

引用格式:魏慧,吕昌河,刘亚群,等.青藏高原设施农业分布格局及变化[J].资源科学,2019,41(6):1093-1101. [Wei H, Lv C H, Liu Y Q, et al. Spatial distribution and temporal changes of facility agriculture on the Tibetan Plateau[J]. Resources Science, 2019, 41(6): 1093-1101.] DOI :10.18402/resci.2019.06.08

# 青藏高原设施农业分布格局及变化

魏 慧<sup>1,2</sup>, 吕昌河<sup>1,2</sup>, 刘亚群<sup>1,2</sup>, 杨凯杰<sup>3</sup>

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101;

2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 福建农林大学林学院, 福州 350002)

**摘 要:**设施农业的快速增长是近10年来青藏高原农业发展的一个突出亮点。揭示设施农业用地的空间分布和变化特征,有助于理解青藏高原设施农业的发展态势,为其规划布局提供决策支持。本文基于2018年Google Earth高分影像数据,采用目视解译和地统计学分析相结合的方法,获取了青藏高原设施农业用地的空间分布格局;并选择西宁和拉萨为典型区,对比2008年和2018年设施农业用地的时空变化特征。结果表明:①2018年青藏高原共有设施农业面积7821.74 hm<sup>2</sup>,主要集中在河流两侧的城市周边,与河流走向大致吻合,其中青海和西藏设施农业面积分别占青藏高原设施农业总面积的58.10%和36.49%;②受海拔、地貌类型和城市分布的影响,设施农业分布海拔在1400~4600 m之间,但在2200~2600 m和3600~3900 m高程区间分布最为集中;③2008—2018年西宁和拉萨设施农业增长迅速,分别从293.73 hm<sup>2</sup>和429.01 hm<sup>2</sup>增至2111.45 hm<sup>2</sup>和1422.30 hm<sup>2</sup>。同时,因城市发展,两个城市超过60%的设施农业用地被建设占用,造成空间格局的显著变化;④设施农业在青藏高原发展前景良好,但也存在温室类型单一、变动频繁和“过程性浪费”等问题,应加强保护和规划管理,促进设施农业的良性发展。

**关键词:**设施农业;空间分异;时空变化;高分影像;青藏高原

DOI :10.18402/resci.2019.06.08

## 1 引言

设施农业通常是指采用人工建造设施,通过改善或创造局部环境,使传统农业在一定程度上摆脱气候和季节等自然条件的约束,实现农产品反季节上市或常年生产,进而提高土地现实生产力的农业<sup>[1-4]</sup>。近年来,以高技术、高投入、高产出为特征的设施农业在中国得到迅速发展,使中国成为设施栽培面积最大的国家<sup>[5,6]</sup>。中国设施农业主要包括塑料大棚、日光温室和连栋温室3种类型,分为设施蔬菜、设施花卉和设施畜牧等产业,以设施蔬菜规模最大<sup>[4,7]</sup>。

农牧业是青藏高原社会经济可持续发展的基础产业,也是农牧民收入的主要来源<sup>[8-11]</sup>。随着社会经济的发展,高原农牧民以糌粑(炒面)、奶制品、牛羊肉、酥油茶和青稞酒等食品为主的传统饮食结构逐渐

发生变化,对于蔬菜的需求日益上升<sup>[11]</sup>。然而受特殊自然环境的制约,传统农业无法有效满足当地农牧民膳食特别是蔬菜、瓜果的需求。为了解决这一问题,在国家外国专家局的大力支持下,建立了青藏高原设施农业引智基地,并于2002年11月在西藏自治区农科院农业科技示范园区正式挂牌运营。基地成立以来,青藏高原地区设施农业得到了迅速发展,极大地提高了当地蔬菜自给率,降低了居民消费价格,促进了区域社会经济发展<sup>[12-16]</sup>。

目前,学术界关于设施农业的研究主要聚焦于设施农业的工程技术<sup>[3,17,18]</sup>和经营效益<sup>[19-21]</sup>、设施农业研究的技术与方法<sup>[17,22]</sup>和设施农业发展的生态环境影响<sup>[6,23-25]</sup>等方面。有关设施农业发展现状及时空变化格局的研究很少,尤其是在青藏高原地区。为此,

收稿日期:2018-12-19 修订日期:2019-01-13

基金项目:中国科学院战略性先导科技专项(A类)“丝路环境”子课题“青藏高原农业发展与水土资源高效利用(XDA20040301)”。

作者简介:魏慧,女,山东潍坊人,博士生,主要从事土地利用相关研究。E-mail: irene1993weihui@163.com

通讯作者:吕昌河,男,山东莱芜人,研究员,主要从事土地利用相关研究。E-mail: luch@igsrr.ac.cn

本文基于 Google Earth 高分影像,运用目视解译和地统计学分析相结合的方法,识别了青藏高原地区 2018 年设施农业的空间分布;选择西宁市和拉萨市为典型区,揭示了两市 2008—2018 年设施农业用地的时空变化特征,意在摸清青藏高原地区设施农业用地现状、空间分异特征及其时空发展态势,为合理规划和调整设施农业空间布局提供决策支持。

## 2 研究区概况、数据来源与研究方法

### 2.1 研究区概况

青藏高原位于 73°20'E—104°20'E, 26°10'N—39°30'N, 平均海拔 4000 m 以上,其中海拔 4500 m 以上的地区占 56.34%,被称为“世界屋脊”和“第三极”。行政范围包括西藏和青海以及四川、甘肃、云南和新疆等省区的部分地区,土地总面积约为 255 万 km<sup>2</sup>,超过中国国土面积的 1/4<sup>[26]</sup>。青藏高原主体属高寒气候,夏季较凉爽湿润,冬季寒冷干燥,干湿季分明。高原年均降雨量多在 200~600 mm 之间,年均气温 -5.75~2.57 ℃,年日照时数为 2500~3400 h,年太阳总辐射量为 5000~8500 MJ/m<sup>2</sup>,光照充足。高原地形复杂多样,气候区域差异和垂直地带分异显著,具体表现为降水自东南向西北递减,气温随纬度和海拔降低而升高的分布态势。青藏高原是世界上最为重要的高寒农牧区之一,草地占全区土地总面积的 50.9%;农田占 1.70%,主要分布于海拔 4600 m 以下的河谷地区,其中以青海湟水河谷地、西藏一江两河地区分布较为集中。农作物种植主要以青稞、小麦、油菜为主,畜牧养殖以牦牛、绵羊为主。

### 2.2 数据来源与研究方法

本文所用数据主要为 0.24 m (19 级)~0.48 m (18 级)分辨率的 Google Earth 高分卫星影像。首先,以青藏高原区域范围矢量图<sup>[27]</sup>(地理坐标系为 GCS-WGS-1984,投影坐标系为 WGS-1984-UTM-Zone-47N)为边界,主要基于 2017 年 11 月—2018 年 11 月的卫星影像(基于该时段卫星影像解译所得设施农业面积占青藏高原设施农业总面积的 86.87%),通过目视解译获取青藏高原全区 2018 年设施农业用地。其中,70.47%和 16.40%的设施农业用地分别基于 2018 年和 2017 年 11—12 月份的卫星影像获取;其余 13.13%的设施农业零星分布在人口稀少的西藏西北部、青海西北部和新疆地区,由于近期影像数据缺失,因此,采用 2010 年 10 月—2017

年 10 月的高分影像提取。将基于 Google Earth 获取的解译数据存储为 kml 文件,然后利用 ArcGIS10.5 的转换工具将其转为 shp 文件,通过其空间分析工具识别青藏高原设施农业空间分布特征。基于 Google Earth 获取设施农业地块的海拔信息,以 100 m 间隔为单位,利用 Excel 统计不同海拔条件下的设施农业面积及其占比,结合研究区 30 m DEM(数据来源于 <https://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>) 识别其垂直分异特征。

其次,鉴于获取青藏高原全区早期高分影像较为困难,加之设施农业多分布在主要城市及其周边,本文选择西宁市和拉萨市为典型区,基于 2008 年和 2018 年两期 Google Earth 高分影像(分辨率均为 0.24~0.48 m,拍摄日期分别为 2007.11—2008.12 和 2017.11—2018.11),通过目视解译获取两市的设施农业用地。运用 ArcGIS 10.5 的空间分析功能,识别两市设施农业用地的时空变化特征(图 1)。

本文采用的影像分辨率高,设施农业用地多为宽度基本一致、长度有所变化的规则矩形,建筑规范,加之塑料覆膜反射率高,使得影像中设施农业用地的形状清晰可辨(图 2),与其他地类相比具有很好的可分性,保证了解译结果的准确性。

## 3 结果与分析

### 3.1 设施农业面积及区域差异

青藏高原地区城市和人口主要聚集在河谷地区。受此影响,设施农业的分布与河流走向十分吻合,大致沿河流两岸呈串珠状的空间分布态势(图 3)。

统计分析显示,2018 年青藏高原地区共有设施

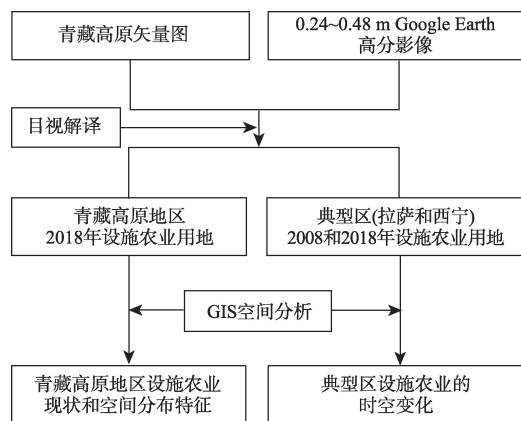


图 1 研究技术路线图

Figure 1 Technical roadmap of the study

2019年6月

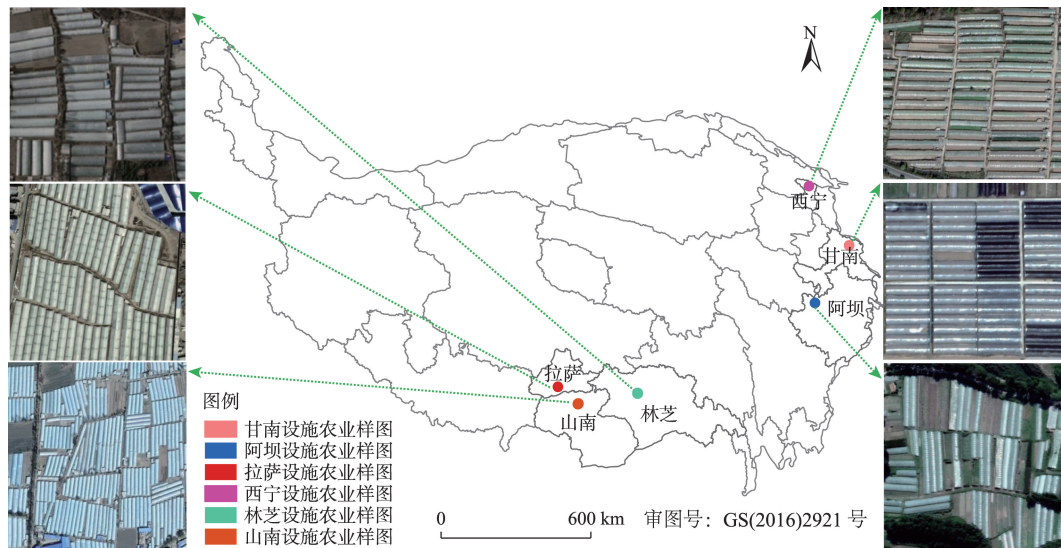


图2 青藏高原设施农业高分影像图示

Figure 2 Sample images of facility agriculture on the Tibetan Plateau

农业面积 7821.74  $\text{hm}^2$ , 集中分布在西藏南部、东南部和青海东部的主要城市及其周边地区(图3)。西宁、拉萨、日喀则等较大城市及其周边人口密集, 设施农产品的需求量大, 交通运输便利是形成这一分布态势的主要原因。在川西、甘肃西部和云南东北部等地区, 城镇规模较小, 因此, 设施农业的分布较为均匀, 零散分布在整个区域内。在省级尺度, 青海省设施农业面积最大, 达 4544.56  $\text{hm}^2$ , 占全区设施农业总面积的 58.10%; 西藏自治区次之, 设施农业面积为 2854.46  $\text{hm}^2$ , 占 36.49%; 甘肃和四川省设施农业占地面积十分接近, 分别为 225.92 和 154.04  $\text{hm}^2$ ; 云南省设施农业面积最少, 仅 42.76  $\text{hm}^2$ , 占比

0.55%(表1)。

### 3.2 设施农业随海拔高度的变化

高海拔是青藏高原地区自然环境的主要特色。受特殊自然环境的影响, 研究区设施农业在不同海拔高度下的面积及其占比不同, 沿海拔高度呈现显著的垂直分异特征(图4)。

设施农业累积面积曲线斜率反映不同海拔高程区间内设施农业所占百分比的大小。斜率越大、曲线越陡, 表明设施农业在此海拔高程区间内分布越集中、面积占比越大, 反之越小。据图4可知, 青藏高原设施农业主要聚集在海拔 2200~2600 m 和 3600~3900 m 之间的地带。结合研究区 30 m DEM 数据分析可知, 在 2200~2600 m 高程区间, 分布有林芝、山南、西宁等重要城市; 在海拔 3600~3900 m 之间, 则有拉萨和日喀则两市, 这些城市都是青藏设施农业的集中分布区。从各海拔区间内设施农业面积的数量关系上看, 3600~3700 m 高程区间内(主



图3 2018年青藏高原设施农业空间分布

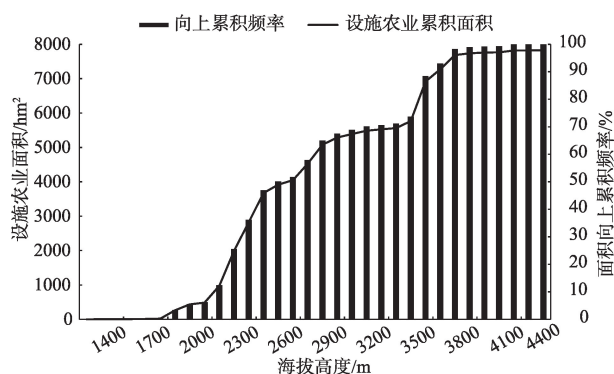
Figure 3 Spatial distribution of facility agriculture on the Tibetan Plateau, 2018

表1 青藏高原设施农业在各省区的分布情况

Table 1 Distribution of facility agriculture in provinces/autonomous region of the Tibetan Plateau

省区	设施农业面积/ $\text{hm}^2$	面积占比/%
青海	4544.56	58.10
甘肃	225.92	2.89
西藏	2854.46	36.49
四川	154.04	1.97
云南	42.76	0.55





注：“面积向上累积频率”代表某一海拔上限(≤此海拔上限)内设施农业面积占总面积的百分比。

图4 青藏高原不同海拔梯度下的设施农业分布情况

Figure 4 Distribution of facility agriculture in different elevation zones on the Tibetan Plateau

要为拉萨市)的设施农业面积最大,占全区设施农业总面积的14.70%;其次是2300~2400 m之间(主要为西宁市),占全区设施农业总面积的13.04%。在1400~1900 m和3900~4600 m的高度带,设施农业分布规模较小,面积总和仅占2.00%。这些地区多为山地森林区、高寒草原区和高寒荒漠区<sup>[28]</sup>,人口较少,对设施农产品的需求小,因此,设施农业规模不大。此外,海拔3300~3500 m之间区域,城镇规模小,设施农业面积也很少。

### 3.3 典型区设施农业的时空变化特征

西宁和拉萨两市设施农业分布集中,分别占青海省和西藏自治区2018年设施农业总面积的46.46%和49.83%。根据可获取的影像数据,对两市2008—2018年设施农业近十年间的时空变化特征分析(图5,图6)发现,两市设施农业用地增长迅速,分别增加6.19倍和2.32倍。

西宁市设施农业面积从2008年的293.73 hm<sup>2</sup>增至2018年的2111.45 hm<sup>2</sup>,增长了6.19倍。通过空间分析发现,10年间设施农业空间变化显著,2008年的设施农业有173.96 hm<sup>2</sup>(约占60%)在2018年转化为建设用地,只有119.77 hm<sup>2</sup>未发生变动(图5)。新增面积1991.68 hm<sup>2</sup>,增长了10.57倍,且集中于湟中县。减少的设施农业用地主要分布在市区、湟中县和大通县,其中有104.62 hm<sup>2</sup>转化为建设用地,占设施农业减少部分总面积的60.14%。从空间分布格局上看,2008年西宁市设施农业主要聚集在市区、湟中县和大通县(占比均在30%以上),呈“多中心”分布格局;10年间,设施农业逐渐向湟中县聚集,形成“以湟中县为主体,市区和大通县为两翼”的分布格局。其中,湟中县设施农业面积占比从2008年的31.44%增至2018年的50.60%,主体地位日益凸显。

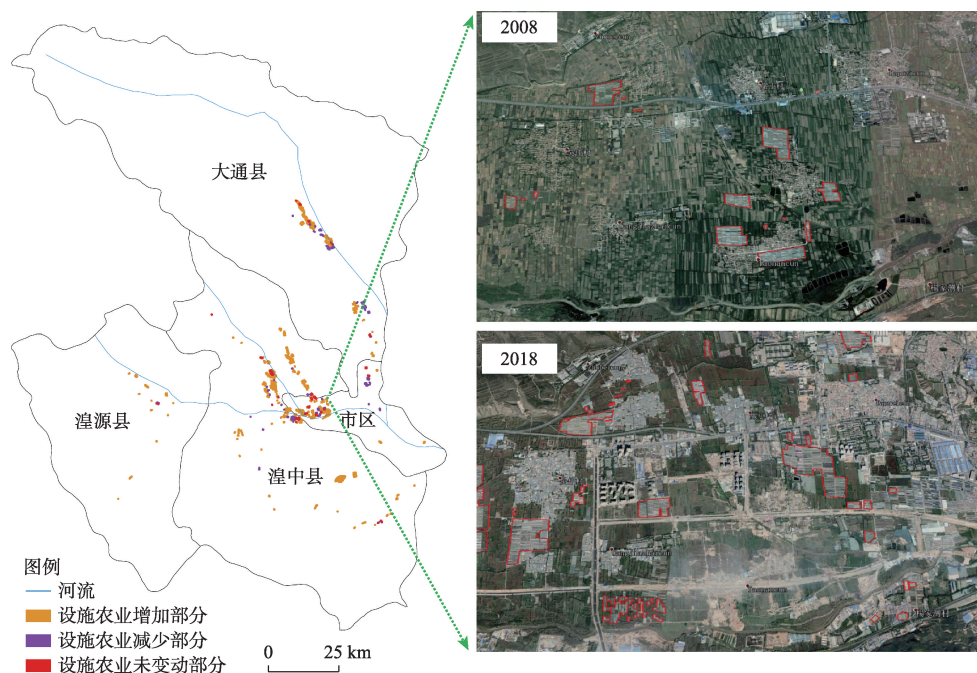


图5 2008—2018年西宁市设施农业的时空变化

Figure 5 Spatiotemporal changes of facility agriculture in Xining City, 2008-2018



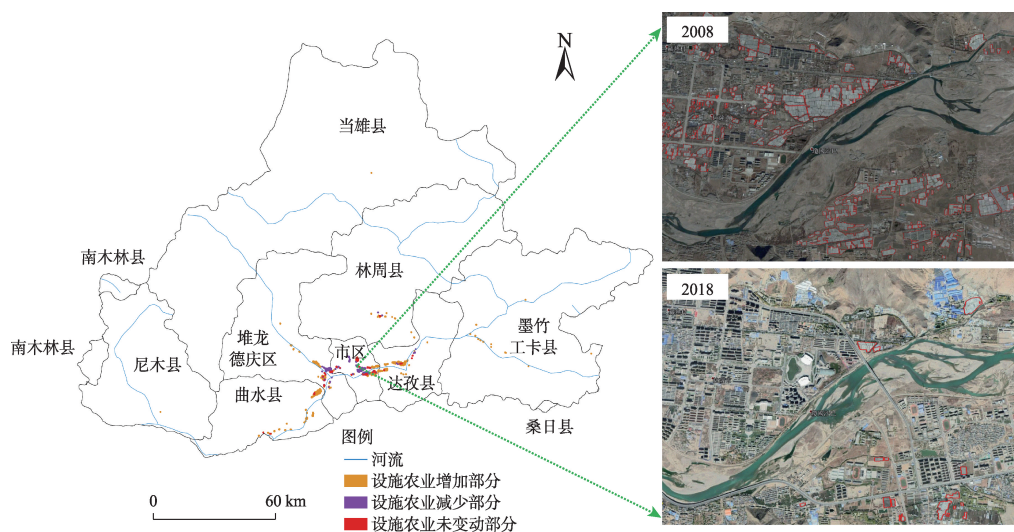


图6 2008—2018年拉萨市设施农业的时空变化

Figure 6 Spatiotemporal changes of facility agriculture in Lhasa City, 2008-2018

拉萨市设施农业面积从2008年的429.01 hm<sup>2</sup>扩大到2018年的1422.30 hm<sup>2</sup>,增长了2.32倍,呈由市区向外围蔓延的发展态势(图6)。市区设施农业空间变动较大,2008年拉萨市设施农业主要集中在市区,但到2018年大部分已被占用。统计分析发现,全市仅有96.62 hm<sup>2</sup>(22.52%)的设施农业用地得以保留,而77.48%(333.39 hm<sup>2</sup>)的设施农业用地被转为其他用地,其中294.46 hm<sup>2</sup>被建设占用,占设施农业用地减少面积的88.32%。从空间格局上看,拉萨市区设施农业面积呈减少趋势,面积占比从2008年的80.38%降至2018年的29.46%。全市2008—2018年新增设施农业用地1325.68 hm<sup>2</sup>,主要分布在曲水、达孜和堆龙德庆区,分别增加372.19 hm<sup>2</sup>、315.12 hm<sup>2</sup>和185.88 hm<sup>2</sup>。由此导致拉萨市设施农业从2008年的市区“一枝独秀”,转变为2018年的以市区为中心,市区、曲水、达孜和堆龙德庆区“四足鼎立”的分布格局。

分析西宁和拉萨2008—2018年设施农业空间蔓延与建设用地扩张的空间位置关系(图7)发现,两市新增设施农业用地与建设用地扩张方向一致,呈由市区向外围不断蔓延的空间发展态势。主要原因是城市快速发展导致市区建设用地紧张,致使市区内部设施农业用地转化为建设用地,而设施农业用地被政府安排到市郊,且占比下降;其次是城市扩张引起人口聚集使设施农产品需求量上升,进而带动了城市周边设施农业的发展。

## 4 讨论

青藏高原设施农业多聚集在主要城市及其周边地区,与城市和人口分布相契合,设施蔬菜和瓜果等就地供应,较好地满足了城市发展和人口聚集对于设施农产品的需求。据青海省农业农村厅(<http://nynct.qinghai.gov.cn/sites/MainSite>)公布的数据,青海省2018年的蔬菜自给率为65%,较2008年的57%提高8%。据中国西藏网(<http://www.tibet.cn/>)发布的文献数据,2018年西藏自治区主要城镇在夏、秋两季的蔬菜自给率达85%,冬、春两季自给率达65%,有效缓解了“吃菜难”问题。设施农业的快速发展,主要是由国家“菜篮子”工程,以及城市、居民收入和旅游业快速发展促使蔬菜需求增长而拉动的。据统计数据,2008—2017年间,西藏自治区和青海省地区生产总值从1413.47亿元增至3935.72亿元,增长了1.78倍;城镇化率从22.61%增至50.62%,提高了28.01%;城镇人口可支配收入从12482增至29622.61元,增长了1.37倍;两省区旅游人数也从226.70万人增至6045.53万人,增长了25.67倍。预计未来10年,青藏高原地区的城市化、经济和旅游业仍呈快速增长的态势,这既为发展高原设施农业带来重大机遇和美好前景,也存在巨大挑战。据西藏自治区“十三五”农业发展规划,未来蔬菜、瓜果等设施农产品的供求关系将长期处于紧张状态。为此,自治区政府制定了“旅游+农业”的

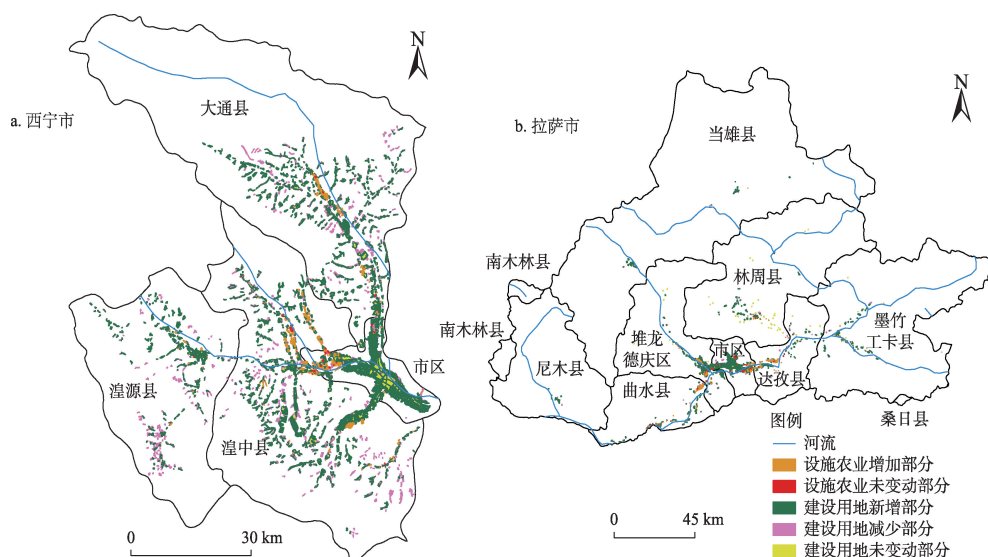


图7 设施农业发展与建设用地扩张的空间关系

Figure 7 Spatial relationship between facility agriculture development and construction land expansion

发展战略,争取到2020年实现全区设施蔬菜种植面积达到6667 hm<sup>2</sup>。为促进青藏高原设施农业的健康发展,需要关注下述问题:

(1)设施农业用地保护。从西宁、拉萨市区2008—2018年设施农业用地变化的分析结果看,近10年来设施农业用地增长迅速,但也呈现一定的无序化状态,变动较大,如2008年的设施农用地大部分已被建设占用。设施农业用地建设投资大,征地补偿标准较一般农用地高,被占用后,新征用地补偿标准会提高,导致政府对设施农业补贴的“过程性”浪费<sup>[4]</sup>。因此,为了规避建设占用风险和投资浪费,需要加强对设施农用地的规划管理,可将其融入土地利用总体规划和城市规划,与基本农田一样列入“禁止建设区”。

(2)温室类型多样化。据中国设施农业信息网(<http://data.sheshiyuanyi.com/AreaData/>)数据,青藏高原温室类型单一,早期以日光温室为主,2010年其占比在西藏和青海分别为80%和70%;近年逐渐转为塑料大棚,2016年其占比在两地分别达到87%和73%,而日光温室则下降到11%和23%。日光温室和塑料大棚造价低廉且建造容易,农户易于接受,但也存在效率相对较低,不易监管的弊端。连栋温室集约化和生产效率高,但因投资大,适于以公司为主的规模化经营,近年由于政府推动,在西藏和青海都得到较快发展。从增加农民收益的角度,应

稳定以农户经营为主的塑料大棚规模,同时鼓励企业投资建设连栋温室,促进蔬菜、瓜果的稳定供应。

(3)棚膜回收。设施农业通过控制环境因子和半封闭式生产,能充分利用光热和水土资源,有利于增加作物产量和固碳量<sup>[29]</sup>,增加农民收益。但设施大棚废弃的地膜和棚膜,如不清理彻底,其残膜碎片会严重影响土壤的含水量和透气性,造成耕地抗旱能力、肥力和生产力下降<sup>[30-32]</sup>;因管理不到位,残膜常弃于田边地头,造成一定的“视觉污染”<sup>[32,33]</sup>。建议根据国家《农田地膜残留量限值及测定》<sup>[34]</sup>,尽快制定农膜回收利用管理规范,规避地膜污染。

(4)生态风险。设施大棚因长期处于高温、高湿的环境,长期单一栽培和高强度的化肥、农药投入,会使土壤属性和水热平衡发生改变,造成土壤养分富集、土壤板结、病虫害加重和连作减产等农业生态问题<sup>[6,32-35]</sup>。对拉萨、日喀则、林芝等地的调查发现,大棚种植主要以农户为单元,常年连续种植包菜、油菜、小白菜、大葱、青椒、西红柿、黄瓜、茄子、西瓜等,专业分工较细,但监管和技术服务还不配套。应借鉴内地的成熟经验,根据青藏高原土壤和气候的独特性,制定高原设施农业作物栽培管理规范,严格化肥、农药的施用标准,规避可能的生态风险。

由于青藏高原相对封闭,区位条件限制了农产品的长距离运输,近10年的快速发展表明,设施农业是解决当地蔬菜、瓜果供应的根本途径,具备良好

2019年6月

的发展前景。应加强设施农业的细致化管理和长期规划,充分利用高原病虫害少的优势,以优质绿色为目标,将其建设成为高原特色农业的新名片,同时为旅游业和餐饮业发展提供支持,促进高原经济高质量发展。

## 5 结论

本文基于米级分辨率的 Google Earth 高分影像,获取并识别了青藏高原设施农业的现状分布格局;并以西宁和拉萨为典型区,探讨了两地 2008—2018 年间设施农业的时空变化。结果表明:

(1)得益于“菜篮子”工程、城市化和旅游业快速发展的拉动,近 10 年来青藏高原设施农业发展迅速。2018 年全区共有设施农业面积 7821.74 hm<sup>2</sup>,且集中在青海和西藏,两者面积占比高达 94.59%。受人口和城市主要聚集在河谷地区的影响,设施农业大致沿河流两侧呈串珠状分布。

(2)青藏高原设施农业分布的海拔上限和下限分别为 4600 m 和 1400 m,且以海拔 2200~2600 m 和 3600~3900 m 高程区间分布最为集中。西宁、拉萨、林芝和日喀则等大城市的人口在两个海拔高程区间的集中分布是造成设施农业现状分布格局的主要原因。

(3)2008—2018 年西宁和拉萨设施农业增长迅速。受城市建设的影响,两市新增设施农业用地与建设用地扩张方向一致,呈由市区向外围不断蔓延的空间发展态势。

(4)设施农业的快速发展,较好地满足了青藏高原城市发展和人口聚集对蔬菜、瓜果等设施农产品的需求,显著提高了当地的蔬菜自给率,但也存在温室类型单一、变动频繁和“过程性浪费”等问题。未来 10 年,青藏高原城市、经济和旅游业仍呈快速增长态势,设施农业发展前景良好。当地政府应加强用地规划和保护,促进设施农业有序和良性发展,使其成为青藏高原特色农业的新名片。

## 参考文献(References):

- [1] 张乃明. 设施农业理论与实践[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006. [Zhang N M. Theory and Practice of Facility Agriculture[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2006.]
- [2] 何芬, 马承伟. 中国设施农业发展现状与对策分析[J]. 中国农

学通报, 2007, 23(3): 462-465. [He F, Ma C W. Development and strategy of facility agriculture in China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2007, 23(3): 462-465.]

- [3] 高峰, 俞立, 卢尚琼, 等. 国外设施农业的现状与发展趋势[J]. 浙江农林大学学报, 2009, 26(2): 279-285. [Gao F, Yu L, Lu S Q, et al. Status quo and development trend of facility agriculture in foreign countries[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2009, 26(2): 279-285.]
- [4] 张凤荣, 张小京, 周建. 都市区设施农业用地空间变化及其政策启示[J]. 资源科学, 2015, 37(4): 637-644. [Zhang F R, Zhang X J, Zhou J. Spatial changes of greenhouse land and policy enlightenment in metropolitan areas[J]. Resources Science, 2015, 37(4): 637-644.]
- [5] 张乃明, 常晓冰, 秦太峰. 设施农业土壤特性与改良[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008. [Zhang N M, Chang X B, Qin T F. Characteristics and Improvement of Soil in Facility Agriculture[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.]
- [6] 史静, 张乃明, 包立. 我国设施农业土壤质量退化特征与调控研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(7): 787-794. [Shi J, Zhang N M, Bao L. Research progress on soil degradation and regulation of facility agriculture in China[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(7): 787-794.]
- [7] 徐茂, 邓蓉. 国内外设施农业发展的比较[J]. 北京农学院学报, 2014, 29(2): 74-78. [Xu M, Deng R. A comparative research on the facility agriculture development at home and abroad[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2014, 29(2): 74-78.]
- [8] 邓艾. 青藏高原草原牧区生态经济研究[M]. 北京: 民族出版社, 2005. [Deng A. Study on Ecological Economy of Grassland Grazing Areas in the Tibetan Plateau[M]. Beijing: The Ethnic Publishing House, 2005.]
- [9] 高永久, 邓艾. 藏族游牧民定居与新牧区建设: 甘南藏族自治州调查报告[J]. 民族研究, 2007, (5): 28-37. [Gao Y J, Deng A. Tibetan nomads' sedentary living and the construction of new pastoral areas: With two communities of Gannan Tibetan Prefecture as the cases[J]. Ethno-National Studies, 2007, (5): 28-37.]
- [10] 余成群, 钟志明. 西藏农牧业转型发展的战略取向及其路径抉择[J]. 中国科学院院刊, 2015, (3): 313-321. [Yu C Q, Zhong Z M. Discussion on development transformation strategies and path choices of agriculture and animal husbandry in Tibet[J]. Journal of the Chinese academy of sciences, 2015, (3): 313-321.]
- [11] 温军. 青藏高原农牧结合的功能、模式与对策[J]. 自然资源学报, 2000, 15(1): 56-60. [Wen J. Functions, patterns and countermeasures combining farming with stockbreeding on the Qinghai-Xizang Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2000, 15(1): 56-60.]
- [12] 王忠红, 关志华, 李丹. 基于地域资源优势的西藏设施农业发展分析[J]. 中国农学通报, 2010, 26(20): 388-392. [Wang Z H, Guan Z H, Li D. Analysis on the development of facilities agricultural based on the local resources in Tibet[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(20): 388-392.]



- [13] 郭小贤, 余小林. 西藏林芝地区蔬菜生产与供应[J]. 中国蔬菜, 2014, (12): 65–68. [Guo X X, Yu X L. The production and supply of vegetable in Linzhi, Tibet[J]. China Vegetables, 2014, (12): 65–68.]
- [14] 秦建军, 尤丽群, 宁万军, 等. 昌吉市“菜篮子”工程发展历程与思考[J]. 新疆农业科技, 2016, (3): 40–42. [Qin J J, You L Q, Ning W J, et al. The development process and thinking of “vegetable basket” project in Changji City[J]. Xinjiang Agricultural Science and Technology, 2016, (3): 40–42.]
- [15] 刘海川. 新疆兵团第九师设施农业发展思路之我见[J]. 现代农业, 2018, (9): 53–53. [Liu H C. Thoughts on the development of facility agriculture in the ninth division of Xinjiang corps[J]. Modern Agriculture, 2018, (9): 53–53.]
- [16] 郭正模. 设施农业: 西藏高原核心农区发展: “立体农业”的基本模式选择[J]. 决策咨询, 2014, (6): 17–21. [Guo Z M. Facility agriculture: Development of the core agricultural areas of the Tibetan plateau: Selection of the basic mode of “three-dimensional agriculture”[J]. Decision-Making & Consultancy, 2014, (6): 17–21.]
- [17] 齐飞, 周新群, 丁小明, 等. 设施农业工程技术分类方法探讨[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 1–7. [Qi F, Zhou X Q, Ding X M, et al. Discussion on classification method of protected agricultural engineering technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012, 28(10): 1–7.]
- [18] 戴起伟, 曹静, 凡燕, 等. 面向现代设施农业应用的物联网技术模式设计[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(5): 1173–1180. [Dai Q W, Cao J, Fan Y, et al. Systemic design of internet of things for application in modern facility agriculture[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2012, 28(5): 1173–1180.]
- [19] 李中明, 沈军, 王仲, 等. 北京市日光温室与塑料大棚生产效益分析[J]. 中国蔬菜, 2011, (22): 13–19. [Li Z M, Shen J, Wang Z, et al. Production efficiency analysis of solar greenhouse and plastic big-arch shelter in Beijing[J]. China Vegetables, 2011, (22): 13–19.]
- [20] 张光耀, 刘光远, 崔丽娜, 等. 西北干旱区设施农业土地利用效益研究: 以吐鲁番市为例[J]. 新疆农业科学, 2011, 48(6): 1157–1161. [Zhang G Y, Liu G Y, Cui L N, et al. Study on facility agriculture land use efficiency in northwestern China: A case study of the Turpan City in Xinjiang[J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2011, 48(6): 1157–1161.]
- [21] 张忠明, 周立军, 钱文荣. 设施农业经营规模与农业生产率关系研究: 基于浙江省的调查分析[J]. 农业经济问题, 2011, (12): 23–29. [Zhang Z M, Zhou L J, Qian W R. An empirical research on the relationship between management scale of environment controlled agriculture and agricultural productivity: Based on survey in Zhejiang Province[J]. Issues in Agricultural Economy, 2011, (12): 23–29.]
- [22] 邹利东, 郭航, 朱秀芳, 等. 设施农业空间分布信息自动提取方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2014, 29(4): 669–674. [Zou L D, Guo H, Zhu X F, et al. Automatically extracting the spatial distribution information of facility agriculture[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2014, 29(4): 669–674.]
- [23] 汪军, 骆永明, 马文亭, 等. 典型设施农业土壤酞酸酯污染特征及其健康风险[J]. 中国环境科学, 2013, 33(12): 2235–2242. [Wang J, Luo Y M, Ma W T, et al. Pollution characteristics and health risk assessment of phthalate esters in typical intensive agricultural soils[J]. China Environmental Science, 2013, 33(12): 2235–2242.]
- [24] 顾京晏, 顾卫, 张化, 等. 我国设施农业土壤次生盐渍化生物改良措施研究进展[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2016, 52(1): 70–75. [Gu J Y, Gu W, Zhang H, et al. Biological measures for soil improvement of facility agriculture in China[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2016, 52(1): 70–75.]
- [25] 陈丹艳, 杨振超, 孔政, 等. 设施农业固碳研究现状与展望[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(2): 122–128. [Chen D Y, Yang Z C, Kong Z, et al. Current situation and prospect of carbon sequestration facility agriculture[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2018, 20(2): 122–128.]
- [26] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189–196. [Xie G D, Lu C X, Leng Y F, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 189–196.]
- [27] 张懿锂, 李炳元, 郑度. 论青藏高原范围与面积[J]. 地理研究, 2002, 21(1): 1–8. [Zhang Y L, Li B Y, Zheng D. A discussion on the boundary and area of the Tibetan Plateau in China[J]. Geographical Research, 2002, 21(1): 1–8.]
- [28] Zheng D. The system of physico-geographical regions of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau[J]. Science in China (Series D), 1996, 39(4): 410–417.
- [29] 陈丹艳, 杨振超, 孔政, 等. 设施农业固碳研究现状与展望[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(2): 122–128. [Chen D Y, Yang Z C, Kong Z, et al. Current situation and prospect of carbon sequestration facility agriculture[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2018, 20(2): 122–128.]
- [30] 严昌荣, 刘恩科, 舒帆, 等. 我国地膜覆盖和残留污染特点与防控技术[J]. 农业资源与环境学报, 2014, 31(2): 95–102. [Yan C R, Liu E K, Shu F, et al. Review of agricultural plastic mulching and its residual pollution and prevention measures in China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2014, 31(2): 95–102.]
- [31] 王志超, 李仙岳, 史海滨, 等. 农膜残留对土壤水动力参数及土壤结构的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(5): 101–106. [Wang Z C, Li X Y, Shi H B, et al. Effects of residual plastic film on soil hydrodynamic parameters and soil structure[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 46(5): 101–106.]
- [32] 汪军, 杨杉, 陈刚才, 等. 我国设施农业农膜使用的环境问题刍议[J]. 土壤, 2016, 48(5): 863–867. [Wang J, Yang S, Cheng G C, et al. Environmental problems and countermeasures of mulch film application in intensive agriculture system in China[J]. Soils, 2016, 48(5): 863–867.]
- [33] 王冬霞, 吕凤香, 商粉莲. 浅析设施农业对生态环境的影响及防治措施[J]. 农业资源与环境学报, 2009, 26(5): 72–74. [Wang D X, Lv F X, Shang F L. The influence of facility agriculture on eco-

- logical environment and its control measures[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2009, 26(5): 72–74.]
- [34] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 25413–2010: 农田地膜残留量限值及测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011. [General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China. GB/T 25413–2010: Limit and Test Method for Residual Quantity of Agricultural Mulch Film[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011.]
- [35] 李东坡, 武志杰, 梁成华, 等. 设施土壤生态环境特点与调控[J]. *生态学杂志*, 2004, 23(5): 192–197. [Li D P, Wu Z J, Liang C H, et al. Characteristics and regulation of greenhouse soil environment [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, 23(5): 192–197.]

## Spatial distribution and temporal changes of facility agriculture on the Tibetan Plateau

WEI Hui<sup>1,2</sup>, LV Changhe<sup>1,2</sup>, LIU Yaqu<sup>1,2</sup>, YANG Kaijie<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Forestry College, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** During the past decade, the rapid growth of facility agriculture has been a new highlight of agricultural development in the Tibetan Plateau. Revealing the spatial distribution and change characteristics of facility agriculture is helpful for understanding its development trend and can provide supports for its planning and spatial layout on the plateau. Based on the high-resolution imagery data of Google Earth in 2018, this study obtained and revealed the spatial distribution of facility agriculture on the plateau by visual interpretation combined with geostatistical analysis. Further, the spatiotemporal changes of facility agriculture in Xining and Lhasa Cities were analyzed based on high-resolution images of 2008 and 2018. The results show that: (1) In 2018, the total area of facility agriculture on the Tibetan Plateau was 7821.74 hm<sup>2</sup>, mainly distributed at the periphery of cities in river basins, roughly in line with the rivers. Of the total facility agriculture lands, 58.10% was distributed in Qinghai Province and 36.49% in Tibet Autonomous Region; (2) Facility agriculture showed a significant altitudinal differentiation under the influence of topographic factors. The land was distributed between 1400 m and 4600 m, mostly concentrated in two elevation zones of 2200~2600 m and 3600~3700 m; (3) Facility agriculture grew rapidly in Xining and Lhasa Cities from 2008 to 2018, with the area increased from 293.73 hm<sup>2</sup> and 429.01 hm<sup>2</sup> to 2111.45 hm<sup>2</sup> and 1422.30 hm<sup>2</sup>, respectively. At the same time, more than 60% of facility agriculture lands in the urban areas was occupied by built-up land, resulting in significant changes in the spatial pattern; (4) There is a good prospect for the development of facility agriculture in the region because of strongly anticipated growing demands for vegetables and melons driven by the rapid urbanization and tourism development. To that end, a general planning for facility agricultural development is needed in order to avoid the lands being frequently changed and resulting in wasteful use, improve the situation of highly depending on single type of greenhouses, and avoid possible ecological problems such as plastic pollution.

**Key words:** facility agriculture; spatial distribution; spatiotemporal changes; high-resolution image; Tibetan Plateau