥）条件下吸收水分（或解吸水分）比纸袋明显较少。将多达 22.7kg 的宠物饲料产品装在塑料衬里袋子中从 38⁰C 转到 21⁰C，未发现任何水分转移-凝结现象。作者推荐在产品运输和储藏中使用塑料衬里袋控制产品水分变异，其效果优于纸袋。

¹ 此文是作者在美国一家公司从事饲料科技开发工作中未发表的研究报告(1993)，现经美国大豆协会组织翻译发表（单行本编号 FE1-2001）。希望这些科研结果能给同行们提供有用的资料；更希望在如何使科研服务于生产（或者说如何在生产中推进学科发展）这个老话题上与大家交流。

前 言

水分控制是宠物饲料品质保证的一个最重要项目。一家美国宠物饲料厂的产品营养成分分析表明，水分含量的周年变异系数（CV）最大（Xiong，1990b）。水分过高即导致生霉，在宠物饲料工业部门这已成为雇客投诉最多的问题。水分过低会影响饲料口味并造成过大的重量损失。以该厂当时的宠物饲料年销售量计算，1个百分点的水分或重量差异意味着一年15万美元的净收益或净损失。为了更好地控制宠物饲料水分，我们应当做三件事：第一是确定安全储藏水分，第二是减少产品打包时的水分变异，第三是选择适合的包装材料和方法，将储藏中的水分变化减到最小。

安全储藏水分的含意是霉菌不能生长的最高水分，高于这水分某些霉菌即开始生长。霉菌是生长水分要求最低的微生物，也就是谷物腐败过程中发展最早的微生物。如果温度适宜且养分充足，霉菌和其他微生物是否生长取决于水活度或环境的相对湿度（relative humidity，简写RH）。研究资料表明，水活度高于0.7-0.75或RH大于70-75%，有些霉菌就会开始生长。实践中将一种产品的安全水分设定为与70%RH或0.7水活度相平衡的水分。在同一个水活度或RH上，不同的产品由于其化学成分和结构不同，达到水分平衡时的产品水分可能不同（Christensen and Meronuck，1986）。由于最终产品的水分变异是不可避免的，应将宠物饲料生产中的目标水分设定在低于安全水分的数值，以保证产品水分在安全水分之下。水分变异越大，设定的目标水分应越低。在自动控制系统中产品的水分变异比用传统的手工控制系统要小得多。因此1991年秋在该宠物饲料厂的宠物饲料生产线上设置了一个烘干机控制系统，即Dantec系统。

产品储藏中的水分变化有水分吸收（absorption）、水分解吸（desorption）和水分转移（migration）。这些变化的程度不仅受环境温度和湿度影响，还受储藏物的包装材料/方法以及货堆大小的影响。该厂大部分宠物饲料一向用纸袋包装，包重2.7kg（5磅）-27kg（50磅）。为了对付可能因水分解吸而丢失重量的问题，打包时袋里多加1%产品。1990年夏发现该厂成品仓内用塑料布覆盖的货盘（为便于叉车搬运，在1块底托上堆码若干包饲料为1货盘），全部纸袋包装的宠物饲料因水分转移而生霉（Xiong，1990a）。靠近塑料布下的产品严重生霉，水分为12.4%；而货盘中心未见生霉，水分为6.0%。打包时产品温度是35⁰C，当时仓内室温30⁰C，清晨可能低到21⁰C。

本项关于宠物饲料水分控制的研究包括两阶段。第一阶段先是通过一个平衡水分研究确定该厂宠物饲料的安全储藏水分，再现场调查该厂宠物生产线在有/无烘干机 Dantec 控制系统情况下的水分变异情况。第二阶段用不同的包装材料和方法进行宠物饲料在不同温湿度下储藏的研究。

第一阶段 安全储藏水分和目标水分

试验 1 宠物饲料的平衡水分

目的：根据宠物饲料在不同相对湿度（RH）的平衡水分确定其安全储藏水分。

试验步骤：本试验使用了 6 种宠物饲料产品，其脂肪含量在 9.2% 至 17.4% (干基) 范围, 蛋白质在 20.7% 至 38.7% (干基) 范围 (表 1)。测定平衡水分采用经典的饱和盐法 (Young, 1967)。将 6 种宠物饲料产品以每份 250g 分装在双层纱布小袋里，放进 6 个盛有不同饱和盐溶液从而保持不同 RH (表 2) 的干燥器内。干燥器保持 38⁰C。总共 36 个小袋，即 36 个处理。每 2 周进行一次小袋称重并观察有无生霉迹象。到重量变化小到可忽略不计时，表示已达水分平衡，随即用 100⁰C 24h 烘箱干燥法测定每个处理 (小袋) 的水分。所得结果即为每种产品在 38⁰C 不同湿度下的平衡水分。

表 1 宠物饲料产品的成分分析 (%干基)

产品	脂肪	蛋白质	灰分
A	9.15	24.43	9.56
B	9.63	20.74	9.56
C	10.89	36.82	6.60
D	11.71	30.89	10.71
E	14.13	29.12	9.15
F	17.38	38.74	8.64

表 2 保持不同相对湿度的饱和盐溶液

盐溶液	38 下 RH%
硝酸镁	50
一氯化三钠	62
乙酸钠	68
硝酸钠	71
氯化钠	75
硫酸铵	80

引自 Young, 1967

结果与讨论：达到水分平衡时，36 个处理（小袋）有 34 个增加了重量，2 个略微减重。这说明，本试验所得的平衡水分数据多数是吸湿型的（Hall, 1971）。停止重量变化（即达到水分平衡）是在放置 6 周之后。作为示例，图 1 表示了一种产品（特种狗饲料）在 RH 50%、68%、75%、80% 下的重量变化。所有小袋的最终重量都是在放置 10 周时称量的；测定的每个处理的水分即为各种宠物饲料产品在 38 不同 RH 下的平衡水分（表 3）。

表 3 各种宠物饲料产品在 38 下的平衡水分（%）

宠物饲料产品	相对湿度（%）					
	50	62	68	71	75	80
A	7.65	9.15	10.15	10.95	11.80	13.65
B	6.80	8.75	9.70	11.65	12.20	13.90
C	7.85	9.35	10.30	11.20	12.00	13.30
D	7.70	9.35	10.55	10.85	12.30	14.45
E	8.70	10.05	10.80	11.45	11.85	14.50
F	7.55	9.15	10.15	10.80	11.65	13.65

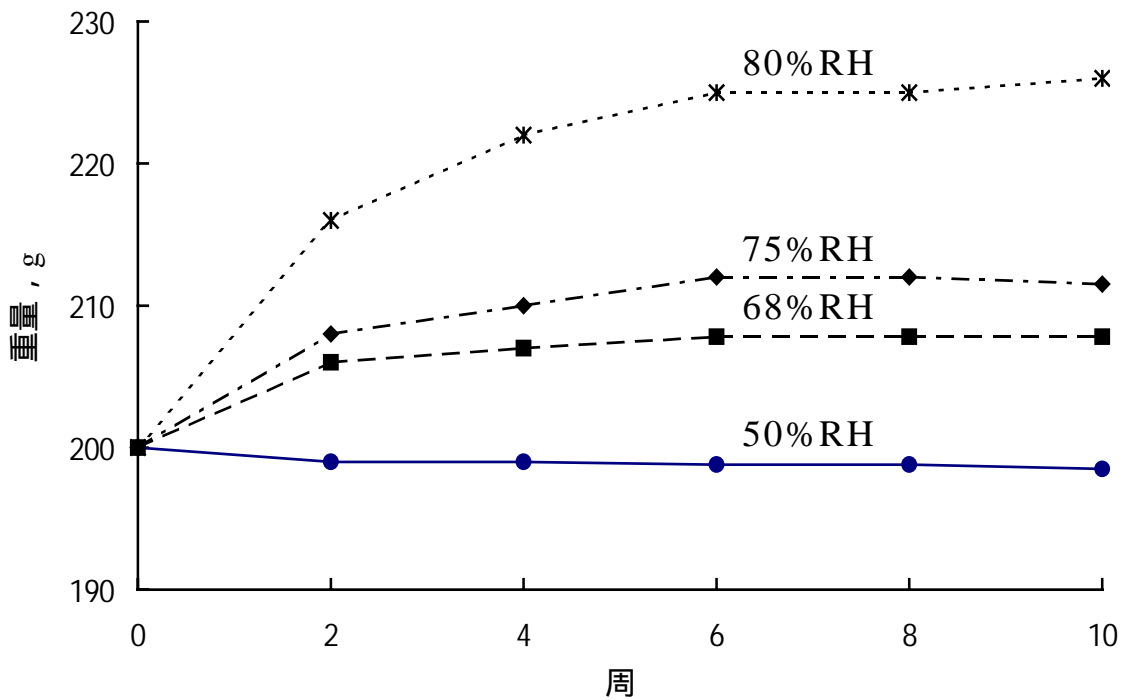


图 1 特种狗饲料在不同相对湿度下的重量变化

在 80%RH 条件下，所有产品都生霉，而在低于 71%RH 10 周观察期内无一出现生霉迹象。在 75%RH 放置 10 周后，一种产品发现一截白丝可能是菌丝（未作镜检验证）。以上结果证实了文献关于生霉的临界水活度或 RH 的报道（Post，1976）。据此我们将与 71%RH 相平衡的水分设定为宠物饲料的安全储藏水分。尽管这 6 个产品在脂肪和蛋白质含量上分布相当宽（表 1），但在一定的 RH 下所达到的平衡水分相当接近。这或许是因为制定饲料配方的共同之处都是让能量-脂肪（疏水的）与蛋白质（亲水的）相匹配。为实际应用，将该公司所有的宠物饲料产品的安全储藏水分都设定为 11% 可能是恰当的。由于在 71%RH 下是通过吸水达到平衡水分的，这比通过解吸达到的平衡水分要低（Tsami 等，1990），所以推荐的安全储藏水分（11%）是留有余地的。这里还应指出，表 3 所列 80%RH 的平衡水分数值可能偏高，因为 80%RH 下的产品都严重生霉而使湿度提高（Hall，1971）。

试验 2 最终产品水分变异和目标水分

目的：测定宠物饲料产品在手工控制系统和 Dantec 控制系统中的水分变异，为推荐宠物饲料 QC 中的目标水分提供依据。

试验步骤：在安装 Dantec 控制系统之前，进行了三次单一产品全生产过

程（最长达 24 小时）每间隔 3min 的连续取样。在打包前料仓出口下取样，随即装入塑料瓶密封，用 100⁰C 24 h 烘箱干燥法测定水分，以水分测定结果计算平均值、标准差和变异系数（CV）。安装 Dantec 控制系统后，在该厂实验室用微量水分测定予以校正，从水分传感器读数得出平均水分和标准差。另外还进行了 7h 的间隔 15min 的取样，进行 100⁰C24h 烘箱水分测定，用以核对 Dantec 读数。

结果与讨论：手工控制系统下三次 24h 取样的测定平均值、标准差和 CV 及其加权平均(以后简称平均)的 CV 列入表 4。图 2 表示第一次 24h 取样的产品水分变化。

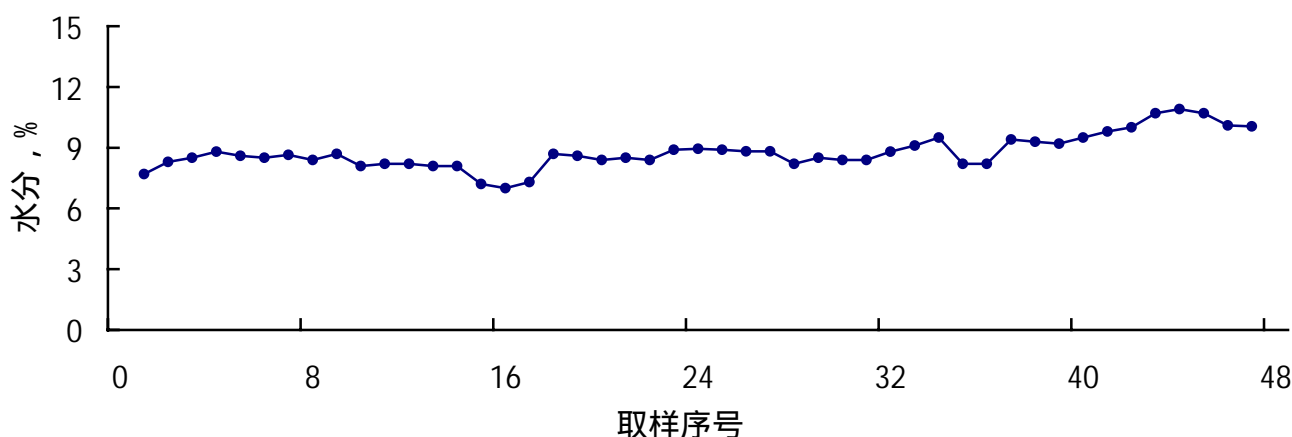


图 2 手工控制系统下产品的水分变化

表 4 手工控制系统下水分日变化统计数据

统计	测定日期			加权平均 CV
	3/28	5/02	5/20	
水分平均值 (%)	8.8	9.0	9.7	9.2
标准差 (%)	0.90	0.55	0.91	0.85
变异系数(CV, %)	10.2	6.1	9.4	9.2

上述三次 24 小时取样的平均 CV 值(9.2%)可能比手工控制下的实际 CV

要低，因为操作员知道有人在进行每隔 30min 的取样监测。据此可将 9.2% 看作是手工控制系统下的最低变异。1990 财政年度该厂实验室对“家庭型”宠物饲料进行周年水分测定 (n = 51) 得出的 CV 值是 15.4% (Xiong,1990b)。1991 年 10 月 11 日至 12 月 7 日该实验室对 10 种产品进行水分测定 (n=140) 得出的 CV 值是 11.4% (Hughes and Mahan, 1992)。假定在一定的生产条件下水分变化呈正态分布，并有一个共同 CV 值，按照定义，标准差 (s) 应是 CV 的函数，即， $s=M \times CV\%$ 。如果将本试验得出的平均 CV9.2% 作为总体 CV 的无偏估计值，并将目标水分设定在保证 97% 的最终产品低于安全水分或最大允许水分 (11%) 的水平，则目标水分 (TGTS) 可由下列联立方程式求得：

$$TGTM + 2s = 11.0\% \text{ - - - - - (1)}$$

$$s/TGTM = 9.2\% \text{ - - - - - (2)}$$

于是，

$$\begin{aligned} TGTM &= 11.0\% - 2(TGTM) 9.2\% \\ &= (11.0\%) / (1.184) \\ &= 9.3\% \end{aligned}$$

由此得出目标水分为 9.3%，其 95% 概率的置信区间应是 7.6%-11.0%。前面谈到，这应是手工控制系统下可期望的最好结果。按同样的数学方法，用上述“家庭型”宠物饲料周年 CV 值 15.4% 和 1990/10/11 至 1990/12/7 的 10 种产品 CV 值 11.4% 计算，则目标水分应分别是 8.4% 和 8.9%。该宠物饲料厂采用 Dantec 控制系统之前实际设定的目标水分是 8.0% - 8.5%。Dantec 系统连续性地每秒至少测定产品水分三次，每 5 至 10 分钟打印一次测定结果，并对自动控制及手工控制的每个班次和每周的平均值、标准差给出报告。根据 1991 年 12 月至 1992 年 6 月期间 21 份 Dantec 周报，在自动控制下该系统的平均值、标准误 (s) 和 CV 分别是 8.8%、0.30% 和 3.4%；同期在手工控制下则分别是 8.1%、1.16% 和 14.3%。将烘干机作了一些细微调整之后（包括提高带速、减低产品厚度、在更换产品或停车时事先转为手工控制），上述统计指标即有所改善，据 1992 年 9 月至 12 月的 10 份 Dantec 周报，自动控制为 9.7%（平均值）、0.21% (s)、2.2% (CV)，手工控制为 9.5% (平均值)、1.00% (s)、10.5% (CV) (表 5)。这证实了自动控制系统的优越性。

表 5 自动控制与手工控制下 Dantec 水分读数 (%)

期 间	自 动 控 制			手 工 控 制		
	平均	s*	CV	平均	s*	CV
1991/12-1992/6**	8.8	0.30	3.0	8.1	1.16	14.0
1992/9-12***	9.7	0.21	2.2	9.5	1.00	10.5

* s = 标准差

** 21 份周平均值的平均值

*** 10 份周平均值的平均值

表 5 所示统计数据不是最终产品水分，而是烘干机出机时的产品水分，该产品在打包前还要喷涂液体增味剂 (digest) 和油脂，并经过冷却。为了获得打包时最终产品的水分统计数据，当该系统处于自动控制时，在打包处采集了 38 个样品(15 min 间隔)进行水分测定，平均水分为 9.5%，标准差 0.17% (图 3)，CV 值 1.8%；同一期间，Dantec 感应器得出的平均水分也是 9.5%，标准差为 0.22%，CV 值 2.3%。这表明，在该厂生产条件下 Dantec 平均读数与打包时的最终产品水分基本一致，打包时的水分变异低于烘干机出机水分变异。烘干后的冷却和打包前的料仓暂存可能会使产品水分更趋平衡而进一步降低水分变异。

如将 CV 值定为 2.0%，运用本文前面列出的变异公式，在 Dantec 自动控制系统下的目标水分应设定为 10.8%。据此该饲料厂实际的目标水分起初设定为 10.0%，后来设定为 10.5%。就是说，在自动控制系统下目标水分比手工操作(目标水分 8.5%)至少提高了 2 个百分点。

在 Dantec 系统下，每次生产运行的初始和末尾仍须使用手工控制。起动烘干作业时，要用 30 分钟让产品通过烘干机到达感应器，还要用 15 分钟让感应器预热。为使该系统正确“记忆”烘干机作业参数(区域温度、产品厚度、传送带速等)，必须在最后 30-45 分钟将该系统转为手工控制。这里必须回答一个问题，就是在每次生产运行的初期和末尾当 Dantec 系统处于手工控制时，目标水分应是多少。进行本试验的饲料厂在自动控制和手工控制时的

目标水分都设为 10.5%，据我们测试，Dantec 下手工控制时的最佳读数统计是 CV 值 10.5%（表 5），个别水分读数（尽管是瞬间）超过 11.5%。但是，根据 1992 年 12 月对三种产品在打包时采集 39 个样品（2h 取样间隔，应包括了自动和手工作业）进行水分测定的结果，其平均值、标准差和 CV 分别是 10.5%、0.27% 和 2.6%，没有一次测定超过 11.0% (Terry Shorter, 1993 年 1 月，未发表资料)。上述 Dantac 读数与 39 个样品实测结果之间的差别可能出于以下两种情况：1) 烘后作业（打包前的增味剂-油脂喷涂、冷却和暂存）可能已使产品水分进一步平衡；2) 2h 间隔取样可能漏过了某些高水分“窝点”。如果是第二种情况，就可能存在一种危险，即有较高百分率的产品包的水分超过安全储藏水分 11.0%。为了安全起见，建议在每次生产运行初始的手工控制时将 Dantec 读数的目标水分定为 9.0%。如在打包时更勤地取样（最好 15min 间隔）测定水分，有足够的证据表明每次生产运行初始 15 分钟的 CV 值相应降低，则可将此目标水分提高到 9.5% 或 10.0%。在一次生产运行的末尾从自动转为手工时，仍可用 10.5% 这一目标水分，因为这段时间内作业参数均未改变，只是从自动转成了手工。

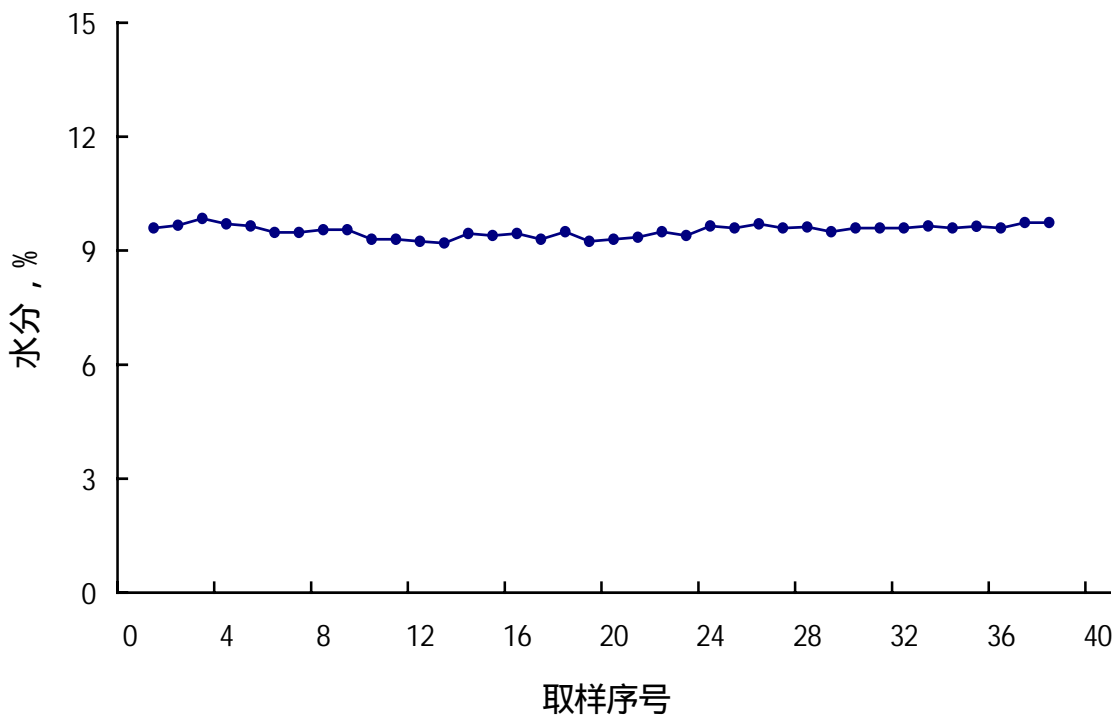


图 3 自动控制下的产品水分变化

第二阶段 包装材料试验

为了解不同包装料对储藏时水分吸收、解吸及水分转移的影响，在这阶段做了 4 个试验。

试验 1

将特种狗饲料 (2.27kg) 装进纸袋，事先在 38⁰C/60%RH 下储藏令其达到吸湿平衡，水分达 8.8%。然后按 2 × 3 因子安排试验，即 3 个包装材料 - 方法，2 个储藏条件。3 个包装材料 - 方法是：1) 每个 2.27kg 纸袋套一个塑料袋(PL1/1)；2) 每 8 个 2.27kg 纸袋套一个塑料袋 (PL8/1)；3) 2.27kg 纸袋 (对照)。储藏条件有：1) 50%RH/20⁰C ；2) 80%RH/38⁰C。经 1 个月储藏后测定每个处理的水分。结果列于表 6。

纸袋包装的产品 (对照)，储藏 1 个月后，在 50%RH/20⁰C 下水分下降 1 个多百分点(从 8.8%降到 7.7%)，在 80%RH/38⁰C 下水分增加 4 个百分点(从 8.8%升至 13.0%) 并且生霉。加塑料包装的产品 (PL1/1 和 PL8/1) 则不一样，在两种储藏条件下水分变化都小得多。这证明了塑料包装在防止水分吸收/解吸方面优于纸袋。

对塑料包装的主要担心，是当包装产品从暖处转移到冷处时可能发生水分转移/凝结。为此，将装有特级狗饲料的纸袋(容量 2.27kg)包装产品套上塑料袋，如同 PL1/1 和 PL8/1，都放在 50%RH/21⁰C 下储藏 2 周，然后在外层 (靠近包装材料处) 和中心取样测定水分。

表 6 不同条件下包装材料对宠物饲料水分变化的影响

包装材料	初始水分 (%)	一 个 月 储 藏 后 的 水 分 (%)	
		20 ⁰ C /50%RH	38 ⁰ C /80%RH
PL1/1*	8.8	8.7	9.5
PL8/1*	8.8	8.4	9.3
对照*	8.8	7.7	13.0(生霉)

* PL1/1，每个 2.27kg 纸袋套一个塑料袋；PL8/1，每 8 个 2.27kg 纸袋套一个塑料袋；对照，2.27kg 纸袋。

如表 7 所列，无论是 2.27kg(PL1/1) 或是 18.16 kg(PL8/1) 塑料包装的产品，均未发现水分转移 - 凝结；而纸袋包装的对照在干燥条件下 (RH 是 50% 而不是 78%) 又丢失不少水分。联系前面提到某饲料厂仓库发生水分转移 - 凝结以致宠物饲料生霉的事故，产品温度与仓温之差最大达 14⁰C (35⁰C-21⁰C)。本试验设定的温差是 17⁰C (38⁰C-21⁰C)，却未见水分转移 - 凝结。出现这个差别的原因在于可以产生水分转移的货盘大小。上述某饲料厂仓库的情况是，产品用纸袋包装，罩在一张塑料布下，该底托上全部饲料处于可能产生水分转移的范围之内。水分从货盘中部 (暖处) 通过纸袋转移，并凝结在货盘的塑料布上 (此处温度接近仓温)。而本试验的情况是，水分只在 2.27kg 或 18.16kg 套上塑料的纸袋内部转移，塑料衬里防止了水分进一步转移，而 2.27kg 或 18.16kg 产品很容易达到温度、水分平衡。

表 7 不同材料包装的产品从 38⁰C/85%RH 转移到 21⁰C/50%RH 后的水分变化

包装材料和 方法	初始水分 (%)	从 38 ⁰ C/85%RH 转移到 21 ⁰ C/50%RH 2 周后的水分 (%)	
		外层	中部
PL1/1*	12.5	12.4	12.2
PL8/1*	12.5	11.9	12.2
对照*	12.5	10.0	9.6

* PL1/1，每个 2.27kg 纸袋套一个塑料袋；PL8/1，每 8 个 2.27kg 纸袋套一个塑料袋；对照，2.27kg 纸袋。

试验 2

本试验是让产品水分进一步干燥，看能否使现有材料包装的饲料的水分吸收延缓到来不及生霉的程度。

将初始水分为 9% 约 450kg 的特种狗饲料运到某公司饲料厂。令其一半进一步干燥到水分 7%。然后将两种水分的同一产品用纸袋(容量 2.27kg)包装，在环境控制室内两层架子上存放 6 周，其所处温湿度分别为 38⁰C/70%RH(上层，离地面 107cm)与 36 /76%RH(下层，离地面 25cm)。这样的温湿度梯

度能代表通风不良库房的情况。在存放的第 7、14、21、28、35 和 42 天，至少打开两个袋子检查是否生霉并测定水分。

如图 4、图 5 所示，头两周特别是第一周水分很快上升，初始水分低的处理（7%）吸水更快。放在下层的两种水分处理（7%和 9%）在第 21 天开始发现生霉，此时水分均约为 11.5%，后来稳定在 12%左右。放在上层的在 6 周期间均未见生霉，水分在 11.0%以下。

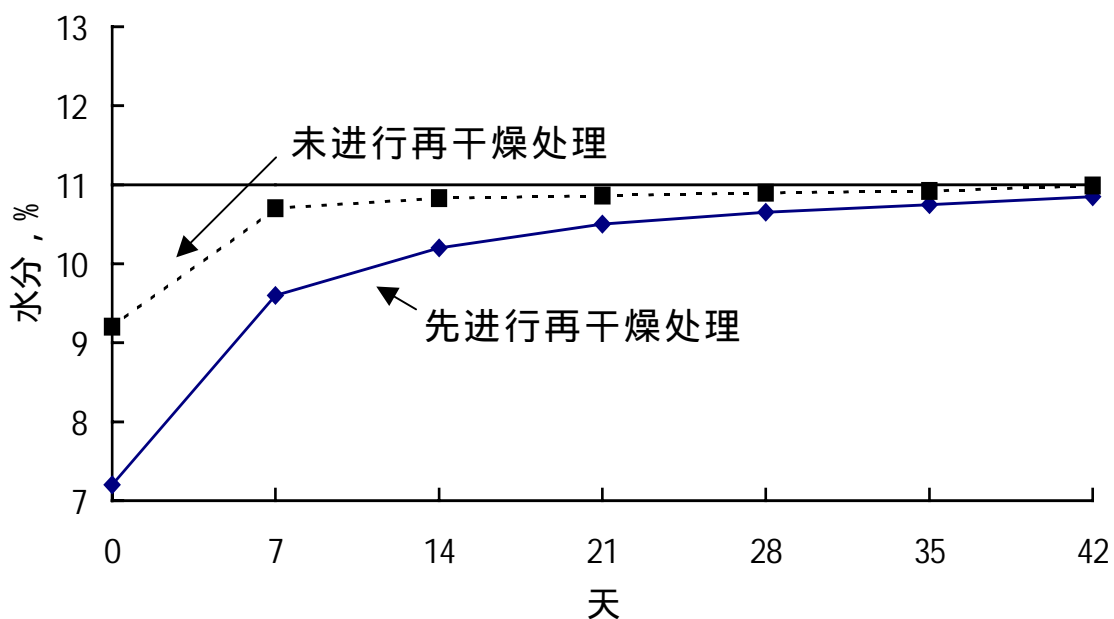


图 4 2.27Kg 纸袋包装宠物饲料在 38 °C /70%RH 下的吸水情况

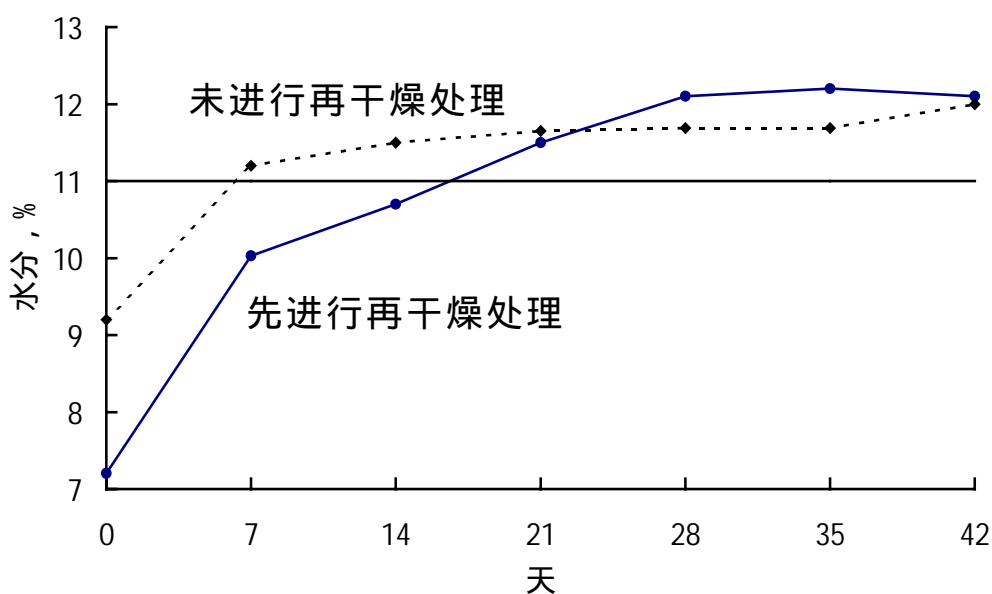


图 5 2.27Kg 纸袋包装宠物饲料在 36 °C /76%RH 下的吸水情况

以上结果表明，纸袋包装的产品吸水很快，在高温高湿条件下 3 周即会生霉。使用纸袋包装，将产品水分进一步降低 2 个百分点在高温高湿条件下存放并不能推迟霉变，进一步干燥还会加大烘干费用和重量损失。放在上层的水分低于 11.0% 的产品未见任何生霉迹象，而放在下层的产品在水分达到 12% 时即开始生霉，这一事实支持我们前述结果，即该公司的宠物饲料产品安全储藏水分应定为 11.0%。

试验 3

本试验是在美国一家包装器材公司（Stone Container）的技术服务实验室进行的，目的是对该公司的 75 号聚丙烯（PL）衬里袋与 15.9kg 强度防油纸衬里袋（PB）作一比较，在高温高湿条件下比较其水分吸收、转移/凝结和霉菌发展情况。用 11.35kg（25lb）和 22.7kg(50lb)容量的 PL 和 PB 袋包装一种狗饲料，放在温湿度为 38⁰C/90%RH 的环境控制室内，在第 0、7、14、21、28 和 35 天，称取每袋重量，每个处理开启 1 袋肉眼检查有无生霉迹象。PB 包装，第 14 天发现生霉，随后霉菌严重发展。PL 包装，35 天前未见生霉，第 35 天才轻微生霉（表 8）。鉴于 11.3kg 袋和 22.6kg 袋在重量变化上趋势一致，袋子大小与包装材料之间亦无互作效应，故将两种容量袋子的重量变化数据合并（图 6）。28 天内，PB 重量增加 4.8%，而 PL 仅增 0.4%。PB 在第

表 8 不同材料包装的狗饲料在 38⁰C、90%RH 下生霉的情况

包装材料	包装大小 (kg)	生 霉 程 度*			
		14 天	21 天	23 天	35 天
PB**	11.3	++	++	+++	+++
PB**	22.6	++	+++	+++	+++
PL**	11.3	-	-	-	(+)
PL**	22.6	-	-	-	+

* +++ 严重生霉； ++ 中度生霉； + 轻微生霉； (+) 极轻微生霉

** PB，纸袋； PL，聚丙烯衬里袋

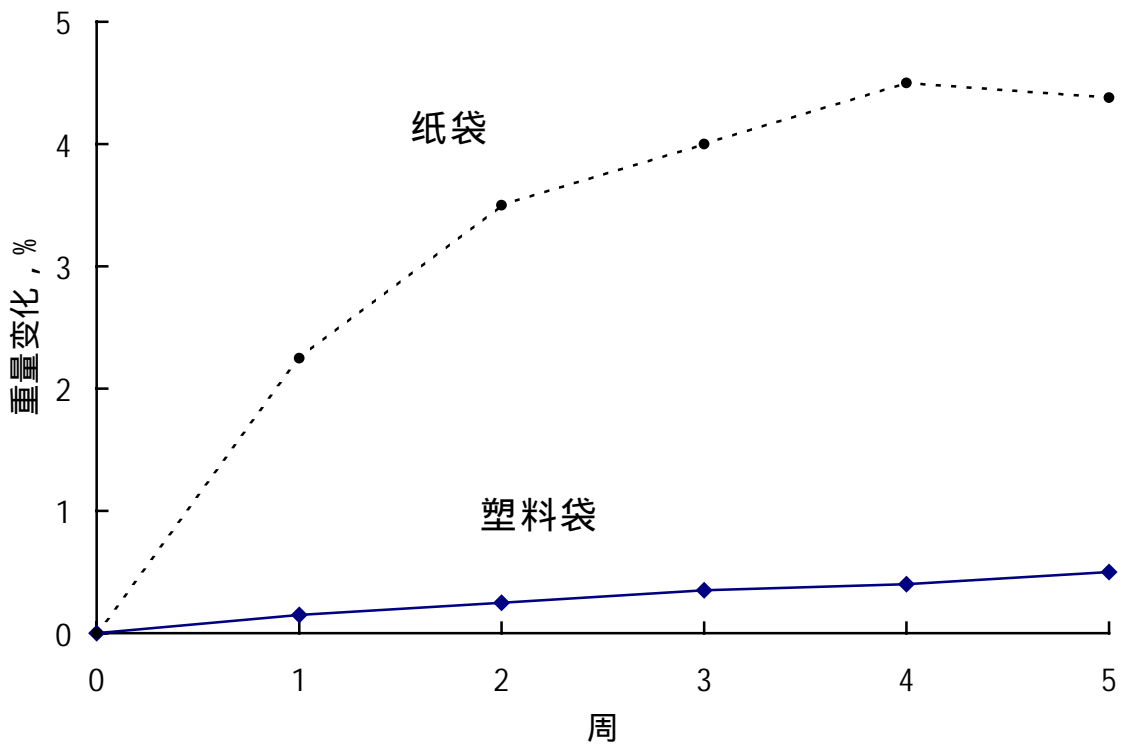


图 6 不同材料包装的狗饲料在 38 °C /90%RH 下的重量变化

表 9 聚丙烯衬里袋包装的宠物饲料从 38°C /90%RH 转到 23°C /50%RH 后的水分变化 (%)

包装大小 (kg)	转移后天数	外层	中部
11.3	0	8.7	8.7
	7	8.9	8.9
	14	8.9	8.7
	21	8.6	8.7
22.6	0	8.7	8.7
	7	8.9	8.7
	14	8.8	8.7
	21	8.7	8.7

14 天靠近防油层的纸上看出油迹，而 PL 未见任何油迹。这表明，聚丙烯实际上比防油衬里更加“防油”。PL 的唯一缺点是 75 号聚丙烯衬里的韧性不及 15.9kg 防油纸（与 Stone container 公司技术人员私人对话）。

到第 14 天，11.35kg 和 22.7kg 容量的 PL 袋各取 4 个袋子从 38⁰C/90%RH 控制室转移到 23⁰C/50%RH 控制室。第 14、21、28、35 天（即改变储藏条件后的第 0、7、14、21 天），从每种容量袋装的外层和中部取样测定水分。结果表明，PL 袋从 38⁰C 转到 23⁰C 后，未见水分转移/凝结（表 9），这与试验 1 结果相符。

试验 4

本试验进一步评价聚丙烯衬里袋在中度湿热条件下的水分吸收-解吸和转移/凝结特性。用 22.7kg 容量的 PB 和 PL 袋包装水分 9.3% 的特种狗饲料，存放在环境控制室内，条件定为 38⁰C/76%RH。在 0 至 90 天之间称量袋子重量。第 0、32、54、90 天从 PB 与 PL 中各打开一个袋子查看有无生霉迹象并取样测定水分。到第 90 天，储藏条件重调为 38⁰C/40%RH，在第 120 和 152 天称重并取样测定水分。

图 7 和图 8 表示了 PB 和 PL 在 0 至 152 天的重量和水分变化。数据显示的趋势与试验 3 相似（尽管因湿度 76%RH 低于 90%RH 而变化趋势缓和一些），即，在湿热条件下（从 0 至 90 天）PB 的重量和水分增加大于 PL，并在第 90 天发现生霉。联系到试验 2，2.27kg 容量袋包装的产品在同样条件下第 21 天生霉。这生霉早晚的差别可能在于 PB 的 16kg 防油衬里较好（不是很好）的防水特性。PL 在 90 天高温高湿贮藏期间，重量和水分增加很少，也未见生霉。在失水情况时，PB 的重量和水分丢失比 PL 快。考虑到连续 38⁰C/40%RH 是一种过度失水的条件，而且 PL 袋在试验中反复搬运称重也可能漏气，在正常运输储藏条件下的重量、水分丢失会更少一些。如使用聚丙烯衬里袋，就没有必要在打包时加量 1% 防备运输储藏中的重量丢失。

第 152 天，将 4 个 PL 袋转移到 21⁰C/50%RH 控制室，在第 159 和 166 天（即转移后第 7 和 14 天）从袋子外层（靠近袋子衬里）和中部取样测定水分。如表 10 所示，结果再次表明，22.7kg 容量的塑料（聚丙烯）衬里袋包装的产品从 38⁰C 转移到 21⁰C，未见水分转移/凝结。

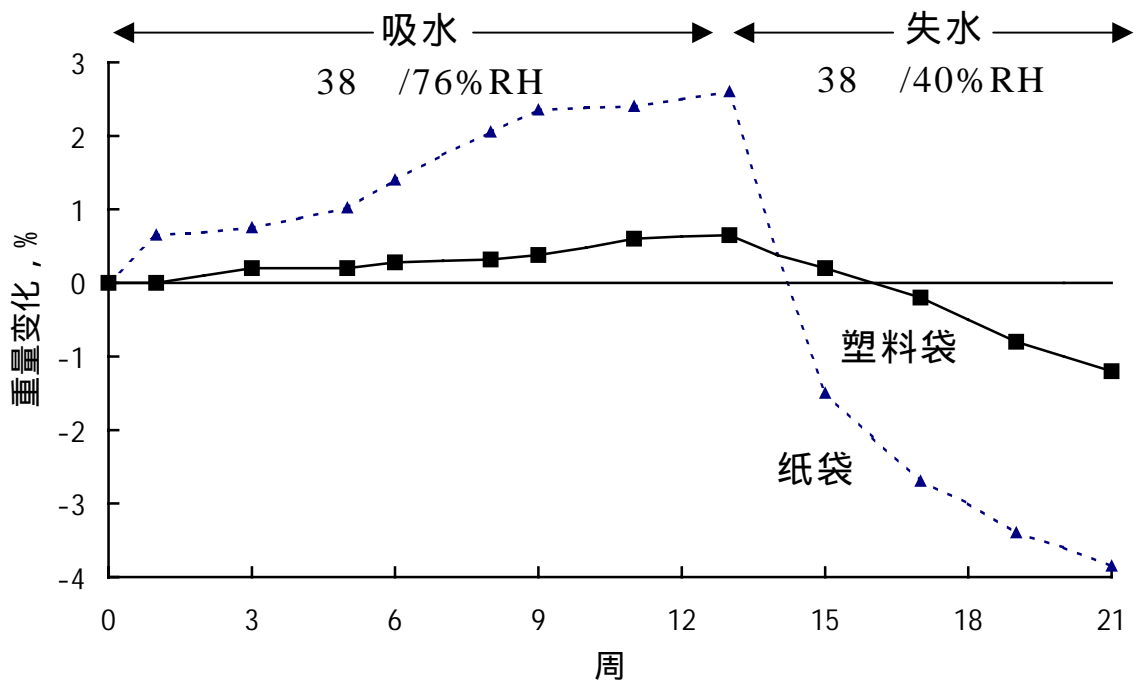


图 7 不同材料包装的狗饲料的重量变化

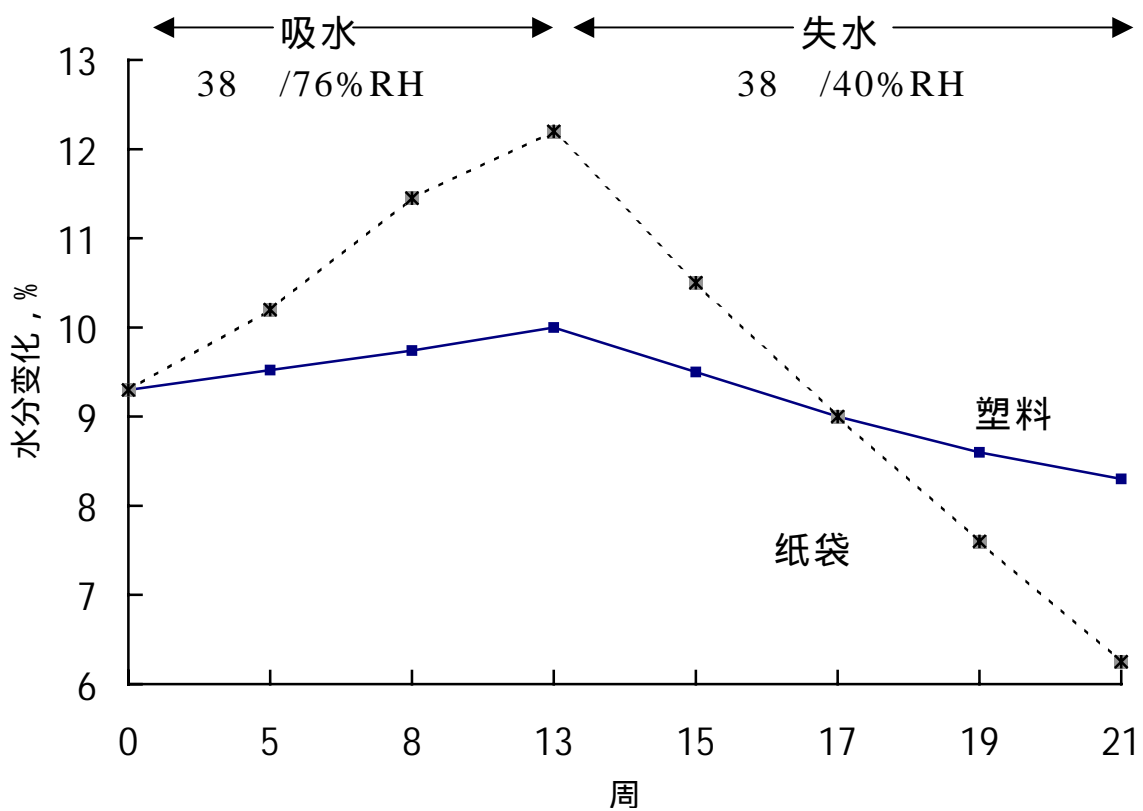


图 8 不同材料包装的狗饲料的水分变化

表 10 聚丙烯衬里袋包装的宠物饲料从 38 /76%RH 转移到 21 /50%RH 后的水分变化 (%)

转移后天数	外部	中部
0	8.4	8.4
7	8.5	8.5
14	8.3	8.3

结 论

本试验确定,某公司宠物饲料的周年安全储藏水分是 11.0%(与大约 0.7 水活度相平衡的水分)。处于或低于这水分不会生霉。水分处于或高于 11.5%(与大约 0.75 水活度相平衡的水分),即可生霉。为了保证 97%或更多的最终产品不超过安全水分 11.0%,由于产品水分不可避免的变异,应将生产中手工控制下的目标水分订为 8.5%。在 Dantec 自动控制系统中,由于降低了产品水分变异,目标水分可以也应当提高到 10.5%。每次生产运行开始当 Dantec 系统还用手工操作时,应采用较低的目标水分,9%;每次生产运行末尾当 Dantec 系统从自动转为手工时,目标水分仍为 10.5%。

处于自动控制下的实际生产时间长短取决于停车或更换产品的频繁程度。前面说过,每次生产运行或每次转换产品都必须有 1.5h 的手工操作(开始 45min,末尾 30-45min)。因此,为了最大程度地利用自动系统,应尽量减少转换产品和/或停车的频率。用下列方程式可计算出自动控制下的生产时间(%)。

$$T^{\text{自动}}\% = \{ [T - (1.5 + 1.5 n)] / T \} \times 100\% \quad \text{其中,}$$

$T^{\text{自动}}$ = 自动控制下的小时数

T = 总生产小时数

n = 更换产品或停车的次数

表 11 列出经计算得出的每天进行 2 班和 3 班时自动控制下的生产时间(%)。

表 11 计算出的自动控制生产时间 (%)

更换产品或关闭系统次数/天	2 班/天	3 班/天*
0	90.6	93.8
1	81.3	87.5
2	71.9	81.3
3	62.5	75.0
4	53.1	68.8
5	43.8	62.5

* 假定在生产日结束时停车

需要指出的是，自动控制下的时间%并不等于(虽然与之有关)从 Dantec 系统受益的%，因为大约一半的手工控制时间(即每次运行的最后 45min)内，产品水分变异与自动控制下基本相同，也使用同样的目标水分(10.5%)。譬如，如果 44%的生产处于自动控制下，即实际上有 77% $[44 + (100 - 44) / 2 = 77]$ 的生产时间从 Dantec 系统充分受益；用同样方法推算，94%处于自动控制下即意味着 97%的生产从 Dantec 充分受益。

根据反复试验，塑料衬里袋包装的宠物饲料在暖湿条件下储藏时，几乎不吸收水分，霉菌也几乎没有机会生长。在干燥条件下，塑料衬里袋能防止产品丢失水分和重量。使用塑料衬里袋，即不必在打包时另加 1%的重量来补偿可能在干燥条件下发生的重量丢失。用 22.5kg 容量塑料衬里袋包装的产品，从 38⁰C 转移到 21⁰C 未见任何水分转移/凝结。

采用 Dantec 系统，并用聚丙烯衬里袋替换防油衬里纸袋，可减少相当于产品总量 3%的重量损耗，也可以说是这一幅度的增产(其中 2 个百分点来自提高目标水分，1 个百分点出于省去打包时多装产品)，同时还使宠物饲料品质更好更稳定。

(刘瑞征 翻译)

参考文献

- Christensen, C. M. and R. A. Meronuck. 1986. Quality Maintenance in Stored Grains & Seeds. University of Minnesota Press, Minneapolis MN.
- Hall, C. W. 1971. Drying Farm Crops. The AVI Publishing Comp, Inc. Westport, CT.
- Hughes, D. and Mahan, J. 1992. 未发表的资料
- Post, H. B. 1976. Basic processing operations. In "Feed Manufacturing Technology", AFMA. 1976.
- Tsami, E., D. Marinos-Kouris and Z. B. Maroulis. 1990. Water sorption isotherms of raisins, currants, figs, prunes and apricots. J. Food Science. 55: 1594.
- Xiong, Y. 1990a. 未发表的资料.
- Xiong, Y. 1990b. 未发表的资料.
- Young, J. F. 1967. Humidity control in the laboratory using salt solutions - a review. J. Appl. Chem. 17:241.