

# 油橄榄智能滴灌水肥一体化栽培技术研究

郭磊

(甘肃白龙江插岗梁省级自然保护区管护中心, 甘肃陇南 746000)

**摘要:** 【目的】探讨油橄榄智能滴灌水肥一体化栽培技术要点, 验证智能滴灌系统在提高油橄榄产量、减少人工投入、节约水资源等方面的实际应用效果, 实现水肥资源的优化配置。【方法】以油橄榄智能滴灌水肥一体化栽培示范区为典型研究对象, 对比分析传统栽培方式和智能滴灌水肥一体化栽培方式在用水、人工、产量等方面的差异, 评估智能滴灌水肥一体化栽培技术在油橄榄生产中的可行性。【结果】通过采用智能滴灌水肥一体化栽培技术, 全年灌溉量比常规节水72.95%, 节约人工费用2.88万元, 提高水肥管理效率90%, 单株产量增加65%, 产值提高16.38万元。【结论】在陇南市油橄榄栽培中, 智能滴灌水肥一体化栽培技术具有节水、节肥、提升产量、减少人工的应用效果, 值得在当地油橄榄栽培区域大力推广。

**关键词:** 油橄榄; 智能滴灌; 水肥一体化

## 引言

油橄榄是我国重要的经济作物之一, 其果实榨油后的橄榄油被誉为“地中海的液体黄金”。橄榄油广泛应用于食品、化妆品、医疗等多个领域, 是我国对外贸易的重要商品之一。然而, 传统的过量施肥方式不仅浪费资源, 而且会造成土壤和水源污染, 影响油橄榄的品质和产量。通过智能滴灌水肥一体化技术的实际应用, 能够精准控制水和肥料的供给, 减少资源浪费, 提升油橄榄产品品质<sup>[1]</sup>。基于甘肃白龙江插岗梁省级自然保护区概况, 本文深入分析了智能滴灌水肥一体化系统结构及油橄榄智能滴灌水肥一体化栽培技术要点, 以期通过整合灌溉、施肥、监测等环节, 实现水肥资源的精准管理, 提高油橄榄作物的产量和品质。

## 1 项目概况

甘肃省陇南市武都境内的白龙江流域, 位于海拔1300m以下的川坝河谷区及半山地带, 堪称全国最

适合油橄榄生长的黄金地带。直至2023年底, 陇南市油橄榄主要基地种植面积达到63.58万亩, 约占全国种植面积的80%<sup>[2]</sup>。武都区位于北亚热带的湿润半湿润气候带, 年平均气温约为14.9°C, 年日照时数约为1872h, 年降水量约为500mm, 且集中在5至7月份, 年蒸发量1180mm。结合当地实际情况, 选择土壤肥沃、水源相对充足的区域建设示范区, 总面积66700m<sup>2</sup>, 并将其划分为4个独立小区, 更有针对性地进行油橄榄种植管理, 提高当地油橄榄种植的效率 and 产量, 进一步推动当地农业发展和农民增收。

## 2 智能滴灌水肥一体化系统结构

该油橄榄示范区装备了完善的智能滴灌水肥一体化系统, 包括系统首部、田间首部、输水管网、滴灌管和智能控制系统5部分。通过应用这套智能滴灌系统, 针对试验示范区进行定时、定量的灌溉与施肥。智能滴灌水肥一体化系统结构, 如图1所示。

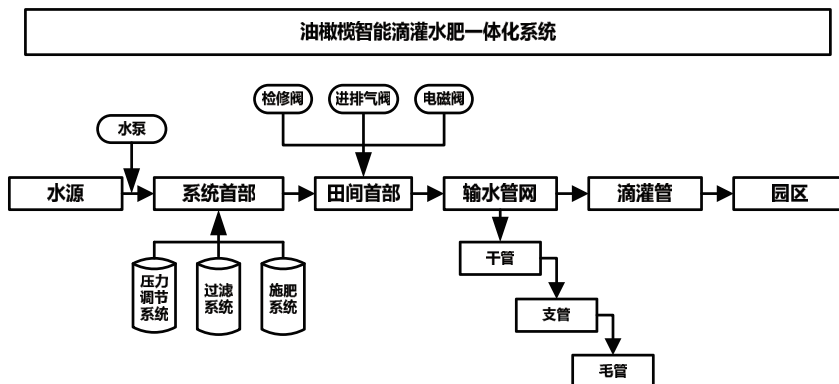


图1 油橄榄智能滴灌水肥一体化系统结构图

作者简介: 郭磊, 本科学历, 职称: 高级工程师, 研究方向: 林业技术推广。Email: 1739323827@qq.com

如图1所示, 综合集成系统首部、田间首部、输水管网及智能控制系统, 构成一个高度智能化、自动化的灌溉网络。系统以压力调节系统(包含变频控制柜)为核心, 通过变频技术实现高效的水资源利用, 确保水压的稳定性和适应性。过滤系统则由砂石过滤器和自动反冲洗叠片过滤器组成二级过滤系统, 确保水质纯净, 减少管路堵塞, 延长设备使用寿命。施肥系统通过施肥桶和注肥泵组合, 实现对作物营养的智能调控, 优化灌溉与施肥的同步作业<sup>[2]</sup>。田间首部作为农田水利的“神经中枢”, 配备了检修阀、进排气阀、电磁阀等组件, 确保系统在日常运行中维护的便捷性。输水管网则通过三级布局(干管、支管、毛管), 优化水资源的空间分布, 提高灌溉效率。在智能控制系统中, 通过智能控制采集器、云平台、APP等数字技术应用, 实现对灌溉系统的精准控制和高效管理。通过电磁流量计和土壤湿度传感器的集成, 进一步提升系统对作物需水量的感知能力, 实时监测土壤湿度, 为油橄榄生长管理提供科学数据, 提高农业生产的智能化水平。

### 3 油橄榄智能滴灌水肥一体化栽培技术要点

#### 3.1 智能化灌溉

##### 3.1.1 测定单次有效灌溉时长(灌溉量)

采用田间土壤剖面观测法, 研究示范区林地两种土壤类型(河砂土和砂壤土)的水分运移规律, 测定不同灌溉时长的土壤湿润锋运移距离(水分在土壤中的推进前沿)和土壤湿润体形态, 确定滴灌条件下不同土壤类型栽植苗木的单次有效灌溉时长<sup>[3]</sup>。

沿滴灌毛管方向精准挖掘一条观测坑。该坑的尺寸定为长3m, 宽1.5m, 深1.2m, 确保观测坑的长边与滴头之间保持10cm的距离, 每个滴头的均匀流量设定为2L/h, 滴头之间的距离则为50cm。在此基础上, 开展单点源的滴灌试验, 实验操作中, 将相邻的两个滴头用防水胶带紧密黏结固定, 以减少水流间的相互干扰, 提高试验结果的精确度。

整个滴灌过程通过智能系统控制, 持续时间为7-10h。每隔一个小时, 便对土壤剖面上的湿润锋进行详细的量化分析, 包括评估其在垂直方向上的移动距离, 以及在距离地表0、10、20、30、40、50和60cm位置处, 湿润锋所达到的水平位移半径。

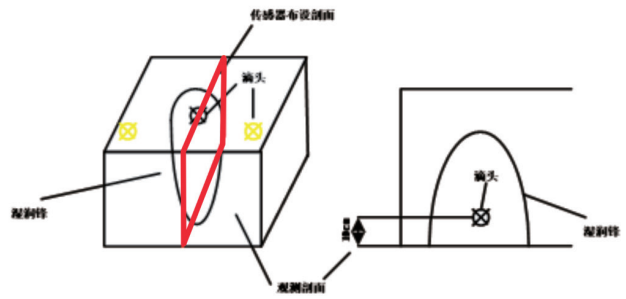


图2 土壤观测剖面布置示意图

在分析滴灌系统下土壤水分迁移特性基础上, 得出最优单次灌溉效率(即适宜灌溉量)。此过程中, 采用TH-GTS03型土壤湿度传感器监测土壤含水率, 并据此建立土壤含水率与田间持水量之间关系, 以作为启动灌溉的依据。

示范区林地滴灌过程中两种土壤类型下土壤湿润锋变化规律, 如图3、4所示。

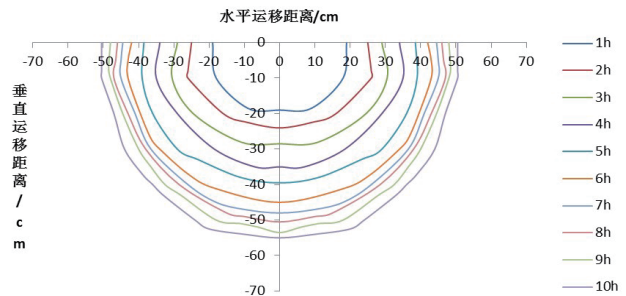


图3 砂壤土滴灌过程中湿润锋运移距离和形成的湿润体形态

由图3可以看出, 使用流量为2L/h的滴头滴灌时, 1-10h土壤湿润在砂壤土上的运移规律为: 1) 滴灌1-10h内, 形成土壤的湿润体形状, 近似于半圆形, 且在土壤深度10cm左右以上部分水平运移变化较少, 不同时间内形成的土壤湿润体最大直径出现

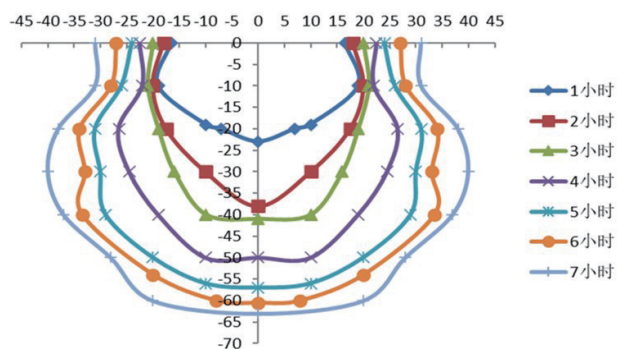


图4 河砂土滴灌过程中湿润锋运移距离和形成的湿润体形态

在土壤深度10cm左右；2)对于吸收根系主要分布于0-40cm的油橄榄树而言，在实施滴灌作业时，为了确保油橄榄树根系活动的核心区域(0-40cm)得到均匀且充分的湿润，需保障持续8h(>5h)不间断的灌溉，使得根系能够有效吸收水分，支持其生长和发育。

由图4可以看出，使用流量为2L/h的滴头滴灌时，1-10h土壤湿润并在河砂土上的运移规律如下：

1)在持续灌溉1-7h的过程中，随着灌溉时间的延长，土壤湿润度在垂直和水平方向上的迁移距离均呈现出逐渐增长的趋势，且在边缘区域呈现出不规则的分布特征；

2)针对根系主要分布在0-40cm范围内的油橄榄树，为了确保在滴灌过程中能够在根系主要分布区形成湿润带，需要持续进行6h(>3h)的滴灌，这样可确保土壤在0-40cm的深度范围内形成湿润带。

### 3.1.2 测定土壤类型田间持水量

在轮灌区2区(河砂土)、3区(砂壤土)分别布设一组土壤湿度传感器，分别深入至地表下20、40、60和80cm处。利用智能采集器，实时收集土壤湿度信息，在完成一个完整的灌溉周期后，对这些数据进行综合分析。通过分析不同土壤类型和深度的土壤湿度数据，计算出田间持水量 $\theta_{FC}$ ，即土壤吸水达到饱和后，重力排水停止时土壤所保持的水分含量，计算公式如(1)所示。

$$\theta_{FC} = P - \gamma_w (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2 + \dots + d_n \cdot h_n) \quad (1)$$

表2智能滴灌灌溉表

| 轮灌组 | 轮灌区 | 面积/亩 | 流量/(m <sup>3</sup> /h) | 灌溉时长/h | 参考监测站  | 启动灌溉参考土壤含水率(体积含水率)/% | 单次灌溉量/m <sup>3</sup> |
|-----|-----|------|------------------------|--------|--------|----------------------|----------------------|
| 1组  | 1区  | 44   | 13                     | 6      | 二区20cm | 13.7                 | 138                  |
| 2组  | 2区  | 18   | 12                     | 6      | 二区20cm | 13.7                 | 72                   |
| 3组  | 3区  | 15   | 10                     | 8      | 三区20cm | 14.0                 | 216                  |
|     | 4区  | 23   | 11                     |        |        |                      |                      |

通过考虑供水流量、土壤类型等因素，合理划分轮灌组，并据此制定智能滴灌灌溉表，使得每次灌溉都能在土壤湿度达到最佳状态，即土壤含水率维持在田间持水量的60%-80%，从而实现节水与增产的双重目标，促进农业现代化和可持续发展。

## 3.2 智能化施肥

### 3.2.1 确定年施肥量

将油橄榄树标准木全株对N、P、K营养元素的年吸收量，作为当年施肥量的参考标准，以满足树木

其中，P表示土壤毛细吸水力(Capillary Suction Head, CSH)，即土壤毛细吸力使水上升到一定高度的能力(单位为mm)； $\gamma_w$ 表示水的重度(单位为kN/m<sup>3</sup>或N/kg)，在标准大气压和4°C条件下水的重度约为9.81kN/m<sup>3</sup>； $d_1, d_2, \dots, d_n$ 分别为不同土层深度(单位为m)； $h_1, h_2, \dots, h_n$ 表示土壤水分特征曲线SWCC上的点对应的土壤含水率(单位为%)。考虑到当地水资源匮乏，将田间持水量的70%设定为灌水的触发阈值，通过实施这种程度的亏缺灌溉，保证果树的正常生长和高产，同时节约灌溉用水量。

### 3.1.3 划分轮灌组

试验示范区总占地面积达到100亩，划分为4个具备独立控制功能的区域，借助NetMind控制器实现对每个区域实施差异化的灌溉和施肥处理。为了实现更高效的灌溉，结合供水流量、土壤类型、分布位置等主要因素，将相近的几个轮灌区在一起灌溉<sup>[4]</sup>。划分的轮灌组，如表1所示。

表1 轮灌组划分表

| 轮灌组 | 轮灌区 | 面积/亩 | 流量/(m <sup>3</sup> /h) | 参考监测站  |
|-----|-----|------|------------------------|--------|
| 1组  | 1区  | 44   | 13                     | 二区20cm |
| 2组  | 2区  | 18   | 12                     | 二区20cm |
| 3组  | 3区  | 15   | 10                     | 三区20cm |
|     | 4区  | 23   | 11                     |        |

根据以上对土壤水分运移规律、土壤湿度传感器采集的数据研究，以及相应的轮灌组划分后，制定相应的智能滴灌灌溉表，如表2所示。

生长的需要<sup>[5]</sup>。通过上一年调查数据得出上一年油橄榄生长量，并推算出当年油橄榄树的生长量，测定各树种全株各个器官(根、干、枝、叶、果实)的N、P、K营养元素的百分含量，相乘得到全株的N、P、K营养元素的年吸收量，即年施肥量，如表3所示。

### 3.2.2 确定油橄榄生长发育规律与各阶段施肥量

调查陇南地区油橄榄各个生长发育阶段的时间，再根据各个生长发育阶段对养分的需求，分配全年营养元素配比，得出各生长发育阶段单株施肥

表3 油橄榄单株营养元素吸收量及施肥量

| 器官 | N/g    | P/g   | K/g    | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /g | K <sub>2</sub> O/g | 尿素/g    | 磷酸一铵/g | 硫酸钾/g   |
|----|--------|-------|--------|----------------------------------|--------------------|---------|--------|---------|
| 枝  | 74.69  | 14.65 | 91.79  | 33.56                            | 110.59             | 147.79  | 55.93  | 212.66  |
| 叶  | 379.43 | 47.76 | 361.98 | 109.38                           | 436.12             | 777.29  | 182.30 | 838.70  |
| 果  | 70.74  | 17.19 | 176.40 | 39.37                            | 212.53             | 136.66  | 65.62  | 408.71  |
| 合计 | 524.86 | 79.60 | 630.17 | 182.31                           | 759.24             | 1061.73 | 303.85 | 1460.07 |

量，如表4所示。

表4 油橄榄单株生长发育规律与各阶段施肥量

| 物候    | 时间            | 全年营养元素<br>配比/% |                               |                  | 单株施肥量/g |                               |                  |
|-------|---------------|----------------|-------------------------------|------------------|---------|-------------------------------|------------------|
|       |               | N              | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N       | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| 开花展叶期 | 4月15日至5月30日   | 40             | 20                            | 20               | 262.43  | 36.46                         | 151.85           |
| 坐果期   | 6月1日至6月15日    | 20             | 20                            | 20               | 104.97  | 36.46                         | 151.85           |
| 果实膨大期 | 6月16日至10月20日  | 30             | 40                            | 30               | 157.46  | 72.92                         | 227.77           |
| 成熟期   | 10月21日至11月15日 | 10             | 20                            | 30               | 52.49   | 36.46                         | 227.77           |

在每个生长发育阶段，每单株施肥量和每个轮灌区的油橄榄株数相乘，即可得出每个生长发育阶段每个轮灌区施肥量，再根据肥料特性，每7-10d施肥一次。智能滴灌施肥如表5。

表5 智能滴灌施肥表

| 生长发育阶段 | 轮灌区 | 总株数  | 总施肥量/kg |      |     | 施肥次数/次 | 单次施肥量/kg |      |     |
|--------|-----|------|---------|------|-----|--------|----------|------|-----|
|        |     |      | 尿素      | 磷酸一铵 | 硫酸钾 |        | 尿素       | 磷酸一铵 | 硫酸钾 |
| 开花展叶期  | 1   | 1300 | 552     | 79   | 380 | 5      | 110      | 16   | 76  |
|        | 2   | 625  | 265     | 38   | 183 | 5      | 53       | 8    | 37  |
|        | 3   | 615  | 261     | 37   | 180 | 5      | 52       | 7    | 36  |
|        | 4   | 1025 | 435     | 62   | 299 | 5      | 87       | 12   | 60  |
| 坐果期    | 1   | 1300 | 276     | 79   | 380 | 2      | 138      | 40   | 190 |
|        | 2   | 625  | 133     | 38   | 183 | 2      | 66       | 19   | 91  |
|        | 3   | 615  | 131     | 37   | 180 | 2      | 65       | 19   | 90  |
|        | 4   | 1025 | 218     | 62   | 299 | 2      | 109      | 31   | 150 |
| 果实膨大期  | 1   | 1300 | 414     | 91   | 569 | 13     | 32       | 7    | 44  |
|        | 2   | 625  | 199     | 44   | 274 | 13     | 15       | 3    | 21  |
|        | 3   | 615  | 196     | 43   | 269 | 13     | 15       | 3    | 21  |
|        | 4   | 1025 | 326     | 72   | 449 | 13     | 25       | 6    | 35  |
| 成熟期    | 1   | 1300 | 166     | 119  | 569 | 3      | 55       | 40   | 190 |
|        | 2   | 625  | 80      | 57   | 274 | 3      | 27       | 19   | 91  |
|        | 3   | 615  | 78      | 56   | 269 | 3      | 26       | 19   | 90  |
|        | 4   | 1025 | 131     | 93   | 449 | 3      | 44       | 31   | 150 |

4 效果验收

项目实施后，示范区管理人员使用手机、电脑等终端设备，即可对4个种植区进行智能化灌溉与施肥管理。布设在种植区的智能采集器和土壤环境传感

器，能够让管理人员实时掌握土壤水分、温度和电导率的动态变化，制定出科学的灌溉技术标准，从而做到适时适量的精准灌溉；通过分析油橄榄植株各器官的养分吸收量，制定出科学的施肥技术标准，从而做到少量多次的精细施肥，实现各个种植区水肥管理的智能化、标准化。

油橄榄智能滴灌水肥一体化栽培技术推广与示范项目

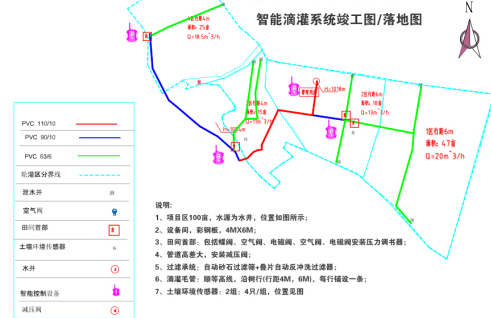


图5 油橄榄智能滴灌水肥一体化栽培系统竣工/落地图

根据滴灌栽培油橄榄的灌溉制度，计算出当年的单次有效灌溉量和全年灌溉总量，常规栽培按照前年该地块全年灌溉所用的灌溉量计算，按每年灌溉3次，每次灌水按50m<sup>3</sup>/亩进行计算。年平均灌水量对比表，如表6所示。

表6 年平均灌水量对比表（100亩）

| 明细项目                  | 灌溉       |            | 节省率/% |
|-----------------------|----------|------------|-------|
|                       | 智能滴灌系统灌溉 | 常规灌溉（拉沟灌溉） |       |
| 次数/次                  | 10       | 3          | —     |
| 单次所需水量/m <sup>3</sup> | 426.0    | 5250.0     | 83.33 |
| 总水量/m <sup>3</sup>    | 4260.0   | 15750.0    | 72.95 |

由表6可知，对2种栽培方式灌溉所用的总水量进行对比分析，智能滴灌系统灌溉的单次所需水量为426.0m<sup>3</sup>，总水量为4260.0m<sup>3</sup>。结果表明，滴灌全年灌溉量比常规节水72.95%。

如表7可知，使用智能滴灌系统栽培100亩油橄榄经济林，全年灌溉10次，只需20个工日，全年施肥23次，只需要12个工日，总计32个工日。而根据2019

表7 年灌溉施肥人工投入对比表（100亩）

| 明细项目      | 灌溉       |          |       |        | 施肥       |          |       |    |
|-----------|----------|----------|-------|--------|----------|----------|-------|----|
|           | 智能滴灌系统灌溉 | 常规灌溉（畦灌） | 节省率/% | 备注     | 智能滴灌系统施肥 | 常规施肥（撒施） | 节省率/% | 备注 |
| 次数/次      | 10       | 3        | —     | —      | 23       | 4        | —     | /  |
| 单次所需人工/工日 | 2.0      | 40       | —     | —      | 0.5      | 50       | —     | /  |
| 单次人工费用/元  | 200      | 1200     | —     | 100元/天 | 50       | 5000     | —     | /  |
| 总人工/工日    | 20       | 120      | —     | —      | 12       | 200      | —     | /  |
| 总人工费用/元   | 2000     | 12000    | 83.33 | —      | 1200     | 20000    | 94.00 | /  |
| 总效率提高     | 90%      |          |       |        |          |          |       |    |

年使用常规管理（畦灌、撒施）方式进行水肥管理的用工记录，全年灌溉3次需要120个工日，全年施肥4次需要200个工日，总计320个工日。

由表7可知，智能滴灌系统的灌溉、施肥总人工费用分别为2000元、1200元。与畦灌模式下的常规灌

溉相比较，总共节约人工费用2.88万元，提高水肥管理效率90%。

对试验示范区和对照区分别选定的五株标准木，进行全株测产。油橄榄示范林产量对比表，如表8所示。

表8 油橄榄示范林产量对比表（100亩）

| 栽培方式   | 单株产量/kg | 亩产量/kg | 总产量/kg | 总产值/万元 | 单株增长量/% | 平均冠幅/m <sup>2</sup> | 单位面积产量/千克/m <sup>2</sup> | 单位面积增长量/% |
|--------|---------|--------|--------|--------|---------|---------------------|--------------------------|-----------|
| 智能滴灌系统 | 33      | 660    | 69300  | 41.58  | 65.00   | 24.90               | 1.33                     | 35.71     |
| 常规     | 20      | 400    | 42000  | 25.20  | —       | 20.40               | 0.98                     | —         |

由表8可知，使用智能滴灌系统栽培100亩油橄榄经济林，平均单株产量达到33kg，而常规栽培平均单株产量只有20kg，单株产量增加65%，按照单位面积产量计算，每平方米产量增加35.71%。按照单价6元/kg计算，产值提高16.38万元，经济效益显著。

此外，本项目根据智能滴灌系统在油橄榄经济林装备及应用中的实际与预测成本、收益，以及传统培育方法下的实际生产成本与收益，评估分析了智能滴灌栽培与常规栽培油橄榄经济林的投入与产出。在智能滴灌系统方面，初始投资为35万元，假设使用年限为10年，年均投入为3.50万元（其中，年水电费约为0.65万元）。采用该系统后，每年可减少灌溉与施肥的人工成本2.88万元，同时产值增加16.38万元，因此年净节约与增效总额达到19.26万元。预计使用该系统2年即可回收投资成本。这表明了智能滴灌栽培油橄榄经济林项目的高投入与高回报特性。

### 5 结束语

综上所述，智能滴灌水肥一体化技术，作为一种创新的现代农业技术，通过对水分和养分的精确控制，为油橄榄的生长提供了理想的环境。这项技术的核心在于将灌溉和施肥两种农业活动结合起来，通过统一的系统进行操作。水分和肥料以精确的比例送达

到植株的根部，既满足了油橄榄生长的需求，又避免了资源的浪费。鉴于此，智能滴灌水肥一体化技术在油橄榄栽培中展现出显著优势。相较于传统栽培方法，该技术不仅实现了节水、节肥和节能，而且能够有效提高油橄榄的单株产量，缓解水肥管理不当导致的大小年现象，为我国林业生产带来显著的社会和经济效益。因此，各保护区管理人员应继续加大科研力度，完善相关技术体系，促进智能滴灌水肥一体化技术在我国油橄榄产业中广泛应用，为农村经济的全面发展注入新的活力。

### 参考文献

- [1] 赵宗华, 俞长庚. 基于物联网的智能滴灌系统设计与实现[J]. 南方农业, 2022, 16(21):107-114.
- [2] 刘江林. 油橄榄智能滴灌水肥一体化栽培技术应用效果分析[J]. 甘肃林业, 2022(5):32-34.
- [3] 李海峰, 郭丽娟, 于宏, 等. 智能滴灌水肥一体化在林业应用中存在的问题及推广建议[J]. 现代农业科技, 2021(16):150-152.
- [4] 王福. 农田水利工程中节水滴灌技术的运用探析[J]. 河南农业, 2022(14):39-40.
- [5] 姚军. 智能滴灌水肥一体化技术在林业育苗中的应用[J]. 林业科技通讯, 2020(3):81-83.