



文章栏目：相关研究

DOI 10.12030/j.cjee.202206076 中图分类号 X22 文献标识码 A

周传斌, 陈灏, 张付申. 基于脱贫和环境改善目标的寒旱地区农村庭院生态工程[J]. 环境工程学报, 2022, 16(9): 3125-3133. [ZHOU Chuanbin, CHEN Hao, ZHANG Fushen. Courtyard Ecological Engineering for the cold and arid rural areas to alleviate poverty and improve environmental quality[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2022, 16(9): 3125-3133.]

基于脱贫和环境改善目标的寒旱地区农村庭院生态工程

周传斌^{1,2,✉}, 陈灏^{2,3}, 张付申^{2,3}

1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100049; 3. 中国科学院生态环境研究中心固体废弃物处理与资源化实验室, 北京 100085

摘要 我国寒旱地区具有农牧交错、村落相对分散、农民贫困、地方政府财力不足等特点, 农民增收和环境治理压力较大, 需要提高厕所、垃圾、污水等设施水平并推进村庄和庭院整治。以典型寒旱地区库伦旗为例, 针对当地寒冷、半干旱等气候特点以及目前农村院落的基本要素构成现状, 设计并示范应用了基于脱贫和人居环境改善双目标的农村庭院生态工程模式, 以“种植-养殖-厕所-清洗-水窖”为主线, 包括温室大棚种植及设施中心、改水改厕、庭院有机废弃物微生态循环、微型水处理与循环利用等单元技术, 在农村庭院尺度上实现系统整合。结果表明, 本生态工程每年可以实现 6.6 t 的畜禽粪便(含 0.14 t 氮)、23.4 t 中水、38.5 t 雨水重新回到大棚种植系统, 可突破寒旱地区气温较低、土壤水肥资源缺乏等瓶颈; 构建生态环境良好、资源能源集约利用、农民增收的生产生活一体化复合生态庭院。本研究结果可为我国寒旱地区人居环境治理和乡村振兴战略实施提供参考。

关键词 农村环境; 人居环境; 农村庭院; 生态工程; 厕所; 寒旱地区

农村地区是我国人居环境治理的薄弱环节^[1], 特别是在我国脱贫攻坚战的重点地区, 往往存在卫生厕所普及率低、生活污水和垃圾处理设施配置不足、因人居环境导致的人畜共患病发病率较高等特点^[2-3]。我国的寒旱地区具有农牧交错、村落相对分散、农民贫困、地方政府财力不足等问题, 其农村人居环境治理难度较大^[4-6]。2021 年 12 月, 中共中央办公厅和国务院办公厅印发了《农村人居环境整治提升五年行动方案(2021—2025 年)》, 提出要在地处偏远、经济欠发达地区, 明显改善农村人居环境基础设施, 除提高厕所、垃圾、污水等设施水平外, 还要大力推进村庄和庭院整治^[7]。

农村庭院对于农民脱贫与人居环境改善的重大意义。20 世纪 80 年代, 从事农村经济研究的学者就意识到, 农村庭院经济可能是我国农民脱贫致富的一条可行路径。90 年代以来, 我国在安徽、四川、湖北等地探索了庭院生态工程模式, 主要类型包括沼气池、庭院作物种植等^[8-9]。通过运用物种共生、物质循环利用、生物-环境适应等生态学原理, 在农户庭院有限的空间内集约、节约利用各类农业资源, 提高庭院农牧生产力。

在我国寒旱地区的广大农村, 农户虽然拥有相对较大的庭院面积, 但是由于冬季寒冷、土壤

收稿日期: 2022-06-15; 录用日期: 2022-08-16

基金项目: 中国科学院 STS 项目(KFJ-FP-202002)

第一作者: 周传斌(1981—), 男, 博士, 研究员, cbzhou@rcees.ac.cn; ✉通信作者

贫瘠、水资源缺乏, 庭院种植产生的经济效益较低。同时, 寒旱地区农村的人居环境治理工作起步相对较晚, 存在生活垃圾、厕所污粪污染以及人畜共患病风险。针对当地土壤贫瘠、缺水的特点, 系统集成“种-养-厕-洗-窖”等单元, 设计并示范应用以温室大棚作为设施中心的庭院生态工程模式, 以期实现农户脱贫和庭院人居环境改善的双重目标。

1 典型寒旱地区农村庭院现状分析

1.1 自然条件与社会经济概况

库伦旗属内蒙古自治区通辽市, 地处华北地区燕山北部山地向科尔沁沙地过渡地段。旗境内有土石浅山、黄土丘陵沟壑、沙化漫岗和沙沼坨甸等地貌, 面积分别占 21.2%、17.0%、12.7% 和 46.7%。库伦旗属半干旱农牧交错带, 主要农牧产品有玉米、沙地水稻、荞麦、杂粮杂豆、牛羊肉等。库伦旗年降雨量 400~450 mm, 且呈现季节分布不均的特点, 每年降雨主要在 6~8 月, 其它季节干旱少雨。库伦旗大部分土地都是沙地, 土壤较为贫瘠, 且坡地较多、土肥易于流失。这也导致当地种植业亩产低、农牧民收入偏低, 是当地农村贫困的原因之一。此外, 库伦旗属于生态脆弱地区, 随着我国对草原生态保护要求的提高, 库伦旗禁牧范围逐步扩大, 难以通过扩大自然草场畜牧养殖规模促进农民增收。1986 年库伦旗就被列为国家级贫困县(旗), 经过长期的脱贫攻坚战, 于 2020 年 3 月正式实现“脱贫摘帽”, 库伦旗是中国科学院的定点扶贫县之一^[10-11]。

1.2 农村人居环境问题及其成因

库伦旗的农村人居环境问题较为突出。各村供水基本以“一户一井”的模式为主, 且水井多为浅井, 取水后人畜直接饮用, 大部分取水点缺乏水处理及消毒措施, 污水排放渗井也可能存在地下水污染的风险。农户庭院内一般都修建有畜舍, 地面多未硬化, 牛羊等牲畜粪便随意堆放, 容易带来致病微生物污染风险。当地“两虫”(隐孢子虫和贾第鞭毛虫) 疾病、布鲁氏菌病^[12] 等人畜共患病高发, 均与畜禽养殖粪便污染有关。由于地理位置、气候因素、地质条件等多方面原因, 通辽地区多为高氟及高砷水地区, 地下水以垂直蒸发为主, 造成多种盐分和氟化物浓缩聚集, 形成分布广泛的高氟潜水区^[13]。

庭院是当地农民生产、生活的主要场所, 其典型的庭院形态如图 1 所示。庭院建筑占地面积约为 200~300 m², 为庭院总面积的 13%~15%, 基本为平层住房、农业生产工具房、畜禽养殖圈舍; 庭院中的其他土地用于作物种植、畜禽养殖、秸秆堆放(作为饲料或燃料) 和家庭活动。调查发现, 库伦旗典型农村院落具有以下特点。1) 相对我国其他地区, 庭院占地面积较大, 户均庭院面积可达到 1 500~2 000 m²。2) 农村庭院土壤贫瘠, 庭院作物产量较低, 以玉米种植为例, 当地玉米种植亩产能力仅为 500 kg·亩⁻¹(收入约 300 元·亩⁻¹), 远低于我国东北地区的玉米产量。由于缺乏农业设施和技术培训, 庭院仅种植玉米、高粱以及少量自用蔬菜, 经济价值较低。3) 当地农村庭院人居环境设施非常缺乏, 农村污水、厕所粪便、生活垃圾、畜禽粪便处理设施不足。贫困农户所用的厕所基本是简易旱厕, 因厕所臭气、当地民俗等因素, 厕所一般在庭院外的角落简易搭建, 距离农户起居活动区域较远, 特别是冬季晚间如厕极为不便。当地的玉米、高粱等大田作物种植中, 化肥施用一般采用外包服务方式进行。因此, 当地牛羊粪便的资源化利用率较低, 农户在大田中施用此类有机肥料的动力不足。

2 典型寒旱地区的农村庭院生态工程设计

农村庭院是一类微型复合生态系统, 包括生产者、消费者、还原者、环境等要素。农村庭院不仅存在系统内部的物质流动(有机质、营养元素、水等), 也同系统外部发生着物质和能量的交换(如购买食物、销售农产品、垃圾外运等)。通过物质循环利用和系统优化等生态系统工程方法, 将人居环境建设和庭院经济发展(如种植、养殖等) 有机地结合起来, 实现环境、经济、社会



(a) 农村庭院鸟瞰图



(b) 庭院种植



(c) 庭院养殖



(d) 简易旱厕



(e) 整体外观

图1 库伦旗典型农村庭院形态与主要单元现状图

Fig. 1 The pattern and key elements of typical rural courtyard in Kulun County

复合生态效益的统一。

2.1 农村庭院生态系统现状及其技术适宜性分析

从农村庭院的微型生态系统构成看，包括生产者(庭院种植)、消费者(庭院养殖、农户自身食用)、还原者(各类分解废弃物的人工技术设施及在其中发挥分解作用的微生物)、本底环境(建筑、土壤、地下水、降水等)。

1) 生产者。农村庭院生态系统的初级生产者主要是庭院种植单元。库伦旗比较常见的农村庭院种植作物是玉米和高粱，以及农户自身食用的蔬菜，如大葱、沙葱、白菜等。当地9月的平均最低温度为 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，直到来年5月最低气温才会重新上升到 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上。因此，在露天环境下，每年实际可用于作物种植的时间仅为4~5个月。

2) 消费者。农村庭院生态系统的消费者包括庭院养殖和农户自身食用。库伦旗比较常见的庭院养殖品种是西门塔尔肉牛，也有肉羊、鸡、鹅、兔等养殖。一般牛羊养殖采用玉米、高粱秸秆和商用饲料混合饲养，可消纳部分大田作物秸秆。由于气候和种植条件等因素的约束，农户自身消费的蔬菜、水果、肉蛋等食物，主要来源是外购，自给率较低。

3) 还原者。农村庭院生态系统的还原者主要是厕所、垃圾处理、水处理等人工设施，以及庭院自然环境中的微生物。目前，库伦旗农村厕所主要仍是简易旱厕，全国爱卫办推荐的6类无害化卫生厕所(三格化粪池式、双瓮漏斗式、三联式沼气池式、粪尿分集式、水冲式、双坑交替式)在当地没有大范围推广应用。2018年，中央农办等部委《关于推进农村“厕所革命”专项行动的指导意见》指出，要“同步推进厕所粪污治理”。但是，目前库伦旗的农村厕所还缺乏系统化的污粪收集和资源化利用途径^[14]。

4) 本底环境。影响当地农村庭院经济的生态环境本底主要有气温、降水和土壤。根据当地多年气候监测数据, 日均气温最高的月份是7月, 平均为19~29℃; 最低的是1月, 平均为-19~-7℃; 每年的11月至次年3月平均最低气温低于0℃, 在缺乏保温条件下难以种植作物。年平均降水量为256 mm, 每月降水量分布非常不均, 主要集中在6~8月(月均71~113 mm)。当地庭院土壤主要为风沙土和黄土, 由于多年庭院种植和化肥施用, 庭院土壤已非常贫瘠。在示范庭院土壤实地采样测试发现, 其土壤含碳和氮元素含量为460.25和18.41 mg·kg⁻¹, 远低于蔬菜等经济作物生长所需的2 075和83 mg·kg⁻¹。

2.2 典型寒旱地区农村庭院生态工程集成设计

1) 总体设计思路。在充分调研库伦旗的自然环境、社会经济条件和致贫原因后, 针对库伦旗干旱、寒冷等气候特点以及目前农村院落的基本要素构成现状, 提出了“庭院生态工程扶贫”创新模式。首先, 开展农村庭院物质代谢过程分析, 确定庭院经济作物种植的水分和养分需求, 进而核算通过雨水、中水收集和粪肥还田达到水-养分平衡的可行性; 之后, 基于物质循环再生原理开展“种植-养殖-厕所-清洗-水窖”为主线的庭院生态工程设计。设计和示范工程的主要目标是突破寒旱地区气温较低、水肥缺乏等庭院生产瓶颈, 构建生活、种植、养殖于一体的复合型生态庭院, 同步实现稳定脱贫和人居环境质量改善。

2) 以温室大棚为庭院设施中心的生态工程集成设计。针对寒旱地区气温低、土壤水分蒸散快的特点, 结合库伦旗农村庭院面积大的特点, 在农户庭院中建设温室大棚, 作为庭院生态工程的基础设施中心。将农户厕所、污水处理设施、储水水窖、堆肥设施等均设计在温室大棚中, 以保障其在冬季能正常运行。温室大棚东西长30 m, 南北宽7 m, 采用钢架结构, 北高(3.3 m)、南低(1.3 m)的构筑形式, 面积约200 m²。温室大棚墙体厚37 cm, 外加10 cm厚保温板, 南端1.5 m埋深防冻中空隔离墙, 大棚辅助设施设备包括电动卷帘机、加厚防水棉帘、“三合一”大棚膜等。目前, 示范农户已种植豆角、香菜、芹菜、豆角、葡萄等经济作物。由于中水、雨水、牛粪堆肥等提供了种植所需的水肥资源, 上述作物在大棚中的生长态势良好。在大棚设备间装备生物质气化炉及配套增温管道1套, 在秋季玉米、高粱等大田作物收获后, 将废弃农作物秸秆作为生物质气化炉的燃料, 以保障大棚冬季寒冷气温下的采暖需求, 每年可节省燃煤约3 t。采用生物质气化炉及保温砖墙等防寒措施后, 在温室外-10℃的气温下, 大棚内可以保持8~22℃的温度, 适宜作物冬季生长。在温室大棚工具间及农户住宅屋面安装太阳能板和太阳能热水器, 可进一步提高农户可再生能源利用率。

2.3 家庭用水、厕所及水循环设计

1) 家庭用水。从示范农户庭院水井中取水, 经采样检测符合饮用水标准。在库伦旗部分地区, 深层地下水中可能存在悬浮物、氟等超标的问题, 在地下水无法达到饮用水水质标准的农村, 则应采用村集中式供水, 对地下水进行处理后使用。在综合考虑农户家庭厨卫空间、洗浴与清洁频率等因素后, 确定水箱容积为40 L(含水位传感器、止回阀及冬季用保温棉), 通过水泵加压方式给厨房、淋浴间、洗手池等供水, 在水量不足时从水井中及时补充。此项设计为农户提供了流动水源, 改变了之前采用用水盆接水并多人多次重复使用带来的卫生问题。水箱长期蓄水可能孳生细菌, 需定期对水箱进行清洗、消毒处理。

2) 厕所及污水处理。厕所采用水冲式坐便器, 在实际使用中, 农户采用舀水冲洗的方式冲厕, 每次用水量约为2~3 L。家庭杂排水通过庭院内排水管道, 与厕所污水合并后进入污水处理单元。生活污水处理采用HJA-10型净化槽设备(处理能力为1 m³·d⁻¹), 可以满足示范农户的处理需求(2~4人·户⁻¹)。该设备采用生物接触氧化工艺, 污水首先进入夹杂物去除槽, 截留固态污染物后, 流入厌氧滤床槽和载体流动槽, 2槽室均含有不同填料, 填料上附着有微生物, 用于去除污水中的

有机污染物。出水水质指标可达到 $\text{COD}_{\text{Cr}} \leq 60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{BOD}_5 \leq 20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{NH}_3\text{-N} \leq 8 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $\text{SS} \leq 15 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。庭院厕所和污水处理单元均设置在大棚内，不仅提高冬季如厕便利度，也可解决冬季生活污水处理设备冰冻的问题。污水经生化处理和消毒后在温室大棚内浇灌作物回用。

3) 雨水收集利用。水资源缺乏是导致库伦旗作物产量低、农民贫困的原因之一。尽管在本研究的示范项目中农户有自采水井，但为探索符合当地缺水现状的水资源保障模式，探索构建了雨水收集系统。采用天沟对房屋屋顶雨水进行收集，经过砂滤系统后作为大棚浇灌用水。按庭院建筑屋顶可收集雨水面积 100 m^2 ；生活污水排放夏秋季 $70 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$ 、冬春季 $60 \text{ L} \cdot \text{d}^{-1}$ ；大棚实际种植蔬菜面积 150 m^2 ；大棚蔬菜灌溉用水夏秋季 $1.65 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2}$ 、冬春季 $0.82 \text{ L} \cdot \text{m}^{-2}$ ，每月浇灌天数扣除每月降雨天数。庭院雨水和中水蓄积量、使用量是动态变化的，即夏季降水量大、种植和生活需水量也较大，而冬季降水量小，但种植和生活需水量也相应降低。通过核算不同月份的生活用水量、降水及雨水收集量、种植需水量，确定农户庭院的水资源平衡及蓄水水窖的池容，见图 2。经测算，农户家庭需建蓄水水池的容积为 15 m^3 。在庭院中收集雨水和杂排水，经过过滤处理后，作为庭院作物的灌溉用水。

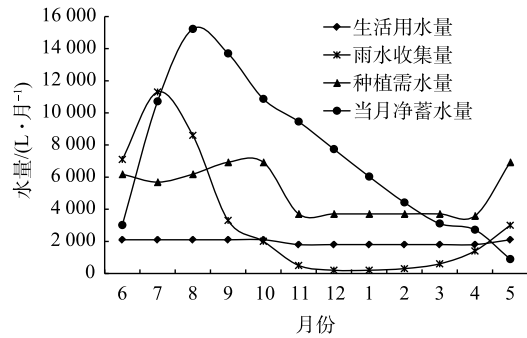


图 2 库伦旗典型农村庭院的水资源平衡核算
Fig. 2 Water resource balance accounting for typical rural courtyard in Kulun County

2.4 有机固废处理与营养物循环设计

1) 有机固废就地堆肥。当地农村厨余垃圾(剩菜剩饭、菜叶等)一般用于庭院中的鸡、兔饲养，厨余垃圾产生量较低。庭院中产量较大的有机固废主要是肉牛饲养产生的粪便。在庭院中建立堆肥设施 1 处，占地面积约为 5 m^2 。采用自主研发的复合微生物菌剂^[15]对畜禽养殖粪便进行堆肥，对土壤缺失的有机碳和营养元素进行补充，保障大棚经济作物生长的养分需求。此外，为了保障大棚在冬季运行时的温度，大棚在冬季的密封性会提高，就地堆肥设施设置在远离洗浴、厕所等常用设施的一端，并加强堆肥翻堆作业，减少堆肥过程中甲烷等气体的排放。图 3(a) 说明，庭院土壤中的氮质量分数非常低，仅为 $18.4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，而种植蔬菜的土壤氮质量分数一般需要 $150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。牛粪堆肥的氮质量分数为 $375 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，可以作为庭院种植土壤氮元素补充的重要来源。示范农户饲养西门塔尔肉牛 4 头，牛粪堆肥每年可贡献氮元素 6.75 kg 。而根据当地土壤的氮质量分数水平， 200 m^2 温室大棚种植蔬菜需补充的氮元素总量为 5.26 kg (见图 3(b))。因此采用牛粪堆肥补充种植土壤的氮元素是可行的。

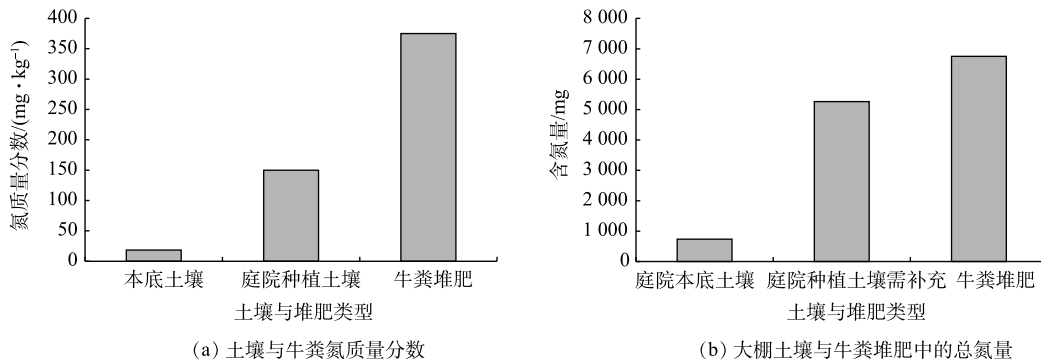


图 3 库伦旗典型农村庭院的土壤氮资源平衡核算
Fig. 3 Nitrogen resource balance accounting for typical rural courtyard in Kulun County

2.5 建设与运行效果

选择中国科学院定点扶贫县库伦旗库伦镇毛墩艾里村的2户农户,对其农村庭院进行了设计和示范工程建设,示范户庭院面积分别为1966和2800 m²,占地共4733 m²。示范工程施工时间为2019年9—10月,首先,结合光照方向、取水井位置、可用地边界等条件,确定温室大棚在庭院中的位置;然后,在清理庭院杂物并进行场地平整后开始施工,采用砖墙隔断在大棚内形成洗浴、厕所等设施空间。农户住宅内部管道走线、水箱、洗手池等施工基本维持住宅墙面原状。庭院改造前后的设施及物质流向如图4所示。基于库伦旗农村庭院面积较大的特点,在庭院中建设温室大棚1座,不仅可以将作物适宜种植的时长延长约5个月,还将其作为容纳各类环境设施的场所,以保障寒冷季节设施的运行温度。庭院生态工程各类技术单元包括温室大棚种植、改水改厕、庭院有机废弃物微生态循环、微型水处理与循环利用等,并在农村庭院尺度上实现系统整合。经核算,每个庭院每年可以将6.6 t的畜禽粪便(0.14 t氮)、23.4 t中水、38.5 t雨水重新回到温室大棚种植系统。

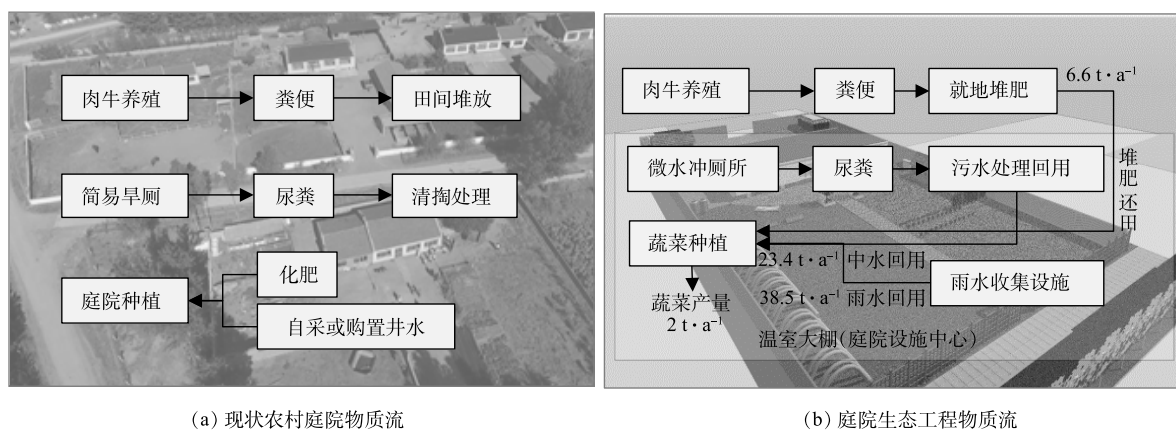


图4 库伦旗典型农村庭院生态工程改造前后物质流向图

Fig. 4 Material flow before and after implementing the eco-engineering for typical rural courtyard in Kulun County

3 农村庭院生态工程的综合效益与长效推进对策

3.1 环境效益

通过庭院生态工程设计,突破寒旱地区的水资源、土壤营养物质等农业生产瓶颈,实现生态良好、环境整洁、资源能源可持续利用等人居环境改善效益。首先是改善了庭院人居环境,由原来的简易旱厕、盆装水清洗、冬季无法在家洗浴等条件,转变为微水冲厕所、流动井水清洗、太阳能热水器居家洗浴等。第二,大幅降低庭院旱厕、养殖粪便、污水等带来的环境健康风险。农户之前采用的旱厕储粪坑没有采取防渗措施,养殖牛羊的粪便在庭院中简易堆置,生活污水泼洒在庭院中没有处理。由于当地大部分农村没有集中自来水供应条件,自采水井的深度一般在15~20 m左右,因此,水井采水具有被人与畜禽粪便污染风险。本研究采用的庭院生态工程可阻断污水与人畜粪便污染向地下水扩散的途径,其环境健康风险得到了有效控制。第三,构建了庭院微型生态系统的循环经济链和共生系统。通过养殖粪便堆肥设施制备有机肥,用于庭院种植,同时也降低了化肥施用带来的面源污染。建设庭院污水处理和回收利用设施,用于庭院种植系统浇灌,不仅节约利用水资源、减少采水量,还回收利用了污水中的营养物。

3.2 经济社会效益

针对库伦旗冬季蔬菜少、价格高的实际情况,在庭院大棚种植高价值的反季节蔬果,可增加贫困农户的收入。库伦旗农村庭院生态工程经济投入与收益见表1。根据目前示范农户的劳动强度

和种植技能的差异，每年每户的经济作物增收范围为5 000~8 000元；农户经济作物种植、牛、羊、兔养殖等带来的年总收入已突破10 000元，稳定实现了脱贫攻坚战目标。本研究的示范工程虽然投入收益比略高，但是其针对我国贫困农村生产性基础设施及增收产业缺乏的问题，提出了可行的解决方案，在我国乡村振兴战略实施中具有较好的应用前景。除可直接量化的直接经济效益外，该示范项目的实施也取得了可观的社会效益。首先，示范农户稳定实现脱贫攻坚战设定的目标，由于庭院养殖和种植带来的稳定收益，在实现脱贫目标后示范农户的家庭收入还在不断增加。第二，由于人居环境质量的改善，阻断了当地布鲁氏菌病、隐孢子虫等致病微生物的传播风险，提高了居民的健康水平。第三，由于具备温室大棚等庭院基础设施，示范农户学习种养殖技术的主动性、工作生活的积极性都得到提升，这也给未来农户充分利用庭院设施，通过引入高产与高附加值种养殖业品种，提高经济效益产出提供了可能。

表1 库伦旗农村庭院生态工程经济投入与收益分析

Table 1 Cost and benefit analysis of the courtyard eco-engineering project in Kulun county

投入类型和小计	投入金额/元	收益类型	收益金额/元
温室大棚(200 m ² ·座 ⁻¹)	62 000	蔬菜种植收益	8 000
厕所与浴室、家庭用水等设施	11 000	庭院养殖收益	10 000
污水处理设施	20 000	减少燃煤采购	1 000
雨水收集设施	10 000	减少氮肥采购	640
养殖粪便堆肥设施	1 000	—	—
生物质气化炉	10 000	—	—
太阳能热水器	800	—	—
经济投入小计	114 800	经济收益小计	19 640

3.3 长效推进对策

2021年2月25日习近平总书记庄严宣告，我国脱贫攻坚战已经取得全面胜利，提前10年完成联合国2030可持续发展议程的减贫目标。接下来，我国“三农”工作的目标也转变为坚守巩固脱贫攻坚成果，与乡村振兴战略有效衔接。库伦旗的庭院生态工程扶贫工作虽然已成功实现了既定目标，但是仍需在以下方面扎实推进，持续探索构建适宜于我国寒旱地区的庭院生态工程模式。

1) 开展实用型庭院生态工程技术的集成应用。首先，是充分利用温室大棚空间，推进低成本立体种植、轮种等高效农业生产模式。充分利用不同作物的空间和实践差异，推广立体种植模式，将喜阴、喜阳植物合理搭配种植，科学分配各块农田作物的生长周期，实现蔬菜、药材、水果等轮作，以提高单位面积农地的生物量产出。第二，开展种植技能培训，拓展高经济附加值的庭院作物品种，如黄芪、红花、海棠、葡萄、樱桃等。上述作物在库伦旗当地已具备种植和收购的产业基础，但农户种植还缺乏足够的产量提升、病虫害防治等种植技能。通过组织培训，可以大大提升温室大棚的经济产出。第三，开展庭院“种养结合”技术模式创新，在黄芪、红花、海棠等庭院作物下养殖肉鸡和蛋鸡，不仅利用温室大棚空间新增肉鸡、鸡蛋等养殖产品，鸡粪就地还田可提高作物产量。

2) 推进乡村振兴模式下的集中式庭院经济模式创新。在脱贫攻坚战中，农村庭院生态工程扶贫模式主要是帮扶到户，将人居环境改善设施和温室大棚等生产设施建设到需要脱贫的农户家中。随着我国城镇化进程的推进，农户可能搬迁到城镇中生活；还有可能因为农户老龄化或疾病无法从事庭院种植和养殖等劳动。未来，可充分发挥农村村委会基层组织的管理职能，对农村集体土地进行拓荒、开发，兴建集中式温室大棚和人居环境改善设施。庭院经济的土地和设施归属

村委会集体所有,由村委会根据经济收入、劳动能力、农业技能等农户条件,对温室大棚的种植空间整体或局部地分配或租赁给农户,并每年对种植绩效产出进行考核。对于大棚种植产量低下甚至撂荒的农户,实现动态退出机制,实现温室大棚基础设施的高效分配。

3)提升农村庭院生态工程基础设施保障与服务体系。尽管我国脱贫攻坚战已经取得全面胜利,但是我国农村的人居环境短板依然存在。生态环境部、国家发改委等7部委发布的《“十四五”土壤、地下水和农村生态环境保护规划》指出,我国仍有约三分之二的行政村未达到环境整治的要求,饮用水、污水、垃圾、畜禽粪便等环境基础设施仍然缺乏,其中饮用水安全、生活垃圾治理等也难以完全在农户庭院内得到有效解决^[16]。在我国寒旱地区,仍需持续建设集中式供水设施、提升农民用水安全,并改善饮用水口感,完善居民用水及牲畜用水分质供水体系。农村的生活垃圾处理也需要逐步建立分类、收运、处理处置体系,构建农村生活垃圾高效管理的长效机制,提高运行管理的可持续水平。此外,目前已建设的庭院生态工程设施在长期运行中需要进行维护保养和设施设备更新,这也需要在我国的乡村振兴工作中不断优化和完善。

4 结论

1)本研究以典型寒旱地区旗县库伦旗为例,针对其寒冷、半干旱气候特点以及目前农村院落的基本要素构成现状,设计并示范应用了基于脱贫和人居环境改善双目标的农村庭院生态工程模式。

2)该模式以“种植-养殖-厕所-清洗-水窖”为主线,包括温室大棚种植、改水改厕、庭院有机废弃物微生态循环、微型水处理与循环利用等单元技术,在农村庭院尺度上实现系统整合。

3)每个庭院每年可将6.6 t的畜禽粪便(0.14 t氮)、23.4 t中水、38.5 t雨水重新回到大棚种植系统,可突破寒旱地区气温较低、水肥缺乏等瓶颈,构建生活、种植、养殖于一体的复合型生态庭院,形成生态良好、环境整洁、资源能源集约利用的可持续农村庭院。

参考文献

- [1] 黄季焜,刘莹.农村环境污染情况及影响因素分析——来自全国百村的实证分析[J].管理学报,2010,7(11):1725-1729.
- [2] 刘彦随,周扬,刘继来.中国农村贫困化地域分异特征及其精准扶贫策略[J].中国科学院院刊,2016,31(3):269-278.
- [3] 罗玉,何娟,刘群星.云南贫困地区农村人居环境现状及整治建议[J].环境科学导刊,2020,39(S1):1-3.
- [4] 乔海军.寒旱地区农村生活污水处理工艺介绍[J].资源节约与环保,2019(7):69.
- [5] 孙成军.小型户用污水处理设备在寒冷及严寒地区农村厕所改造中的应用研究[D].山东农业大学,2019.
- [6] 王如松,周传斌.中国生态卫生建设的潜力、挑战与对策[J].生态学杂志,2008(7):1200-1206.
- [7] 中共中央办公厅,国务院办公厅.农村人居环境整治提升五年行动方案(2021-2025年)[EB/OL][2021-12-05].http://www.gov.cn/zhengce/2021-12/05/content_5655984.htm
- [8] 张志福.新农村庭院经济助力乡村振兴发展[J].中国集体经济,2021(34):6-7.
- [9] 崔龙燕,姚冀源.乡村振兴视角下民族地区庭院经济发展模式研究[J].农业经济,2019(4):25-26.
- [10] 张铜会,唐炜.精准扶贫中科技的作用——中国科学院内蒙古库伦旗扶贫对策与成效[J].中国科学院院刊,2016,31(3):357-361.
- [11] 张铜会,王竑盛,韩永滨.内蒙古库伦旗科技扶贫活动的实践与思考[J].中国科学院院刊,2018,33(10):1107-1114+998.
- [12] 杜松楠,王占军,于高娃,等.内蒙古自治区通辽市2004-2018年人间布鲁氏菌病流行病学特征分析[J].中华流行病学杂志,2020,41(7):1063-1067.
- [13] 郭立秋,杜向全.通辽市科尔沁区高氟地下水的成因及降氟改水的措施[J].哲里木畜牧学院学报,2000(4):37-39.
- [14] 中央农办,农业农村部,卫生健康委,等.关于推进农村“厕所革命”专项行动的指导意见[EB/OL][2018-12-25].http://www.gov.cn/gongbao/content/2019/content_5392301.htm
- [15] ZHAO K, XU R, ZHANG Y, et al. Development of a novel compound microbial agent for degradation of kitchen waste[J]. Brazilian journal of microbiology, 2017, 48: 442-450.
- [16] 生态环境部,发展改革委,财政部,等.“十四五”土壤、地下水和农村生态环境保护规划.[EB/OL][2021-12-29].http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/04/content_5666421.htm

(责任编辑:金曙光)

Courtyard Ecological Engineering for the cold and arid rural areas to alleviate poverty and improve environmental quality

ZHOU Chuanbin^{1,2,*}, CHEN Hao^{2,3}, ZHANG Fushen^{2,3}

1. State Key Lab of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco- Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. School of Resource and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Lab of Solid Waste Treatment and Recycling, Research Center for Eco- Environmental Science, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

*Corresponding author, E-mail: cbzhou@rcees.ac.cn

Abstract The cold and arid rural areas in China are characterized as agro-pastoral ecotone, scattered villages, poverty, and insufficient financial resources. It was challenging to mitigate poverty and promote environmental quality in such rural areas, where the residential infrastructures were insufficient, incl., toilets, and municipal solid waste, livestock manure and sewage treatment facilities. The studied case of this work is Kulun County, Inner Mongolia, China. A rural courtyard ecological engineering model was designed and demonstrated in line with the cold and arid climatic characteristics and the fundamental elements of local courtyard, for achieving the bi-goals of alleviating poverty and improving the residential environmental quality. The key concept of that courtyard ecological engineering was integrating planting, livestock breeding, sanitary toilet, fresh water supply, and water cellar as a whole system, while multiple technologies were applied at rural courtyard scale, such as greenhouse for planting vegetables and placing environmental facilities, improved drinking water supply and lavatories, organic waste treatment and nutrient recycling, decentralized sewage treatment and water recycling, and so forth. Results showed that 6.6 t of livestock manure (0.14 t of nitrogen), 23.4 t of wastewater, and 38.5 t of rain water could be recycled for the greenhouse planting, which could break through the bottlenecks of low temperature and insufficient water and nutrients in the cold and arid areas. It can be applied to build complex ecological courtyards, which are eco-environmental friendly, intensive utilizing of resource and energy, and increasing economic benefits for low-income household. The findings can provide evidences to the practice of residential environmental governance and the rural revitalization strategy in the cold and arid rural areas of China.

Keywords rural environment; living environment; rural courtyard; ecological engineering; toilet; cold and arid areas