

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2022.03.024

王祖远, 郭婵姣. 适应干旱地域环境的粮食储存——一种西澳大利亚地下储粮方式探析[J]. 粮油食品科技, 2022, 30(3): 206-211.

WANG Z Y, GUO C J. Grain storage adapted to drought environment——analysis of underground grain storage in western Australia[J].

Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2022, 30(3): 206-211.

适应干旱地域环境的粮食储存 ——一种西澳大利亚地下储粮方式探析

王祖远, 郭婵姣✉

(1. 河南工业大学 建筑学院, 河南 郑州 450001;

2. 河南工大设计研究院, 河南 郑州 450001)

摘要: 将粮食进行地下贮存是一种极其悠久的粮食存储方式, 地下准低温且密闭隔绝空气, 为粮食长久贮存提供了可抑制虫害的储藏环境。通过对西澳大利亚一种经过农民现场实验过的地下粮食储藏方式的介绍, 呈现具有地域性的地下储粮具体做法与技术路径, 为进一步研究我国地下储粮提供案例支撑。

关键词: 干旱; 澳大利亚; 地下储粮; 储粮技术; 储藏坑

中图分类号: S379.2 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2022)03-0206-06

网络首发时间: 2022-05-05 10:39:57

网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3863.ts.20220429.1616.026.html>

Grain Storage Adapted to Drought Environment ——Analysis of Underground Grain Storage in Western Australia

WANG Zu-yuan, GUO Chan-jiao✉

(1. School of Architecture, Henan University of Technology, Zhengzhou, Henan 450001, China;

2. Henan University of Technology Design and Research Academy, Zhengzhou, Henan 450001, China)

Abstract: Underground storage of grain is a method with long history. The underground quasi-low temperature and airtight isolation provide a storage environment that can inhibit pests for long-term storage of grain. This paper introduces a method of underground grain storage in Western Australia, which has been tested by farmers on the spot, and presents its specific practice and technical path of regional underground grain storage, so as to provide case support for further study of underground grain storage in China.

Key words: drought; Australia; underground grain storage; grain storage technology; storage pit

从世界范围看, 自新石器时期 (Neolithic

Period) 就有大量关于地下储粮窖穴的考古发现。人类祖先也曾广泛利用寒冷天气进行水果、蔬菜的贮藏^[1]。历史时期中的地下储粮 (Underground Grain Storage) 便宜且简单, 通过营造一个排除空气的密闭隔绝环境来实现粮食经久贮而不坏之目的。地下储粮方式在中国同样具有悠久的历史, 自古有“深藏胜仓庾”^[2]的文献记述, 显示出其对于粮食长期存放的有效性。也有“粟藏九年,

收稿日期: 2021-12-16

基金项目: 国家重点研发计划项目 (2016YFD0401601)

Supported by: National Key Research and Development Project of China (No. 2016YFD0401601)

作者简介: 王祖远, 男, 1980 年出生, 在读博士生, 副教授, 研究方向为文化遗产保护与研究、城市更新与工业遗产保护。E-mail: 77135515@qq.com.

通讯作者: 郭婵姣, 女, 1984 年出生, 硕士, 高级工程师, 国家一级注册建筑师, 研究方向为粮食物流园区规划与设计。E-mail: zuyuan711@126.com.

米藏五年”^[3]之说，透露出因贮存粮食种类的不同，而导致粮食存储年限之间的差异。

澳大利亚粮食作物主要是小麦、大麦、燕麦、稻谷等，集中分布于东南沿岸及西澳两个地区^[4]。近期西澳大利亚州政府（Government of Western Australia）在其官网上介绍了一种适应西澳洲干旱地域环境的地下储粮方法。几位澳洲西部的农民将谷物埋藏储存于地下，他们发现这是一种廉价并且可靠的方法，可以在饲料短缺时保存过剩或滞销的粮食谷物，其他人也能在粮食过剩时考虑采用类似的储粮方式保存谷物。这项工作也受到了澳大利亚“第一产业与区域发展部门”（Department of Primary Industries and Regional Development）的支持。该部门是西澳州政府中关于初级产业和区域发展部的农业和食品部门，目标是致力于发展和保护本州的农业和食品。经贮存实践后表明粮食的劣化程度较小，最长可储存达11年。“第一产业与区域发展部门”监督了3次地下储粮实验，共涉及存储5 t、50 t和120 t谷物。Salmon Gums 研究站^[5]（Salmon Gums Research Station）将其设计成一个真实农场规模的大型实验（图1）。经过一段时期的封闭贮存之后，储藏坑（storage the pit）被打开，几乎所有的谷物粗粮都处于保存良好的状态。若遵循一些基本的建造准则，采用该地下储粮方法可能对西澳谷物产区的长期储存具有价值^[6]。



图1 西澳洲粮食种植与收获概况

Fig.1 Grain planting and harvesting in Western Australia

澳洲农场主通常情况下的自备粮库仓容在500~1 000 t，大型粮库不超过3 000 t^[7]，但在西澳洲采用了一种具有地域特征的粮食储藏方式。当地农民将该类地下储粮称为“Pit Storage”，在剑桥英语中将Pit翻译为：一个大孔在地面，或稍微低于区域中的任何表面（a large hole in the

ground, or a slightly low area in any surface)^[8]，显示出澳洲人在描述该种地下储粮方式时，仍认为其是类似于坑的形态类型，不同于中国历史时期中采用的“窖”、“窰”、“窰”等词汇。本文中将其英文表述中涉及Pit的表达，统一翻译为“坑”。除此之外，英文中还有如Underground Silo（地下筒仓）、Underground Cellar（地下窖穴）、Underground Warehouse（地下库房）、Surface Storages（地表层储存）、Buried Containers（埋地容器储存）等不同方式，以表明储藏行为在功能与形式上的区别。

1 西澳大利亚的地域环境

澳大利亚粮食主产区为新南威尔士、维多利亚、南澳、西澳和昆士兰等5个州^[9]，该新月状条形地带被称为澳洲的“小麦、绵羊带”^[10]。西澳大利亚州（Western Australia，简称WA）是澳大利亚最大的州（图2），土地总面积为2 527 013平方公里（975 685平方英里），约占澳洲总面积32.9%。截至2021年统计数据，该州居民约267万，占该国总人口10.4%，其中绝大多数（92%）居住在西南区域；79%的人口居住在珀斯（Perth）地区^[11]。该州中部约三分之二的地区气候干旱且人烟稀少，唯一重要的经济活动是采矿。年降雨量平均小于300 mm（8~10 inch），大部分发生在与夏季气旋事件相关的零星暴雨中^[12]。自20世纪初西澳洲改变了原有的包粮运输方式而采用散



图2 西澳大利亚在澳洲中所处地理位置图

Fig.2 Map of the geographic location of WA in Australia

粮运输, 极大降低了流通成本^[13]。该州干旱的气候环境, 为当地农民进行地下储粮提供了天然有利的自然条件。

2 西澳洲储藏坑的建造

2.1 储藏坑的选址

将粮食进行地下贮存时, 首先, 选址最好位于区域中的景观高地, 保持基地“高而干燥 (high and dry)”, 地质稳定并远离地下水的侵扰。其次, 需将谷物内的水分进行排除, 以控制含水率。建造储藏坑时要保证地表水或地下水不易流入坑内, 还应便于雨水向外排出, 而不被储藏坑吸收。选择高地与适宜的土壤, 可以保证贮存粮食的干燥状态, 粘土 (Clay) 或砾岩 (Conglomerate) 是最适合建造储藏坑的土壤, 其直立性能较好, 可使坑边保持垂直并不易倒塌, 也易在坑上形成积水坑。再次, 需要保证一年中的任何时候都能够方便车辆通行, 因此一个干净且排水良好的场地是十分必要的。可将储藏坑建造在粮食生产区或牲畜投喂区附近, 这样更便于粮食收获与食用。最后, 如果要建造多个储藏坑, 则应保持适当的坑间距, 这样可有效避免储藏坑中排出的水流入周边坑中, 而导致内部贮存谷物的损坏。

2.2 储藏坑的建造方式与构造处理

对于储藏坑的形态控制上, 多种形状的开挖坑均适用粮食储藏, 但究竟采用何种形式建造, 主要取决于农民已拥有的可供处理粮食进出作业的设备情况。如果在地面上采用螺旋钻 (Auger) 来清除谷物, 则储藏坑末端则应尽可能的保持垂直, 坑内余粮可采用螺旋钻将其推至地面。在图 3 中展示了一种具有典型性且带有陡峭边缘储藏坑的尺寸, 其中约可容纳贮存 100 t 燕麦。粮食进坑作业中的大部分操作可通过在坑陡峭一侧的末端倾倒谷物进行填充, 最后用螺旋钻装满。如果卡车、前端装载机或其他设备在装填或清除谷物期间在坑内工作, 则一端的坡度不得超过三分之一 (图 4)。与之前储藏坑的设计一样, 最好是采用螺旋钻进行满仓作业。由于存在土壤塌方的风险, 因此从垂直侧面进行谷物翻倒作业通常是不安全的。储藏坑体积可根据需要贮存的谷物数量进行挖掘, 坑内最终装粮高度应略高于地表, 这

样形成的隆起有利于雨水排出。

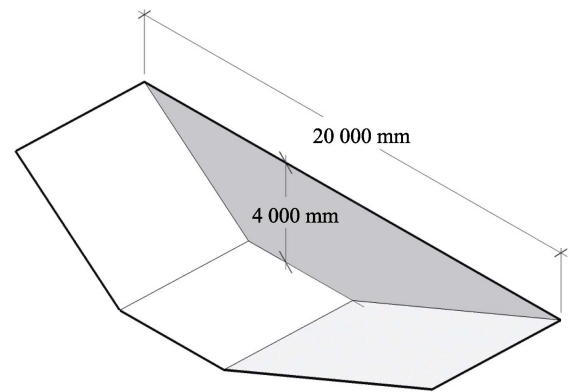


图 3 可贮存约 100 t 谷物的储存坑断面尺寸
Fig.3 The section size of the storage pit that can store about 100 tons of grain

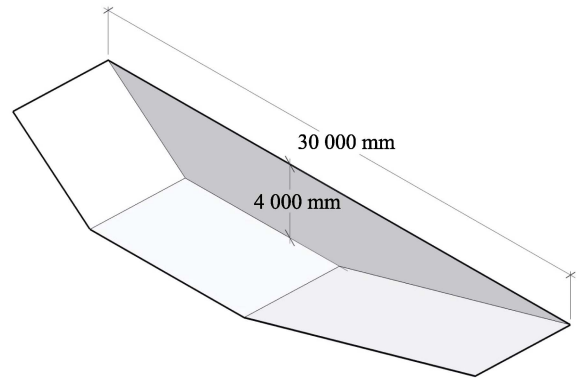


图 4 允许储存坑车辆通行的断面尺寸要求
Fig.4 Requirements for the cross-section size of vehicles allowed to pass through the storage pit

每吨谷物的体积大约是小麦 1.3 m^3 , 大麦 1.6 m^3 和燕麦 1.9 m^3 。储藏坑深度以基地现场情况与挖掘机允许作业的最大范围内为标准。一般储藏坑宽度大约是推土机铲刀宽度的 1.5 倍, 而储藏坑存粮所需容积则由坑长来实现。挖掘时土壤从每一端推出并移开, 以便在填充过程中进入。当前端装载机 (Front-end Loader) 要清除谷物时, 可以沿地板放置管道 (Pipe) 或钢制滑轨 (Steel Skid Rails) 作为铲斗底座。在建筑材料选择上, 因在澳洲会受到白蚁攻击, 故木材不适合在此环境下使用。

针对储藏坑内衬 (Lining) 的处理上, 经过一位西澳洲农民在 325 mm 降雨区的储粮实践, 取得了良好的实验结果。该储藏坑内没有采用任何形式的衬砌做法, 在紧贴储藏坑侧面仅有几厘米的谷物变质。这样的粮食损耗与建造储藏坑内衬壁造价相比较, 对坑壁不做任何处理应是经济且

高效的。因此，需要在粮食损耗与建造储藏坑底衬中做出经济权衡。同时他还建议不要在储藏坑底铺设内衬，任何进入谷粒的水应该让其慢慢流干。在该部门挖掘的实验坑中尝试了采用内衬0.1 mm 黑色聚乙烯（Black Polythene）的构造做法。如果坑内有衬里，则所有水平接缝必须与较低接缝外的较高接缝重叠，以使水从板材外侧流下，而不进入谷物。若以合适重量的土壤覆盖其上，则在排空雨水这一过程中，坑边土壤几乎不会对内所贮藏的谷物产生污染。

在对储藏坑回填土壤的处理上，确保坑和内部储存物尽可能干燥是非常重要的。贮存谷物的含水率最好控制在13%以下。如果在粮食收获之前开挖储藏坑，通常在高处，土壤受潮的可能性很小。如果降雨已将土壤淋湿，或储藏坑内存有前一个冬天的积水，则必须将水抽干并使土壤充分干燥之后，方可进行粮食贮存。在对澳大利亚东部储藏坑的实验中，通过在坑中燃烧木材，使储藏坑内土壤变得干燥，这样的做法与中国历史时期窖藏粮食的做法极其类似。隋唐时期沿大运河布局了多座转运仓，当时官方的地下仓窖多采用火烤窖穴壁，使窖壁土壤变得干燥并形成陶化表面，窖内衬采用“席子夹糠”的方式^[14]，来达成粮食与土壤之间的隔绝疏离。

对储藏坑顶部覆盖物的处理上，其做法为在垄沟的谷物与坑两侧铺设大约2 m宽的聚乙烯薄膜（Polythene），并且薄膜应在边缘上重叠至少20 cm，应采用完整薄膜覆盖而不能使用拼接膜。中等等级0.1 mm厚度的聚乙烯膜比0.05 mm厚度的板材更能抵抗上部块状覆盖层的破损。而对于片材（Sheeting）通常不会重复使用，由于其成本低廉并且在揭开作业过程中会发生难以避免的损坏。

经上述处理的储藏坑，可达成抑制虫害的粮食储藏环境。聚乙烯覆盖层隔绝了渗入土壤中大部分水分的侵扰，并对冲击土壤的降水形成有效抵御。在选择干燥场地后，注意形成疏水覆盖物（a Water-shedding Cover）是地下储粮的最重要方面，其目的是为达成在光滑覆盖物（a Smooth Covering Mound）上形成雨水的快速径流（Quick Run-off），同时要有足够的土壤深度来排除空气

并保护谷物免受温度变化的影响。土壤覆盖层厚度通常约30 mm，并倾斜至远离坑边的水平地面处。粮食在储藏坑中经上部聚乙烯和土壤覆盖后可能需要贮存10年或更长时间。对储藏坑边缘的标记，可采用钉子钉住坑角部，以方便再次打开坑时的查找定位。一种经改进后以聚乙烯连接至焊接钢网的密闭盖子，可加快储藏坑的打开速度。同时，还需保证其长度足以跨越储藏坑上部，并以与覆盖时相反的顺序进行移除。一旦覆盖层被刮板（Blade）或装载机（Loader）减少至约20 cm厚时，网状部分和剩余的土壤就可以整体被拖走，而几乎不会对坑内谷物造成土壤污染（图5）。

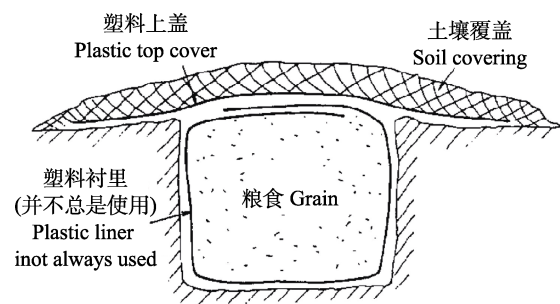


图5 地下储粮常用处理方式简图^[15]

Fig.5 Schematic diagram of common processing methods for underground grain storage^[15]

与之相对照，在澳大利亚东北部的昆士兰州（Queensland）采用了一种位于地面之上的土墙地堡（Bunker Store）来贮存粮食（图6）。具体做法为将谷物放置在经浅开挖、平整且排水良好的地表之上，粮食上部用塑料布覆盖。一个地堡可贮存25 000至50 000 t谷物，每年有数百万吨粮食储存在这种类型的地堡中。上述储粮方式是自20世纪70年代从澳大利亚引入中国、在河南等地大量使用“土堤仓”的改进型。土堤仓则是以土堆为堤，内存散粮，上覆蓬布的储粮形式，其作业形式均采用机械装卸输送设备^[17]。表层粮温易受气候条件的影响，在如前所述的储粮坑上覆

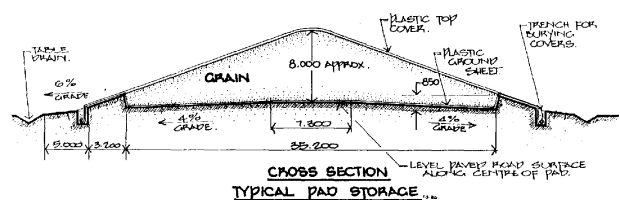


图6 澳大利亚昆士兰州使用的土墙地窖贮粮的横截面^[16]

Fig.6 Cross section of typical pad storage used in Queensland, Australia^[16]

30 cm 土层, 使得表层粮温受外界影响较少。

尽管这种粮食存放方式仍存在一定的安全风险, 但若周边环境排水良好, 并定期检查上部塑料盖是否损坏, 通常粮食损失率小于 0.1%。澳大利亚目前防治粮食害虫的主要手段是谷物防护剂与熏蒸药剂^[18]。这种地堡在保持密闭的前提下, 适合用磷化氢熏蒸且建设资本成本低, 但运营维护成本较高, 因为填充、覆盖及清空它们需要耗费一定的人力。

2.3 储藏坑的维护与安全运营

在储藏坑建造好的第一个冬天, 土壤覆盖层在沉降后, 需对其重新平整, 消除粮食空洞并将积水排出, 同时还需检查周边地区是否有积水洼地的情况, 定期检查是否有大鼠 (Rats) 和小鼠 (Mice) 的活动。在粮食转运过程中, 储藏坑一旦被打开, 应迅速清空, 以避免受到雨水损坏和昆虫的侵扰。在中国历史时期储粮中, 也有对储粮窖穴一旦打开, 便需“每出一屋一窖尽”^[19]的文献记述。整仓流转有利于粮食储存管理, 便于对粮食储存情况进行统计, 也减少了窖藏反复开仓所导致的空气进入。如果谷物要保存超过 1 个月左右, 应将其转移至密闭筒仓内, 通过熏蒸的方式控制谷物虫害。在短期内当储藏坑被打开时, 也须准备好足够的粮食临时存储方式。敞开的储藏坑会对人和牲畜构成安全隐患 (图 7), 因此, 在储藏坑附近活动时应格外小心。当在地面上操作螺旋钻清空坑内谷物时, 应避免操作者落入坑中受到伤害。



图 7 西澳洲地下储粮坑开挖^[20]

Fig.7 Excavation of underground grain storage pits in Western Australia^[20]

在储藏坑的造价中, 其建设成本包括挖掘土方工程、覆盖土壤和去除覆盖层等因素, 并受农


场设备情况、农民时间投入等方面的影响。在粮食储藏过程中, 若能有效保证储藏坑的选址, 对其上部进行有效覆盖以防止内部进水, 通常用于饲料的谷物质量就不会恶化。经实地储粮实验, 一个被埋藏 6 年的样品仍然具有 100% 的发芽率, 但一般不会对经过这样贮存的谷物进行播种, 因为幼苗成活率可能会降低。

3 结语

全球化与地域性是当今世界发展中必须面对的一对矛盾, 如何针对地域性差异, 展开具有当地特色的粮食储存, 值得进一步深入研究探讨。西澳大利亚农民的储粮坑, 从选址、仓的结构、储粮原理、粮食管理等方面来看, 与我国隋唐时期黎阳仓、回洛仓、含嘉仓等仓窖并无本质差别, 最大的不同体现在进出粮方式上决定了仓的形态差异。因时代发展, 古代中国粮食贮藏多依靠人工作业, 将地下粮窖做成上宽下窄的圆形窖穴较为有利; 而现代化的西澳大利亚多以机械化方式作业, 将储藏坑做成长条槽状, 从技术角度上较易实现。这也是当地农民在尊崇该地区地理、气候、降水等资源要素的前提下, 用一种相对低廉的办法实现了对谷物的有效储藏, 是极具特色且因地制宜的储粮特色实践。

参考文献:

- [1] Susan MacKay. Home storage of fruits and vegetables. (EB/OL), https://www.canr.msu.edu/resources/home_storage_of_fruits_and_vegetables_e1696. 2015-10-23/2021-12-15.
- [2] (元)王祯. 王祯农书: 卷十四: 农器图谱八[M]. 杭州: 浙江人民美术出版社, 2015: 443.
(Yuan) WANG Z. Wang Zhen's book of agriculture: volume 14: map of agricultural implements 8[M]. Hangzhou: Zhejiang People's Fine Arts Press. 2015: 443.
- [3] “粟藏九年, 米藏五年, 下湿之地, 粟藏五年, 米藏三年, 皆著于令。”参见(宋)欧阳修, 宋祁. 新唐书: 卷五十一: 志第四十一食货一[M]. 北京: 中华书局, 1975: 1344.
"Millet nine years, rice five years, under the wet ground, millet five years, rice three years, all written in order." (Song) Ouyang X, Song Q. New Book of Tang dynasty: Volume 51: Zhi 41 Food and Goods 1[M]. Beijing: Zhonghua Book Company, 1975: 1344.
- [4] 丁建吾. 澳大利亚粮食物流发展经验及启示[J]. 中国物流与采购, 2007, (7): 44-47.
DING J W. Australian grain logistics development experience

- and enlightenment[J]. China Logistics & Purchasing, 2007, (7): 44-47.
- [5] Salmon Gums 研究站的建立促进了对当地农业的研究, 参见: Heritage Council of Western Australia. Register of Heritage places- Assessment Documentation(pdf). p.19. Archived from the original (pdf). 2015-09-24/2006-07-14.
- [6] David Cousins. Underground storage of grain. (EB/OL), <https://www.agric.wa.gov.au/barley/underground-storage-grain.2019-09-27/2021-12-14>.
- [7] 唐为民. 澳大利亚粮食储藏技术及有害生物防治研究概况——赴澳大利亚粮食储藏技术考察报告[J]. 四川粮油科技, 2001, (1): 32-35.
TANG W M. Australia's grain storage technology and pest control research survey——A report of investigation on grain storage technology in Australia[J]. Sichuan Grain and Oil Technology, 2001, (1): 32-35.
- [8] Cambridge Dictionary. (EB/OL), <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/pit>.
- [9] 商业部粮食储运局. 赴澳大利亚粮食储藏技术考察报告[J]. 粮油仓储科技通讯, 1985, (6): 2-9.
Ministry of commerce grain storage investigation group. Grain storage and transportation bureau of the ministry of commerce, investigation report on grain storage technology in Australia[J]. Grain and Oil Storage Technology Newsletter, 1985, (6): 2-9.
- [10] 刘春浦, 王澎. 澳大利亚的谷物流通和加工[J]. 商业科技开发, 1996, (2): 32-35.
LIU C P, WANG S, Grain circulation and processing in Australia[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 1996, (2): 32-35.
- [11] Wikipedia. Western Australia. (EB/OL), https://en.wikipedia.org/wiki/Western_Australia.
- [12] Commonwealth of Australia, Bureau of Meteorology. Average annual, seasonal and monthly rainfall. 2011-10-26/2014-06-01.
- [13] 澳大利亚的粮食物流情况[J]. 粮油食品科技. 2008(S1): 18.
Food logistics in Australia[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2008(S1): 18.
- [14] 河南省博物馆, 洛阳市博物馆. 洛阳隋唐含嘉仓的发掘[J]. 文物. 1972(3): 51-52.
Henan Museum, Luoyang Museum. Discovery of Hanjiacang in The Sui and Tang Dynasties of Luoyang[J]. Cultural Relics. 1972(3): 51-52.
- [15] 作者改绘: (EB/OL), <http://storedgrain.com.au/wp-content/uploads/2013/06/Underground-storage.pdf.2013-06/2019-9-11>.
- [16] Factors influencing the choice of bulk store. FAO Agricultural Services Bulletin No. 109(EB/OL), <https://www.fao.org/3/t1838e/T1838E19.htm.1994-01-01/2021-12-14>.
- [17] 商业部粮食储藏考察团, 商业部粮食储运局. 赴澳大利亚粮食储藏技术考察报告(续)[J]. 粮油仓储科技通讯, 1986, (1): 29-36.
Ministry of Commerce Grain Storage Investigation Group, Grain Storage and Transportation Bureau of the Ministry of Commerce. Investigation report on grain storage technology in Australia (Continued)[J]. Grain and Oil Storage Technology Newsletter, 1986, (1): 29-36.
- [18] 檀先昌. 澳大利亚的储粮害虫化学防治[J]. 粮食贮藏, 1982, (3): 42-46.
TAN X C. Chemical control of stored grain pests in Australia[J]. Grain Storage, 1982, (3): 42-46.
- [19] “复原唐令 9: 诸仓屋及窖出给者, 每出一屋一窖尽。”参见天一阁博物馆, 中国社会科学院历史研究所天圣令整理课题组校证. 天一阁藏明钞本天圣令校证·校录本·仓库令卷第二十三[M]. 北京: 中华书局, 2006: 483-497.
“Restoration of Tang Order 9: All storehouses and cellars, each out of a whole house and a cellar” School certificate of Tianyi Pavilion Museum, Institute of History, Chinese Academy of Social Sciences. Tianyi Pavilion Hidden Ming Banknotes this Day Holy Order proofreading · proofreading this warehouse Order Volume 23[M]. Beijing: Zhonghua Book Company, 2006: 483-497.
- [20] Corporate. Video. Adjusting to Drought: Underground Grain Storage. (EB/OL), <https://www.youtube.com/watch?v=PCVL02xpU7M>. 2018-12-16/2021-12-14. 
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。