

CHINOOK 钦诺克®

More Professional, More Competitive  
and More Comprehensive



# 2026 植物营养液 技术宝典

Technical Bible of Plant  
Nutrient Solution



阿勒山(广州)生物科技有限公司  
Ararat (Canton) Biotechnology Co., Ltd

## 前言

本手册旨在为刚接触植物营养研究与无土栽培实验的新手，如农业大学相关专业实验室研一新生、相关企业初级研发人员，提供一份系统、详尽的指导文件。



内容聚焦于使用霍格兰营养液、木村B营养液等常见配方时，从实验设计、溶液配制、日常管理到问题诊断全流程中的常见操作误区、关键注意事项、典型问题及其深层解决方案。通过研读本手册，研究者能够快速建立操作规范，规避常见陷阱，提升实验的准确性与可重复性。



**科研更简单，请找阿勒山！** 想要解锁更多实验干货内容？欢迎关注阿勒山生物新媒体矩阵！科研实验遇到疑难问题，扫描二维码关注公众号，随时获取专属技术支持。

# 目 录

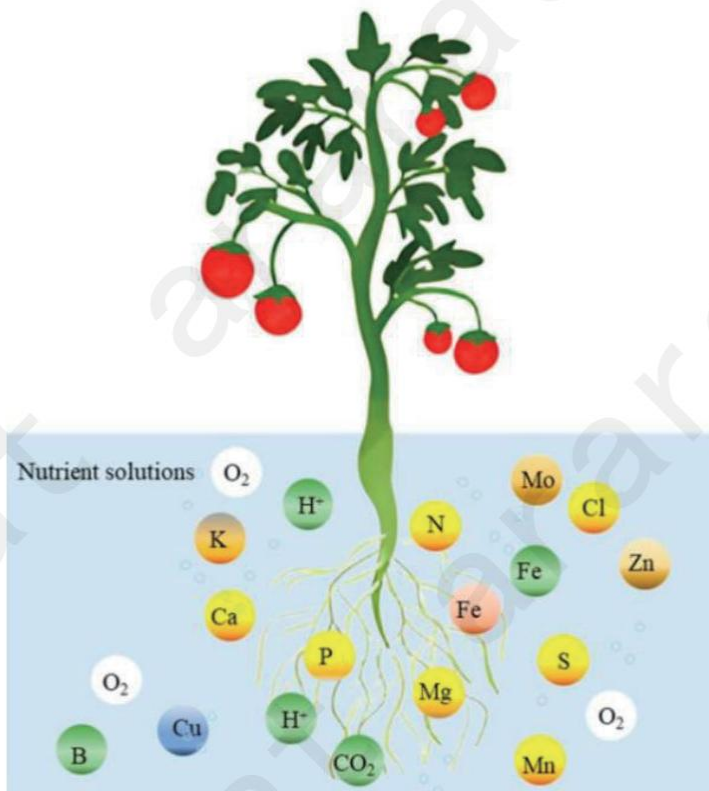
|                                         |           |
|-----------------------------------------|-----------|
| 前言 .....                                | 2         |
| <b>第一章 绪论：建立专业的植物营养实验 .....</b>         | <b>4</b>  |
| 1.1 植物营养液：不仅是“肥料”，更是精确的科学工具 .....       | 4         |
| 1.2 实验成功的三大基石：标准操作、细致观察与规范记录 ...        | 5         |
| <b>第二章 实验准备篇：构筑稳固的实验根基 .....</b>        | <b>6</b>  |
| 2.1 仪器设备的校准：数据可靠性的第一步 .....             | 6         |
| 2.2 实验材料的准备：从种子到系统的标准化 .....            | 8         |
| 2.3 营养液配制：精雕细琢的核心技艺 .....               | 9         |
| <b>第三章 实验操作篇：贯穿始终的精细化管理 .....</b>       | <b>12</b> |
| 3.1 移栽定植：关键的第一步 .....                   | 12        |
| 3.2 日常管理：创造最佳生长环境 .....                 | 12        |
| 3.3 实验观察与数据记录 .....                     | 14        |
| <b>第四章 问题诊断与解决篇：成为植物语言的高级解读读者 .....</b> | <b>15</b> |
| 4.1 问题诊断的“排查漏斗”模型 .....                 | 15        |
| 4.2 常见现象的诊断与解决 .....                    | 17        |
| 4.3 系统性问题排查清单 .....                     | 19        |
| <b>第五章 进阶与保障篇：从规范走向卓越 .....</b>         | <b>21</b> |
| 5.1 实验室安全与环保规范 .....                    | 21        |
| 5.2 实验设计的关键原则 .....                     | 22        |
| <b>第六章 植物营养液选择指南 .....</b>              | <b>23</b> |
| 6.1 霍格兰营养液 .....                        | 23        |
| 6.2 Yoshida水稻营养液 .....                  | 27        |
| 6.3 木村B（Kimura B）水稻营养液 .....            | 28        |
| 6.4 茶树营养液 .....                         | 30        |
| 6.5 拟南芥营养液 .....                        | 32        |
| 6.6 小麦营养液 .....                         | 35        |
| 6.7 番茄营养液 .....                         | 37        |
| 6.8 日本山崎营养液 .....                       | 39        |
| 6.9 油菜营养液 .....                         | 41        |
| 6.10 日本园试营养液 .....                      | 42        |
| 6.11 Clipson营养液 .....                   | 43        |
| 6.12 国内农业大学配方营养液 .....                  | 45        |
| <b>附 录 .....</b>                        | <b>46</b> |

## 第一章 绪论：建立专业的植物营养实验观

### 1.1 植物营养液：不仅是“肥料”，更是精确的科学工具

在植物营养学研究中，营养液绝非简单的“肥料溶于水”。它是一种化学成分精确、比例严谨、旨在模拟或优化植物生长所需根际环境的科学工具。

阿勒山生物提供的霍格兰营养液、木村B营养液等产品，基于数十年植物生理与营养学研究结晶的标准配方。例如，霍格兰营养液通用性、稳定性优异，广泛用于各类植物无土栽培研究，适宜pH5.8-6.0；木村B营养液基于土壤浸提液开发，适配水稻栽培，拥有特征性氮钾比例。配置与使用营养液时，需遵循精密化学试剂操作规范，保障实验严谨。



## 1.2 实验成功的三大基石：标准操作、细致观察与规范记录

植物营养实验以活体植株为研究对象，存在生物差异性、环境干扰性、养分动态变化性等多重变量。所有可靠的实验结果，均建立在三大核心基础之上：



**1. 标准化操作（SOP）：**从器皿清洗、母液配制、工作液稀释到pH/EC校准，每一个步骤都必须有章可循，杜绝随意性。标准操作规程（SOP）是实验室内确保数据可比性、可重复性的生命线，涵盖了从仪器校准、溶液配制到植物管理、数据记录的全过程。

**2. 系统性观察与诊断：**植物是活体传感器，其叶片颜色、形态、生长速率都是对营养与环境状况的直接反馈。实验过程中需建立周期性、对比式、精准化的观察机制，这是研究者必须具备的核心实验素养。包括了对营养缺乏症叶部症状的精准识别，如氮缺乏导致老叶均匀黄化，而铁缺乏则表现为新叶脉间失绿。

**3. 原始数据记录规范：**实验记录是科研的真实性和可追溯性的基石。所有操作、观察、测量数据都必须真实、及时、完整地记录在案，不得涂改。一个标准的实验记录模板应包含实验日期、目的、材料与方法、原始数据、结果图表、问题与思考等部分。

## 第二章 实验准备篇：构筑稳固的实验根基

### 2.1 仪器设备的校准：数据可靠性的第一步

#### 1. pH计（酸度计）的校准与维护



**校准频率：**理想情况下，应在每次使用前进行校准。若实验周期长，至少保证每周校准一次。当读数可疑、更换电极或长期未使用后，必须校准。

**标准缓冲液选择：**采用双点校准法，绝大多数植物营养液实验适用pH 4.0、pH7.0缓冲液校准。对于在碱性环境下生长的植物（如部分水稻研究），则需使用pH7.0和pH10.0缓冲液进行校准。

#### 2. 校准操作误区与规范

**误区：**不同缓冲液切换测量时未冲洗电极、使用纸巾擦拭电极球泡（易划伤球泡、产生静电干扰读数）、使用过期、污染、浑浊的缓冲液校准。

**规范：**用蒸馏水或去离子水轻轻冲洗电极，并用无屑滤纸吸干。将电极浸入缓冲液，轻轻搅拌后静待读数稳定，再按仪器说明书校准。校准完成后，用校准回读功能验证斜率（电极斜率标准区间为95%~102%）。

**日常维护：**严禁电极玻璃泡干涸，防止电极失效。实验间隙需浸泡在专用电极保存液中，长期闲置时，按设备说明书完成清洗、养护，选择干放或专用保存液浸泡。

## 2. EC仪（电导率仪）的校准与使用



**校准溶液：**使用标准EC校准液，常用参考值为 $1.413\text{mS/cm}$ （ $1413\mu\text{S/cm}$ ）。

**校准流程：**测量前用去离子水清洗电极，去除残留杂质干扰；选用标准校准液完成校准。EC仪通常具有温度补偿功能，确保测量的是标准温度（ $25^{\circ}\text{C}$ ）下的电导率值。

**温度对测量的影响：**营养液的EC值随温度变化明显（每升高 $1^{\circ}\text{C}$ ，EC增加约 $1.9\%\sim 2.2\%$ ）。如果仪器的温度补偿功能未启用或失效，同一营养液在早晨和下午的读数可能相差 $5\%\sim 10\%$ ，足以造成错误判断。

**注意：**使用EC仪时，确保温度补偿功能已开启（ATC），并记录测量时的液温。若仪器无ATC功能，需将读数换算至 $25^{\circ}\text{C}$ 标准值。

### 常见误区：

**混淆EC与TDS概念：**EC是直接测量值，TDS是基于EC的换算值。不同品牌的换算系数不同，严禁以TDS数据替代EC进行实验对比与结论分析，避免数据偏差与实验误判。

**测量气泡干扰：**电极表面附着气泡会遮挡感应区域，造成读数偏低、数据失真，测量前需检查并轻震电极排尽气泡，待读数稳定后记录数据。

**忽视定期校准：**EC仪无长期稳定性，长期未校准会累积系统误差，需严格跟随实验周期定期校准，保障数据精度。

## 2.2 实验材料的准备：从种子到系统的标准化

### 1. 种子表面灭菌: 无菌苗培育的第一步

水培实验常需从无菌苗开始，以防止病原菌和藻类污染。

#### 常用药剂及浓度：

**NaClO**：最常用。推荐浓度1%-2%，处理时间10-20min，具体需根据种子大小和种皮坚硬程度进行优化。家用漂白水有效成分约5%NaClO，若稀释至10%-20%（对应最终有效氯0.5%-1%）即可使用。

**Ethanol**：70%-75%酒精，处理30s-1min，主要用于初步浸润和脱脂，常与次氯酸钠联用。

#### 标准操作流程：

**（1）精选与清洗**：挑选饱满、无破损的种子，用清水冲洗2-3次，去除表面灰尘和杂质。

**（2）Ethanol预处理（可选）**：在超净工作台中，用70%Ethanol浸泡种子，期间不断摇晃，倒掉乙醇。

**（3）NaClO灭菌**：立即加入1%-2%NaClO溶液（可加入1-2滴Tween-20作为润湿剂以增加接触面积），处理10-20min，期间不时摇晃。

**（4）无菌水冲洗**：倒掉灭菌剂，用足量无菌水冲洗种子至少3-5次，彻底去除残留的NaClO。

**关键注意事项**：灭菌不彻底会导致后期实验污染，但灭菌过度会毒害或损伤种子。初次使用某种种子时，需进行浓度-时间梯度预实验，以找到既能有效灭菌又不显著降低发芽率的最佳组合。

实际操作中，灭菌后种子通常需经过催芽使其露白（胚根伸出）后再移入水培系统，否则种子在水中长期浸泡容易缺氧腐烂，发芽率大幅下降

种子表面灭菌流程





## 2. 催芽与幼苗培育

灭菌冲洗后的种子需进行催芽处理，待胚根伸出（露白）后方可移入水培系统。

### 常用催芽方法：

**湿纸法：**将灭菌后的种子均匀铺在湿润的无菌滤纸（或纱布）上，置于培养皿中，盖盖保湿，在适宜温度（因植物而异，多数植物25~28℃）的暗处或弱光下催芽。每日检查并保持滤纸湿润，防止干燥。

**湿润石英砂法：**将种子播于湿润的无菌石英砂中，保湿催芽，适用于较大粒种子。

## 3. 水培系统的选择与避光处理

光照穿透营养液会诱发藻类爆发，藻类争夺养分、堵塞根系、改变溶液pH/EC，遮光为系统搭建第一要求；根系长期缺氧易发生根腐，持续通气是水培实验核心保障。

**系统构建：**选择不透明或深色容器（如黑色塑料盆、包裹铝箔的玻璃容器），这是防止藻类滋生的首要物理屏障。为每个容器配置独立的通气装置（气泵+气石），保证根系获得充足溶氧。

**定植板：**使用不透明泡沫板或塑料板，孔径与定植篮匹配。确保定植后根系处于黑暗环境中。

## 2.3 营养液配制：精雕细琢的核心技艺

以下配制方法以实验室自行配制三种母液为例。温馨提示：这种传统方法极易出错；如需更快捷、准确的方案，可选择我司各种改良版营养液，只需按说明书操作即可。

### 1. 母液配制：专业的第一步

接称量微量成分（如钼酸铵、硫酸铜）配制工作液会产生巨大误差。科研通用标准为配制高倍浓缩母液（100倍、200倍、1000倍），低温避光保存，实验时定量稀释使用。

**A-B-C母液分装原则：**为避免在高浓度下产生沉淀，必须将易反应的盐类分开配制。

**A母液（钙盐）：**单独溶解硝酸钙等。钙离子易与磷酸根、硫酸根反应生成沉淀，如磷酸钙、硫酸钙。

**B母液（磷酸盐、硫酸盐等）：**溶解磷酸二氢铵、硫酸镁等。

**C母液（微量元素）：**溶解铁盐（如Fe-EDTA）及其他微量元素。铁元素对光敏感，需用棕色瓶或严格避光保存。

### 操作误区与解决方案

**误区1：**配制顺序错误，将A、B母液在浓缩状态下混合（或：浓缩母液直接混合、加液顺序混乱）。

**解决方案：**严格遵守A、B、C液分开配制、分开保存的原则。稀释成工作液时，也必须先加大量水（目标体积的60%-80%），再依次加入A液、B液、C液，每加入一种后都充分搅拌均匀，最后再定容。

**误区2：**为图方便，将所有化合物逐一称量后倒入同一容器中再加水搅拌（或：所有药品集中称量、统一入水搅拌）。

**解决方案：**这是一种极易导致局部过浓、产生沉淀且溶解缓慢的“自杀式”操作。必须遵循“先水后盐，逐一溶解”的原则，即先在烧杯中加入大部分溶剂，在搅拌下缓慢加入一种药品，待其完全溶解后再加入下一种。

**误区3：**不重视微量元素，认为“一点点”不影响（或：轻视微量元素，认为微量组分不影响实验）。

**解决方案：**微量元素虽是“微量”，却是植物生理生化过程的关键因子。缺乏同样会导致严重的症状。配制时建议使用微量天平（精确到0.1mg或1mg），或先配制更高浓度的母液再二次稀释。

**误区4：**浓缩铁盐母液配制后很快产生沉淀（或：铁盐母液短期沉淀、失效变色）。

**解决方案：**未使用螯合态铁（如Fe-EDTA）或未酸化。铁盐母液在pH较高时极易生成氢氧化铁沉淀。配制Fe-EDTA母液时，应按照配方比例分别溶解 $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ 和 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ，再将二者混合，加热螯合。配制完成后，可滴加少量盐酸使pH降至3-4，并避光保存。

## 2. 工作液配制:将浓缩变为可用

### 操作流程：

**（1）加水：**在目标容器中加入约占总体积60%-80%的去离子水或蒸馏

(2) **加A液**：边搅拌边缓慢加入计算好体积的A母液。

(3) **加B液**：同上，缓慢加入B母液，持续搅拌。

(4) **加C液**：同上，加入C母液。

(5) **定容**：用去离子水将溶液补充至最终体积，充分搅拌均匀。

**核心注意事项**：pH的调节应在所有营养盐加入并充分混合之后进行，定容后微调。因为溶液中的离子平衡具有缓冲作用，提前调pH在后续加盐后会发生剧烈漂移，导致最终体系参数不精准。

### 3. 化学试剂安全操作规范

营养液配制涉及高浓度盐类、酸碱试剂，必须严格执行实验室安全操作准则。

**个人防护装备（PPE）**：操作时必须穿戴实验服、护目镜和耐腐蚀手套。若称量粉剂可能产生粉尘，建议在通风橱内进行或佩戴口罩。

**浓酸稀释**：严禁将水倒入浓酸！正确的操作是将浓酸沿容器壁缓慢注入水中，并不断搅拌，使产生的热量迅速扩散。此操作必须在通风橱内进行。

**化学品管理**：所有试剂瓶必须有清晰标签，标明名称、浓度、配制日期和配制人。禁止使用无标签试剂。建立试剂领用与配制记录台账，做到原料可核对、过程可追溯。

### 4. 重金属废液分类收集与处置规范

微量元素母液中含有的铜、锌、锰、钼（甚至可能含钴、镍等）属于重金属。配制和使用过程中产生的含重金属废液不能直接倒入下水道。

**废液分类收集**：单独配置专用耐腐塑料废液桶，张贴「含重金属营养液废液」标识，只收纳营养液相关废液，不与酸碱废液、有机废液混装。

**废液暂存要求**：废液桶加盖避光存放，液面不超过容积80%，避免搬运洒漏。

**标准化处置**：待废液积攒至一定量后，移交具备资质的废液处理机构统一回收处置，留存废液交接台账，做到全程可追溯。

## 第三章 实验操作篇：贯穿始终的精细化管理

### 3.1 移栽定植：关键的第一步



**时机选择：**当种子发芽后，幼苗根系长至3-5cm，子叶完全展开，第一片真叶出现时为最佳移栽期。

**操作规范：**用镊子轻轻夹取幼苗子叶或茎基部，切勿捏伤嫩茎或根系。将根系从定植篮底部穿过，无菌水培体系不添加固体基质，常规非无菌培养可用少量消毒后的基质（如蛭石、岩棉颗粒）轻轻固定。确保根系完全浸入营养液，而茎基部与液面保持1-2厘米的空气层，防止烂茎。

**缓冲期管理：**移栽后3-5天为缓苗期。此时植物根系尚未恢复，吸收能力弱。建议使用1/4或1/2浓度的标准营养液，避免高渗透压灼伤新生根系。

### 3.2 日常管理：创造最佳生长环境

#### 1. 营养液管理

**定期更换：**植物根系会不断吸收养分和水分，并分泌代谢产物，导致营养液成分失衡、pH变化和潜在自毒物质积累。建议生长旺盛期每5-7天更换一次营养液，苗期和成熟期可延长至7-10天。不要只“加新水而不换旧液”。

**液位维持：**在更换周期内，植物蒸腾作用会使液面下降。需每日用去离子水补充至原始液位。切勿用营养液补充，否则会导致EC值缓慢爬升，造成盐害。

**通气管管理：**保证气泵24小时不间断工作。根系缺氧是水培失败的主要原因之一。检查气石是否堵塞，气管是否弯折。

## 2. pH与EC的日常监测与调整：

**监测频率：**每日或隔日使用校准后的pH计和EC仪测量一次，并做记录。

**目标范围：**多数作物在pH5.5-6.5之间均可正常生长。霍格兰营养液的理想pH为 $5.8 \pm 0.2$ 。木村B营养液适用于水稻，其pH通常设定在5.5-5.8之间。

**调整方法：**使用稀酸（如1M HCl）或稀碱（如1M NaOH/KOH）进行微调。用滴管逐滴加入，边加边搅拌，直至达到目标值。记录所用酸碱量，该数值可直接反映植株阴阳离子的吸收失衡程度。

**EC管理：**EC值反映了营养液总盐浓度。随植物生长，若EC值持续快速下降，说明养分供应不足，需提高更换频率或调整浓度；若EC值升高，说明植物蒸腾吸水速率大于吸肥速率，盐分积累，需立即用去离子水稀释或更换新液，这是导致叶片焦边、发黄的主要原因之一。

## 3. 环境因子控制

**光照：**光照是光合作用的驱动力。确保光照强度和光周期符合实验植物需求。光照不足会导致植物徒长、黄化。

**温度：**根系环境温度对养分吸收影响巨大。理想的水培根际温度通常在18-25℃之间。温度过高会降低溶氧量，加剧根部呼吸，导致缺氧腐烂；温度过低则抑制根系活力，导致磷、钾等吸收受阻。

**通风：**良好的空气流动不仅能为地上部提供二氧化碳，还能降低叶面湿度，预防病害。高密度培养架环境必须保障空气循环。

### 3.3 实验观察与数据记录

养成每日观察、按时记录的习惯，是确保实验数据可靠性的基础，也是从“按步骤操作”转向“主动发现问题”的关键。



#### 观察内容：

**地上部：**株高、叶数、叶色（注意新叶和老叶的颜色差异）、茎粗、有无斑点、坏死、畸形、花和果实的发育状况等。

**根系：**根色（健康的根为白色或乳白色，褐变或黑化是缺氧或病害的征兆）、根长、侧根数量、根形态等。

**环境与溶液：**每日记录气温、水温、湿度、光照强度、营养液pH和EC值、加水量、有无藻类或异味等。

**记录方法：**采用标准实验记录本，使用黑色水性笔记录。数据记录要原始、直接，不得事后誊抄或涂改。错误数据用单线划掉并签名，保留原貌。定期（如每周）进行阶段性总结，并附上代表性照片。

## 第四章 问题诊断与解决篇：成为植物语言的高级解读者

当植物出现异常表型时，必须系统性地排查。本手册建立由外到内、由系统到植株、由非生物胁迫到营养胁迫的“排查漏斗”模型，通过固定优先级逐级排除干扰变量，最终实现精准诊断。

### 4.1 问题诊断的“排查漏斗”模型

排查开始前，请先确认：实验材料是否来自同一批种子或同一来源的幼苗？植物在移栽前是否已存在潜在问题（如育苗期就已黄化或徒长）？是否排除了病虫害的可能？这些因素常被误判为营养问题。排查漏斗从操作层面入手，但若实验材料本身存在问题，任何营养液调整都难以挽回。



当发现问题时，禁止直接判定缺素/毒害，可按照以下顺序逐级排查，前一级问题排除后，再进入下一级诊断。

**1. 环境胁迫排查（操作失误）：**绝大多数水培异常来源于操作与环境波动，而非营养本身。重点核查近期变量变动：是否超时未换液、单次大幅调酸调碱、补水补液错误、光照/温度昼夜剧烈波动；同步核对实时pH、EC是否超出作物适配区间。环境问题排除后，方可进入植株本体排查。

**2. 根系状况排查：**水培体系中根系状态决定植株整体长势，90%的地上部黄叶、萎蔫、停滞生长均由根系损伤引发。观察核心指标：根系整体颜色、根尖活力、根表是否黏滑、是否褐变黑化、根系腐烂、根系缺氧泛白水肿、是否出现断根与机械损伤。根系异常优先于叶片症状处理。

**3. 系统污染排查：**核查营养液体系稳定性：溶液是否浑浊、是否出现悬浮絮状物、容器壁与根系是否附着藻类、水体是否发酸发臭、是否出现菌丝与杂菌沉淀。藻类爆发、杂菌增殖会诱发假性缺素表型，极易误判为营养失调。

**4. 营养失调诊断：**在上述因素均排除后，再根据症状发生的部位、颜色、形态等特征，判定是营养缺乏还是毒害。

**5. 缺素诊断的核心原则：症状部位优先——**营养失调诊断目前仅笼统提到“根据症状发生的部位、颜色、形态等特征判定”，缺少最基础的诊断框架。这是初学者最容易出错的地方，应优先补充。

**6. 缺素诊断与元素毒害的区分：**在高浓度营养液或长期不换液的情况下，微量元素过量（如锰、锌、铜）也会产生症状，且与缺素症状相似。区分缺素与毒害的关键参考：若营养液浓度偏高（EC显著高于目标值）、更换频率不足、或使用了硬水配制，应优先怀疑元素毒害或盐分积累。若营养液浓度偏低、长期未更换、或新配母液有沉淀，则优先怀疑缺素。

## 4.2 常见现象的诊断与解决

### 1. 现象一：植物叶片发黄（黄化）

**类型A：老叶均匀黄化，乃至枯萎脱落。**

**诊断：**可移动元素缺乏。最常见为**缺氮（N）**。氮是叶绿素的核心成分，缺乏时，老组织中的氮被分解转运至新生组织，导致下位叶片均匀褪绿黄化、早衰枯萎。其次是**缺磷（P）**，但缺磷老叶往往不呈均匀亮黄，而是呈暗绿色或带紫红色。

**解决方案：**

1. 检查营养液EC，确认是否低于目标浓度。
2. 更换全新标准浓度营养液。
3. 校准并调节pH至适宜区间，极端pH会影响氮吸收。
4. 确认使用的营养液配方是否正确，如霍格兰营养液是否误用了缺氮型。



**类型B：新叶脉间失绿，叶脉仍为清晰的绿色，形成网状花纹。**

**诊断：**难移动元素缺乏。典型为**缺铁（Fe）**。铁在植物体内难以移动，缺乏时新生叶片首先表现为新叶网状失绿。严重时，整个新叶变为黄白色甚至白色。

**解决方案：**

1. 首要排查pH！当pH>6.5时，铁的有效性急剧下降，失去活性。立即将营养液pH调整至5.5-6.0。
2. 检查铁盐母液是否已失效。若母液出现大量红棕色沉淀，说明铁已氧化沉淀失效，需重新配制Fe-EDTA母液。
3. 化沉淀失效，需重新配制Fe-EDTA母液。

紧急情况下可临时叶面喷施0.1%-0.2%的Fe-EDTA溶液作为补救措施。

**类型C：新叶发白或出现白化苗。**

**诊断：**重度缺铁或**缺钙（Ca）**导致生长点坏死、叶片皱缩。有时是其他微量元素如锌、铜缺乏。

**解决方案：**校准调节营养液基础pH，其次，核查在配制A、B母液时是否

严格遵守了分开稀释的原则。若杜绝混合顺序错误导致磷酸钙沉淀，避免钙、磷同时失效。

**类型D：整株植物淡绿偏黄，老叶叶尖和叶缘出现褐色坏死斑点。**

**诊断：**高度疑似**缺钾（K）**。钾为可移动元素，缺素症状优先累积于老叶，表现为植株整体长势偏弱、叶色浅绿，老叶叶尖、叶缘焦枯坏死。

**解决方案：**确认营养液配方中钾源（如硝酸钾、磷酸二氢钾）是否足量。及时更换全新营养液，补足钾离子。

## 2. 现象二：植物叶片卷曲、畸形或出现坏死斑点

**类型A：叶片向上卷曲、叶缘焦枯（“金边叶”）。**

**诊断：**盐害/肥害。营养液EC值过高，引发根系生理性失水。



诊断：盐害/肥害



诊断：缺钙



诊断：病害/缺硼叠加

**解决方案：**立即用大量去离子水冲洗根系和基质，将原营养液更换为1/2或1/4浓度的新液。重新校准EC仪，杜绝仪器偏差导致浓度误配。

**类型B：新叶新叶皱缩、扭曲，顶芽坏死。**

**诊断：**缺钙（Ca）。钙参与细胞壁形成，缺乏时直接导致生长点崩溃、新叶畸形皱缩。常见于生长迅速的作物。

**解决方案：**检查A液（钙液）是否添加、混合顺序是否正确。增加溶液通气性，提升根系活力与蒸腾拉力，促进钙素向上运输。

**类型C：叶片出现水渍状斑点，后转为褐色坏死。**

**诊断：**这可能是病害（在高湿、通风差时多发）或**缺硼（B）**的叠加症状。

**解决方案：**加强通风，降低空气湿度。检查营养液中硼酸的添加量。补稳定细胞壁结构。

### 3. 现象三：根系异常

**类型A：根系褐变、腐烂、有恶臭。**

**诊断：**典型的根腐病或长期缺氧。

**解决方案：**

1. 立即检查并修复气泵，恢复持续曝气。
2. 将植物取出，用清水冲洗根部，剪除腐烂部分。
3. 将水培容器彻底清洗消毒（可用3%双氧水或高锰酸钾溶液）。
4. 更换全新营养液，并可短期添加少量双氧水以增加溶氧和杀菌。

**类型B：根系表面或容器内壁出现绿色粘滑物。**

**诊断：**藻类污染。藻类在光、营养、水分充足时爆发式生长，与植物竞争养分和氧气，诱发植株长势衰弱、假性缺素。

**解决方案**

1. **物理遮光：**检查并确保所有容器、管道、定植盖板均不透光。
2. **定期清理：**更换营养液时，用软毛刷和清水刷洗容器内壁和定植篮，清除藻类。
3. **化学防控：**仅在污染严重时可向营养液中添加极低浓度（如0.01%）的海藻抑制剂或过氧化氢，但需进行预实验评估对作物的影响。

## 4.3 系统性问题排查清单

多株植株同步出现长势衰退、黄化、畸形、萎蔫等统一症状时，代表实验系统存在共性误差，需按以下顺序逐项核验，快速锁定根源：



**1.水质检测：**营养液配制必须使用纯化水/去离子水，25℃条件下水体 $EC \leq 5\mu S/cm$ 。

**2.母液检查：**核对母液配制日期，避光冷藏母液建议3个月内用完，超期易降解失效。

**3.目视检查：**液体浑浊、瓶底结晶沉淀、C液出现红棕色铁沉淀、溶液变色均判定失效，需废弃重配。

**4.标签核验：**确认母液名称、浓度、配制人完整，杜绝错拿、混用不同倍数母液。

**5.配液顺序：**是否存在A、B浓缩母液直接混合；稀释时是否先加足量纯水，再分次添加母液并搅拌。

**6.量具精度：**量筒、移液管是否定期校准，有无残留盐类结晶造成取液体积偏差。

**7.酸碱调节操作：**是否在所有母液完全混匀、定容后再调pH。

#### **8.仪器检查：**

pH计、EC仪校准记录：是否按规范每次实验前校准，校准缓冲液是否过期、浑浊污染。

电极状态：pH电极球泡有无干涸、EC电极表面结盐垢；校准斜率、标准读数是否在合格区间。

#### **9.环境检查：**

温度：空气温、营养液根际温度是否长期偏离18~25℃区间。

光照：光源故障、光强骤变、光周期设置错误、植株相互遮光。

通风：培养架循环风机停运，高湿密闭环境易诱发批量病害。

#### **10.病虫害检查：**

借助放大镜逐株抽检叶片正反面、茎基部、根系。

虫害排查：蚜虫、红蜘蛛、粉虱、蓟马幼虫，虫害扩散会造成全棚植株长势同步衰退。

真菌/细菌性病害：叶片水渍斑、白粉霉层、根系褐腐软烂，多因通风差、水体溶氧不足批量爆发。

## 第五章 进阶与保障篇：从规范走向卓越

### 5.1 实验室安全与环保规范

化学品操作、废液处置为科研人员法定责任，所有流程需落地执行、全程可追溯。



#### 1. 化学品泄漏应急处置流程：

**(1) 疏散与隔离：**即疏散周围同学，隔离泄漏区，禁止无关人员靠近。

**(2) 个人防护：**根据泄漏物性质，穿戴好高级别PPE（如防毒面具、防护服）后方可进入现场。

**(3) 控制泄漏源：**关闭相关阀门，用吸附棉、沙土等围堵泄漏物，防止扩散至下水道。

#### **(4) 清理与处置：**

**酸液泄漏：**使用专用的化学品泄漏的吸附材料（如吸附棉、中和吸附剂）进行吸附，如需中和处理，再使用专用酸中和吸附剂，反应完全后再用大量水冲洗。

**碱液泄漏：**用硼酸、稀醋酸等弱酸性物质中和，再用水冲洗。

**一般盐类：**用吸附材料（如蛭石、专用吸附棉）完全吸收，装入专用密封袋。

**废物处理：**所有被污染的吸附材料、清洁工具均应作为化学废弃物，交由有资质的专业公司处置。严禁冲入下水道或与生活垃圾混放。

**实验室废液处理规范：**实验产生的过期营养液、冲洗器皿的废液，虽然看似“无害”，但也含有高浓度盐分，直接排放会造成水体富营养化。必须遵守《污水综合排放标准》（GB8978）以及教育、环保部门的联合通知，严禁将实验废液直接排入下水道。

分类收集于专用废液桶中，标明“无机废液”，定期交由环保部门认可的专业机构处理。

## 5.2 实验设计的关键原则

**（1）设置合理的对照组：**无对照，不实验。一个标准的营养实验，必须设置空白对照（如缺素全营养液、去离子水）和条件对照（标准配方对照），以排除非处理因素的影响。

**（2）保证足够的重复次数：**“重复”是统计分析的基石，是排除个体差异、偶然误差的根本方法。在植物营养水培研究中，考虑到生物变异，建议每个处理至少设置6个或更多的生物学重复（即每处理至少6株独立植物）。

**（3）产品储存与分装规范：**购买的商业母液或自配母液，必须严格按照说明保存。通常需在阴凉、干燥、避光处密封保存。避免反复冻融。对于大包装产品，建议在无菌操作台内分装成单次用量，密封、标记后保存，以减少每次取用带来的污染风险。注意查看产品保质期，过期的营养液可能因成分降解或沉淀而失效。

## 第六章 植物营养液选择指南

在植物营养学、植物生理学及无土栽培研究中，营养液配方是决定实验成败与数据可靠性的核心。不同植物种属在不同生育期和不同实验目的（如全生育期培养、缺素胁迫研究、基因型筛选等）对营养元素的形态、比例、浓度及助剂有迥异的需求。



【扫码查看产品册】



【官网商城】

阿勒山生物以植物营养液为核心，拥有霍格兰、Yoshida水稻、木村B日本山崎、园试、Clipson及拟南芥、小麦、番茄、茶树等国内外经典配方230+款试剂，提供粉末、液体多种规格，全面适配植物营养与无土栽培相关研究。扫描上方二维码了解更多！

### 6.1 霍格兰营养液

霍格兰营养液 (Hoagland solution) 是现代植物营养学经典基础配方，由Hoagland团队于20世纪30年代开发优化，常作为完全营养液对照使用。配方以硝酸盐为主氮源，搭配磷、钙、镁等全部必需大量及微量元素；浓缩液一般分A/B/C液配制，规避高浓度下沉淀析出,使用时配成1×工作液，调pH至5.5-6.0。我司可提供各种方案的产品：改良型霍格兰营养液（干粉+浓缩粉/浓缩液）、100×改良型霍格兰营养液（3种母液, 除菌）、500×改良型霍格兰营养液（3种母液, PH5.8）等，使您的实验操作更加方便、更加准确。

**主要适用场景：**

| 产品与货号                            | 主要应用场景/实验用途                                                      | 实验设计逻辑                     |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <b>标准全营养配方：</b><br><br>改良型霍格兰营养液 | <b>测定植物最大生长速率与生理潜能：</b> 在消除所有营养限制的理想环境下，测定最大生物量、光合效率、蒸腾速率等基准生理指标 | 提供营养完全的理化环境，消除土壤中养分限制因素的干扰 |

| 产品与货号                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 主要应用场景/实验用途                                                                                               | 实验设计逻辑                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 改良型霍格兰营养液<br>(干粉+浓缩粉/浓缩液)<br>CN260755、CN260691                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>作为各类胁迫实验的标准对照组：</b> 干旱、盐碱、高温、病原菌侵染等胁迫实验的标准化营养对照背景                                                      | 建立统一、可重复的对照组，增强跨实验室数据的可比性    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>水培/气雾栽培与垂直农业：</b> 设施农业中作为长期稳定、成分可控的首选营养液                                                               | 利用其成分明确、pH 缓冲性好的特点，支持自动化生产系统 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>根系表型平台：</b> 配合琼脂固化用于高通量根系成像与形态测定                                                                       | 溶液清澈无沉淀，适合高精度延时成像            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>植物-微生物互作研究：</b> 作为化学定义明确的背景，定量分析根际促生菌对养分的贡献                                                            | 排除土壤干扰，精确量化微生物对养分吸收的贡献       |
| <b>单元素缺乏配方：</b><br><br>缺氮（CN260762、CN260692）<br><br>缺磷（CN260763、CN260693）<br><br>缺钾（CN260764、CN260694）<br><br>缺铁（CN260770、CN260703）<br><br>缺镁（CN260771、CN260704）<br><br>缺钙（CN260772、CN260705）<br><br>缺锌（CN260768、CN260701）<br><br>缺锰（CN260769、CN260702）<br><br>缺硼（CN260775、CN260708）<br><br>缺钼（CN260774、CN260707） | <b>缺乏症诊断与表型图谱建立：</b> 逐一撤除目标元素，系统记录叶片发黄、生长抑制等症状，建立物种特异性缺乏症图谱                                               | 将表型变化唯一归因于缺失元素，建立“缺乏-表型”对应关系 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>营养信号通路与分子调控研究：</b> 利用转录组、蛋白组、代谢组学分析植物感知养分缺乏后的基因表达和信号转导级联变化（如缺铁诱导 <i>FIT</i> 基因、缺磷诱导 <i>PHT</i> 转运蛋白基因） | 在全营养背景下撤除单一变量，精准定位信号通路节点     |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>微量元素酶学功能研究：</b> 研究钼（硝酸还原酶辅因子）、锌（碳酸酐酶）、铜（超氧化物歧化酶）等微量元素的特定代谢作用                                           | 通过缺失来确认该元素在特定酶催化反应中的不可或缺性    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>养分交互作用与共限制机制研究：</b> 探究氮磷等元素                                                                            | 采用完全因子设计（如对照、-N、             |
| <b>多元素复合缺失配方：</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                           |                              |

| 产品与货号                                                                                          | 主要应用场景/实验用途                                                                    | 实验设计逻辑                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| 缺氮缺磷 (CN260765、CN260695)                                                                       | 间的协同/拮抗效应，判断是叠加效应还是非线性协同效应                                                     | -P、-N-P 四组），区分共限制类型          |
| 缺磷缺锰 (CN260773、CN260706)                                                                       | <b>解析共限制生理与分子机制：</b> 测定多元素缺乏下的光合参数、生物量分配比例及共同的分子调控标记                           | 比单一缺失更接近自然界真实情况，揭示养分网络耦合机制   |
| 缺钼缺钴 (CN260774、CN260707)                                                                       |                                                                                |                              |
| <b>减量配方：</b><br><br>1/2 改良型霍格兰营养液 (CN260756、CN260709)<br><br>1/4 改良型霍格兰营养液 (CN260757、CN260710) | <b>种子萌发与幼苗早期发育：</b> 利用低离子浓度环境防止高渗透压对胚根的抑制，提高萌发率和幼苗存活率                          | 降低渗透压，适应幼苗低耐受力的生理阶段          |
|                                                                                                | <b>根系构型分析 (RSA)：</b> 在低离子背景下精确观察根系对局部营养梯度（磷条、硝酸盐条）的侧根增殖响应                      | 降低背景离子浓度，消除高盐对根系趋化响应的掩蔽效应    |
|                                                                                                | <b>组培苗驯化（炼苗）：</b> 作为自养过渡培养基，减轻组培苗移植时的渗透胁迫和离子毒害，提高移栽成活率                         | 逐步降低盐浓度，帮助组培苗适应自主营养环境        |
| <b>减量缺素配方：</b><br><br>1/2 霍格兰营养液(缺铁锰铜锌) (CN260776、CN260777)                                    | <b>多微量营养素饥饿诱导：</b> 在低离子强度下同时撤除多种微量元素，广泛抑制相关酶活性和代谢通路                            | 创建基础“饥饿”状态，为后续单元素恢复实验建立对照    |
|                                                                                                | <b>吸收动力学与恢复机制研究：</b> 饥饿处理后单一回补目标元素，精准研究该元素的吸收速率、转运动力学和特异性转录恢复响应                | 排除其他微量元素对转运蛋白竞争的干扰，使吸收曲线更清晰  |
| <b>原始配方（不含硝酸钙）：</b><br><br>霍格兰营养液（普通，不含硝酸钙） CN260712                                           | <b>钙信号与第二信使研究：</b> 建立无外源钙环境，在指定时间精确添加 $\text{Ca}^{2+}$ ，研究钙信号瞬态变化（钙调蛋白、CDPK 等） | 区分“结构钙”与“信使钙”，为钙添加-响应实验提供纯背景 |

| 产品与货号                                                                                                         | 主要应用场景/实验用途                                                                                       | 实验设计逻辑                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 霍格兰营养液（缺磷，不含硝酸钙）<br>CN260713                                                                                  | <b>细胞壁果胶交联研究：</b> 通过控制钙供给，研究钙对细胞壁果胶形成和机械强度的影响                                                     | 钙是细胞壁果胶交联的关键离子，缺钙装置可精确调控该过程     |
| 霍格兰营养液（无磷，不含硝酸钙）<br>CN230195                                                                                  |                                                                                                   |                                 |
| 霍格兰营养液（缺硫，不含硝酸钙）<br>CN260714                                                                                  | <b>避免沉淀的化学设计：</b> 在需高浓度 $P/SO_4^{2-}$ 的实验中移除钙，防止形成 $Ca_3(PO_4)_2$ 沉淀，确保离子有效浓度可控                   | 从化学源头解决沉淀问题，保证处理浓度的准确性          |
| 霍格兰营养液（无铜，不含硝酸钙）<br>CN260715                                                                                  |                                                                                                   |                                 |
| <b>母液形式产品：</b><br><br>100×改良型霍格兰营养液<br>（3种母液，除菌）<br>CN260759<br><br>500×改良型霍格兰营养液<br>（3种母液，PH5.8）<br>CN260761 | <b>高通量遗传筛选：</b> 通过自动化稀释系统，为成千上万株突变体提供高度一致、可复制的营养背景                                                | 使用蠕动泵或自动滴灌系统，实现大规模实验的精确供液       |
|                                                                                                               | <b>动态胁迫编程实验：</b> 结合控制器编程实现“缺素-恢复”脉冲式供应，研究植物的胁迫记忆和恢复动力学                                            | 利用高浓度母液进行分钟级精度的养分切换，超越人工换液能力    |
|                                                                                                               | <b>分瓶分装防止沉淀：</b> 将 $Ca^{2+}$ 与 $PO_4^{3-}/SO_4^{2-}$ 分离、 $Fe^{3+}$ 与 $PO_4^{3-}$ 分离，确保高浓度母液长期化学稳定 | 遵循母液配制黄金法则，避免离子在高浓度下产生不可逆沉淀     |
|                                                                                                               | <b>实验无菌管理（过滤除菌版）：</b> 用于离体培养、无菌微生物互作实验，通过 $0.2\mu m$ 滤膜去除热敏成分中的微生物                                | 保护热敏性成分（铁螯合物、维生素等）不被高压灭菌破坏      |
|                                                                                                               | <b>长期储存与稳定性控制：</b><br>$4^{\circ}C$ 避光密封储存，结合定期电导率、pH、ICP-MS 监测，保障自动化系统供液准确                        | 通过 SOP 和精密仪器定期校准，防止母液缓慢失效导致实验偏差 |

## 6.2 Yoshida水稻营养液

Yoshida 水稻营养液，又称吉田昌一水稻营养液，以国际水稻研究所（IRRI）科学家吉田昌一（Shoichi Yoshida）命名。该配方收录于 1976 年国际水稻研究所《水稻生理学研究实验室手册》，是国际水稻水培研究的基准配方，原始配方需配制 6 种母液来避免沉淀。

我司Yoshida水稻营养液按营养梯度分为基础款、缺素款、高素款母液；剂型覆盖干粉、800×（3母液干粉）、800×预调pH5.5-5.8三母液，适配各类水稻水培实验。

### 主要适用场景：

| 产品与货号                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 主要应用场景                                                                                      | 典型实验举例                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>标准 Yoshida 水稻营养液：</b><br>Yoshida 水稻营养液(干粉)<br>CN260806                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 1. 矿质营养功能研究中的“零点”对照<br>2. 基因功能验证与遗传筛选的标准化平台<br>3. 非生物与生物胁迫研究的“非胁迫”基准<br>4. 植物生长发育全周期研究的理想模型 | 缺氮实验的完全营养对照组、高 Fe/Zn 含量品系生物强化育种的统一培养平台、盐胁迫/病原菌感染实验的健康对照组、水稻全生命周期转录组/代谢组图谱构建                                      |
| <b>缺素 Yoshida 水稻营养液：</b><br>缺氮 CN260809、缺磷 CN260810、缺钾 CN260811<br>缺氮缺磷 CN260812、缺磷缺钾 CN260813<br>缺磷缺铁 CN260814、缺锰 CN260815、缺锌 CN260816<br>缺铁 CN260817、1/8 氮 CN260818、1/4 氮 CN260819<br>800×缺氮(3 种母液，干粉) CN260820<br>800×缺氮(3 种母液，PH5.5-5.8) CN260821<br>800×缺磷(3 种母液，干粉) CN260822<br>800×缺磷(3 种母液，PH5.5-5.8) CN260823<br>800×缺钾(3 种母液，干粉) CN260824<br>800×缺钾(3 种母液，PH5.5-5.8) CN260825<br>800×缺硫(3 种母液，干粉) CN260826<br>800×缺硫(3 种母液，PH5.5-5.8) CN260827 | 1. 研究必需元素的生理功能与缺乏症状<br>2. 剖析植物对营养胁迫的适应性响应机制<br>3. 筛选耐低营养胁迫的优异种质资源<br>4. 研究元素间的相互作用（离子互作）    | -N 实验观察老叶黄化及蛋白合成受阻、-Fe 实验探究“策略 II”铁吸收机制及麦根酸分泌、-P 实验研究根系构型重塑及磷饥饿响应（PSR）通路、突变体库在低氮/低磷条件下筛选“养分高效”品系、研究 Zn 与 P 的拮抗作用 |

| 产品与货号                                                                                                                                                                                            | 主要应用场景                                                         | 典型实验举例                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>高素 Yoshida 水稻营养液:</b><br>800×高氮(3 种母液, 干粉) CN250140<br>800×高氮(3 种母液) CN270147<br>800×高磷(3 种母液, 干粉) CN250141<br>800×高磷(3 种母液) CN270148<br>800×高钾(3 种母液, 干粉) CN250142<br>800×高钾(3 种母液) CN270149 | 1. 优化作物栽培管理中的动态施肥策略 2. 研究营养元素过量或毒害胁迫的生理与分子机制 3. 调控特定农艺性状与品质的研究 | 分蘖期用 80ppm N、开花期 40ppm N 的分期变量施肥、高锰处理研究水稻锰毒害及液泡区隔化解毒机制、氮浓度梯度与株高/茎秆强度/开花时间的量化关系、高硅营养液增强茎秆机械强度及抗病虫害机制 |
| <b>Yoshida 水稻营养液 (干粉)</b><br>CN260806                                                                                                                                                            | 1. 大规模、低精度的常规水培实验 2. 预算严格受限的基础研究实验室                            | 本科生教学演示用大规模营养液配制、种质资源圃初步筛选、经费有限的实验室启动水培体系                                                           |
| <b>Yoshida 水稻营养液 (3 种母液, 干粉)</b><br>CN260807                                                                                                                                                     | 1. 需要进行多种缺素处理的营养学研究 2. 需要长期、分批次进行实验的研究项目                       | 用 A、B、C 母液快速组合出完全液、-P 液、-K 液、-Ca 液等、持续数月的纵向实验中, 母液批次一致保证重复性                                         |
| <b>Yoshida 水稻营养液 (3 种母液, PH5.5-5.8)</b><br>CN260808                                                                                                                                              | 1. 高通量遗传筛选与表型分析平台 2. 自动化、动态监测的水培系统 3. 对实验条件极为苛刻的精密生理学研究        | 液体工作站几秒内配制数百样本的培养基、传感器联动蠕动泵在线配制, 实时更新营养液、高精度生理学研究(离子流、激素变化、早期胁迫表达)                                  |

## 6.3 木村B (Kimura B) 水稻营养液

木村 B 配方主要流行于日本及部分亚洲国家的水稻生理实验室, 常被用于水稻的铁吸收机理和耐性研究。我司提供的木村 B(Kimura B) 水稻营养液系列产品, 根据营养成分的高低, 可分为: 木村 B 水稻营养液、缺素木村 B 水稻营养液、1000× 缺素木村 B 水稻营养液等。

主要适用场景：

| 产品与货号                                                                            | 核心特征                          | 主要实验应用场景与实验用途                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 木村 B 水稻营养液<br>(干粉 + 浓缩粉)<br>CN260669<br><br>木村 B 水稻营养液<br>(干粉 + 浓缩液)<br>CN260828 | 提供水稻生长所需的全部必需矿物质元素，配方符合水稻喜铵特性 | 1. <b>标准生长参照：</b> 评估不同基因型（WT, 突变体, 转基因）在最佳营养条件下的生长发育表型 2. <b>胁迫实验对照组：</b> 作为非生物胁迫（盐、旱、重金属）和生物胁迫（病、虫）研究中的无胁迫处理对照 3. <b>基础生理研究：</b> 研究水稻在正常条件下的光合、呼吸、蒸腾等生理过程                                                                                                                                    |
| 缺氮/缺磷/缺钾/缺钙<br><br>木村 B 水稻营养液                                                    | 特异性去除一种大量营养元素，模拟相应的营养胁迫环境     | 1. <b>基因鉴定与功能验证：</b> 筛选和鉴定响应胁迫的基因，特别是离子转运体（如 AMT, NRT, PHT, HAK）和关键调控因子（如 NIGT1） 2. <b>信号通路解析：</b> 研究植物感知和响应营养亏缺的信号转导网络，以及不同营养信号间的交互作用（crosstalk） 3. <b>生理与形态适应性研究：</b> 分析植物在营养胁迫下的根系构型重塑（RSA）、生物量分配、光合效率变化等适应性策略 4. <b>种质资源筛选：</b> 高通量筛选耐低氮、耐低磷、耐低钾等优异种质资源，用于遗传改良                            |
| 缺铁/缺锌/缺锰/缺铜<br><br>木村 B 水稻营养液                                                    | 特异性去除一种微量营养元素，用于研究其独特的生物学功能   | 1. <b>特殊吸收机制研究：</b> 揭示禾本科植物对铁的策略 II 吸收机制（分泌麦根酸，YSL 转运体） 2. <b>长距离信号研究：</b> 利用分根实验等手段，研究根-茎间协调营养吸收的长距离信号 3. <b>金属转运体功能解析：</b> 鉴定和功能表征负责特定微量元素吸收、转运和区室化的蛋白家族（如 ZIP, MTP, YSL） 4. <b>酶活性与代谢调控：</b> 研究微量元素作为酶辅基在抗氧化防御（如 SOD）、电子传递链等核心代谢途径中的作用 5. <b>生物强化育种评估：</b> 评价转基因株系在缺素条件下的耐受性和在不同供应水平下的富集能力 |

| 产品与货号                                                                                                                | 核心特征                                              | 主要实验应用场景与实验用途                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 标准木村 B（无硅）<br>vs. 额外添加硅酸钠<br>的配方<br><br>木村 B 水稻营养液<br>（干粉+浓缩液）<br>CN260669<br><br>木村 B 水稻营养液<br>（干粉+浓缩液）<br>CN260828 | 是否含有对水稻<br>生长和抗逆性至<br>关重要的硅元素                     | 1. <b>额外添加硅配方：</b> 用于研究硅在增强细胞壁机械强度、提高抗病虫害能力、缓解盐、旱、重金属等非生物胁迫中的作用和机制<br>2. <b>无硅配方：</b> 作为研究硅功能时的必需阴性对照组；或在研究与其他矿质营养的纯粹交互作用时，排除硅的干扰                 |
| 1000×木村 B 营养液<br>（干粉）<br>CN260829                                                                                    | 干粉形态，预混<br>合，需自行溶解<br>配制母液。储存<br>运输极为方便，<br>保质期长  | 1. <b>中小型、非连续性实验：</b> 为需要灵活配制新鲜工作液的实验室提供便利<br>2. <b>长期储存备用：</b> 适合不具备冷藏大体积液体条件的实验室                                                                |
| 1000×木村 B 营养液<br>（3种母液）<br>CN260830                                                                                  | 液体形态，已配<br>制好的高浓度母<br>液，即取即用<br><br>精确度、重现性<br>极高 | 1. <b>大型长期监测实验：</b> 保证整个实验周期内（数周至数月）所用营养液的高度一致性<br>2. <b>高通量表型筛选平台：</b> 极大提高配液效率，满足大规模样品处理的需求<br>3. <b>自动化水培系统：</b> 作为自动加液系统的标准输入液体，实现无人值守的精确营养管理 |

## 6.4 茶树营养液

茶树——经济价值很高的多年生木本植物，茶叶鲜爽、涩味等风味物质的合成积累，受氮磷钾镁铁铝等矿质元素调控。精准解析矿质营养对茶树生长、代谢及基因表达的影响，对茶园施肥、品质改良、品种选育意义重大。传统田间与土壤盆栽很难精准控制单一元素，实验重复性差水培/沙培搭配标准化营养液，可精准模拟充足或缺素环境，解析元素功能。

我司茶树干粉营养液专为茶树科研开发。基础配方覆盖茶树全部必需营养，特别添加茶树关键的铝元素；同时配套缺氮、缺磷、缺钾、缺镁、缺铁、缺铝等缺素配方，方便开展营养胁迫相关生理、生化及分子生物学实验。

## 主要适用场景：

| 营养液类型                   | 典型实验模型                                                                                              | 关键检测指标                                                                                                                      |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 茶树营养液(干粉)<br>CN260848   | 完全营养对照组、实验体系的基线校验                                                                                   | 株高、生物量、根冠比 叶绿素含量、光合速率、品质成分（氨基酸、儿茶素）                                                                                         |
| 缺氮茶树营养液(干粉)<br>CN260849 | <b>模型I：光合生理响应</b> 长期水培/沙培 + 光合荧光测定<br><b>模型II：代谢组学重塑</b> 水培 + 非靶向代谢组学 (GC-MS/LC-MS)                 | 叶绿素含量、SPAD 值、Pn, Gs, Ci, Tr（气体交换）、Fv/Fm, ΦPSII, NPQ（荧光）、氨基酸（茶氨酸/谷氨酸）、儿茶素（ECG, EGCG 等）、碳水化合物、有机酸                             |
| 缺磷茶树营养液(干粉)<br>CN260852 | <b>模型I：根系构型动态响应</b> 水培/根箱 + WinRHIZO 分析 + 3D 重构 (Micro-CT)<br><b>模型II：养分比例与代谢平衡</b> 水培 + 靶向/非靶向代谢组学 | 总根长、根表面积、根尖数、比根长 (SRL)、根系拓扑（分叉角度、深度）、ATP 含量、光合产物分配、儿茶素、黄酮类物质                                                                |
| 缺钾茶树营养液(干粉)<br>CN260853 | 水培/沙培 + 光合生理测定 + 品质成分分析                                                                             | 气孔导度 (Gs)、蒸腾速率 (Tr)、光合速率 (Pn)、蛋白质合成酶活性、游离氨基酸（茶氨酸）、可溶性糖                                                                      |
| 缺镁茶树营养液(干粉)<br>CN260850 | <b>叶绿素合成与氧化胁迫模型</b> 水培 + 动态采样（早期 vs. 严重胁迫）                                                          | 老叶叶脉间黄化（Mg 移动性强）、叶绿素 a/b 含量、Fv/Fm, ΦPSII, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> <sup>-</sup> 含量、SOD、POD、CAT 活性      |
| 缺铁茶树营养液(干粉)<br>CN260854 | <b>叶绿素合成与氧化胁迫模型</b> 水培 + 动态采样 + 酶活性测定                                                               | 新叶均匀黄化（Fe 移动性差）、叶绿素含量（严重时黄白）、Fv/Fm, ΦPSII、H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> <sup>-</sup> 含量、POD、CAT 活性（Fe 辅基依赖） |
| 缺铝茶树营养液(干粉)<br>CN260851 | <b>模型I：根系促进机制验证</b> 水培 0 Al vs +Al（短期 6h + 长期 7d）<br><b>模型II：铝转运蛋白功能验证</b> 转录组筛选 → 酵母异源表达系统         | 主根长、侧根数、根系生物量、IAA 浓度（根尖/基部）、YUC, PIN, AMII 基因表达、XET、Expansin 细胞壁酶活性、酵母铝耐受/敏感表型（点板实验）                                        |

## 6.5 拟南芥营养液

拟南芥 (*Arabidopsis thaliana*) 是植物科学经典模式生物，拥有基因组精简、生活史短、丰富生态型及突变体库。随着功能基因组学与系统生物学发展，传统土壤基质培养已无法满足实验精准标准化要求。我司拟南芥营养液应用不限于水培，覆盖营养生理学、遗传学、细胞信号转导、高通量功能基因组学等方向。从微量元素转运、胁迫响应网络解析到大规模突变体表型筛选，稳定均一的化学成分，为研究提供可靠可控的实验环境。

### 主要适用场景：

| 产品与货号                                                                | 应用领域          | 具体场景与研究目的/用途                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 拟南芥营养液<br>(干粉+浓缩液)<br>CN260855<br><br>拟南芥营养液<br>(干粉+浓缩液)<br>CN260857 | 无土栽培与基础生理研究   | <b>具体场景：</b> 实验室水培<br><br><b>研究目的/用途：</b> 在人工气候室中水培拟南芥，根系完全暴露于均一成分的液体，便于控制养分、pH、溶解氧，实时观察根系形态                                                                           |
|                                                                      |               | <b>具体场景：</b> 基质培（蛭石/珍珠岩）<br><br><b>研究目的/用途：</b> 浇灌混合基质，支持拟南芥从发芽到结实全周期健康生长                                                                                              |
|                                                                      |               | <b>具体场景：</b> 生长发育与生理参数测定<br><br><b>研究目的/用途：</b> 在恒定营养条件下评估光照、温度、激素处理对生物量、气孔导度、叶绿素荧光 (Fv/Fm)、根冠比、矿质元素含量等的影响，排除土壤微生物互作干扰                                                 |
|                                                                      |               | <b>具体场景：</b> 光周期/春化研究<br><br><b>研究目的/用途：</b> 营养液标准化以分离信号通路，研究硝酸盐供应对开花时间的调控                                                                                             |
| 缺铁拟南芥营养液(干粉+浓缩液)<br>CN260861<br>缺铁拟南芥营养液(干粉+浓缩液)<br>CN260862         | 营养胁迫研究与激素表型分析 | <b>具体场景：</b> 缺铁胁迫实验<br><br><b>研究目的/用途：</b> 诱导缺铁黄化表型，鉴定参与铁吸收、转运和信号调控的基因（如 <i>FIT</i> 、 <i>IRT1</i> 、 <i>FRO2</i> 、 <i>URI</i> 、 <i>VIT1</i> 、 <i>ZIP7</i> ），研究铁缺乏信号感知机制 |

| 产品与货号                                                              | 应用领域          | 具体场景与研究目的/用途                                                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 缺钾拟南芥营养液(干粉+浓缩粉)<br>CN260864<br>缺钾拟南芥营养液(干粉+浓缩液)<br>CN260865       | 营养胁迫研究与缺素表型分析 | <b>具体场景:</b> 缺钾胁迫实验<br><br><b>研究目的/用途:</b> 研究钾在光合调控、ABA 信号、抗逆性中的作用; 研究钾-铁交互作用 (如补钾改善缺铁症状的机制)                                              |
| 缺钙拟南芥营养液 ( 干 粉 )<br>CN260863                                       |               | <b>具体场景:</b> 缺钙胁迫实验<br><br><b>研究目的/用途:</b> 研究钙信号通路、钙调素/钙依赖蛋白激酶 (CDPKs) 突变体筛选、花粉管伸长和向性生长                                                   |
| 缺磷拟南芥营养液(干粉+浓缩粉)<br>CN260866<br>缺磷拟南芥营养液(干粉+浓缩液)<br>CN260867       |               | <b>具体场景:</b> 缺磷胁迫实验<br><br><b>研究目的/用途:</b> 诱导花青素积累、根系构型改变 (主根缩短、侧根根毛增加), 研究磷酸盐转运体 PHT1 家族和信号调节子 PHR1                                      |
| 缺氮拟南芥营养液 ( 干 粉 )<br>CN260868                                       |               | <b>具体场景:</b> 缺氮胁迫实验<br><br><b>研究目的/用途:</b> 研究氮形态 ( 硝态氮 vs 铵态氮 )、硝酸盐转运体 NRT、铵转运体 AMT、碳氮平衡及系统获得性抗性                                          |
| 拟南芥营养液 ( 干粉+浓缩粉 )<br>CN260855<br><br>拟南芥营养液 ( 干粉+浓缩液 )<br>CN260857 |               | <b>具体场景:</b> 重金属/元素过量胁迫<br><br><b>研究目的/用途:</b> 在全营养液中加入 $\text{CdCl}_2$ 、 $\text{CuSO}_4$ 、 $\text{AlCl}_3$ 等, 研究氧化损伤、解毒基因表达、金属离子的竞争/协同效应 |
| 对应缺素营养液 + 基础款对照                                                    | 基因功能验证与反向遗传学  | <b>具体场景:</b> 突变体筛选与表型鉴定<br><br><b>研究目的/用途:</b> 在缺素条件下对比突变体与野生型的表型差异, 判断候选基因是否参与养分吸收或代谢                                                    |
| 对应缺素营养液 + 基础款对照                                                    |               | <b>具体场景:</b> 互补实验与功能恢复<br><br><b>研究目的/用途:</b> 将候选基因转化入突变体, 在缺素条件下验证表型是否恢复, 作为遗传学证明基因功能的金标准                                                |

| 产品与货号                          | 应用领域              | 具体场景与研究目的/用途                                                                                                                                    |
|--------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 对应缺素营养液<br>(梯度浓度)              | 基因功能验证<br>与反向遗传学  | <b>具体场景:</b> 上位性分析与信号通路解析<br><br><b>研究目的/用途:</b> 利用双突变体在不同胁迫强度下的表型, 推断基因上下游关系; 通过建立 Fe 浓度梯度 (0–1.0 μM) 绘制剂量响应曲线                                 |
| 拟南芥营养液<br>(干粉+浓缩粉)<br>CN260855 |                   | <b>具体场景:</b> 功能多效性评估<br><br><b>研究目的/用途:</b> 在全营养条件下观察突变体的生长和发育表现, 判断基因是否参与基础代谢或发育过程                                                             |
| 拟南芥营养液<br>(干粉+浓缩液)<br>CN260857 |                   |                                                                                                                                                 |
| 1000×拟南芥营养液(3种母液)<br>CN260860  | 精准营养调控<br>与水培系统优化 | <b>具体场景:</b> 1000×三母液体系<br><br><b>研究目的/用途:</b> A/B/C 三母液科学分组, 配制简便, pH 自动稳定于 5.7, 适用于连续培养系统; 适合大规模/长期水培, 减少批次间误差                                |
| 1000×拟南芥营养液(3种母液)<br>CN260860  |                   | <b>具体场景:</b> 电导率 (EC) 控制与剂量-响应实验<br><br><b>研究目的/用途:</b> 通过改变母液用量构建养分强度梯度 (半量、全量、1.5 倍), 研究养分利用能力、干物质分配速率生长、盐胁迫与营养缺乏信号交叉                         |
| 拟南芥营养液<br>(干粉+浓缩粉)<br>CN260855 |                   | <b>具体场景:</b> 与经典配方 (MS/Hoagland) 对比研究<br><br><b>研究目的/用途:</b> 相比 MS (高盐毒害) 和 Hoagland (需调 pH), CN260855 整合了 Hoagland 浓度框架与改良 MS 微量元素, 更适合拟南芥长期水培 |
| 拟南芥营养液<br>(干粉+浓缩液)<br>CN260857 |                   |                                                                                                                                                 |
| 拟南芥营养液<br>(干粉+浓缩粉)<br>CN260855 | 转化与育种研究<br>中的辅助应用 | <b>具体场景:</b> 转化阳性苗移栽与扩繁<br><br><b>研究目的/用途:</b> T0 代种子经 1/2 MS 固体培养基筛选后, 移栽至水培/基质中浇灌营养液, 保证幼苗营养充足, 降低移栽死亡率                                       |
| 拟南芥营养液<br>(干粉+浓缩液)<br>CN260857 |                   | <b>具体场景:</b> 大规模繁殖 (温室水耕)<br><br><b>研究目的/用途:</b> 一次性大量培育拟南芥植株, 用于突变体分离统计、GWAS 关联群体表型鉴定, 避免土壤连作障碍, 提高温室利用率                                       |
| 1000×拟南芥营养液(3种母液)<br>CN260860  |                   |                                                                                                                                                 |

| 产品与货号   | 应用领域          | 具体场景与研究目的/用途                                                             |
|---------|---------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 对应缺素营养液 | 转化与育种研究中的辅助应用 | <b>具体场景：</b> 营养高效转基因系验证<br><b>研究目的/用途：</b> 在缺素条件下验证转基因系的表型优势，作为基因功能的初步证据 |

## 6.6 小麦营养液

我司小麦营养液为小麦专项科研体系，依托经典植物营养学配方适配多尺度生物学研究。基础款可作为标准空白体系，支撑各类非磷胁迫相关实验；缺磷款可有效筛选小麦磷高效种质、解析相关性状与基因机制。产品分为干粉+浓缩粉、干粉+浓缩液两种剂型，分别适配低成本短期研究、高精度高通量长期科研场景，满足不同实验需求。

### 主要适用场景：

| 产品系列                         | 研究领域/应用场景        | 具体实验用途与设计逻辑                                                                                                                                                                                                                                                           | 最适配的产品形<br>(科学性/操作性建议)                         |
|------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 小麦营养液<br>(干粉+浓缩)<br>CN260869 | 植物营养生理学与<br>环境互作 | <b>单一元素功能验证：</b> 以全营养为对照，通过选择性移除单一元素（如缺 K），系统探究该元素在特定生理过程中的角色<br><br><b>临界浓度测定：</b> 通过梯度稀释特定元素，建立生长反应曲线，确定最大生长量 90% 时的临界养分浓度<br><br><b>非生物胁迫建模：</b> 在全营养液中添加指定浓度的 NaCl、PEG、CdCl <sub>2</sub> 等，建立精准可控的盐胁迫、干旱胁迫、重金属胁迫模型，以排除其他营养元素波动的干扰<br><br><b>氮素形态效应：</b> 以全硝态氮配方为基 | 大规模筛查/长期研究 → 推荐“干粉+浓缩液”<br>小规模预实验 → 推荐“干粉+浓缩粉” |

| 产品系列                                | 研究领域/应用场景         | 具体实验用途与设计逻辑                                                                                                                                                                                                       | 最适配的产品形<br>(科学性/操作性建议)                                          |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 小麦营养液<br>(干粉+浓缩)<br>CN260870        | 植物营养生理学与<br>环境互作  | 准，用不同比例的 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 和 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 替换氮源，研究铵硝比对硝酸还原酶(NR)活性等氮代谢核心指标的影响                                                                                                              |                                                                 |
| 缺磷小麦营<br>养液(干粉+<br>浓缩粉)<br>CN260871 | 植物-微生物互作<br>与种质筛选 | <b>无菌苗与接种实验：</b> 培育无菌小麦幼苗，接入禾谷镰刀菌孢子或丛枝菌根真菌(AMF)，研究致病机制或有益共生信号传导<br><br><b>高通量品种筛选：</b> 水培环境消除了土壤异质性，可同时对数百份小麦品种的苗期生长量进行可重复性筛选                                                                                     | <b>大规模筛选/病原实验，<br/>配液一致性最关键 → 推荐“干粉+浓缩液”</b>                    |
|                                     | 根系构型重塑的表<br>型组学筛选 | <b>“表层觅食”表型筛选：</b> 缺磷压力下，筛选根生长角(RGA)变浅、侧根/总根长(TRL)增加的理想基因型<br><br><b>根毛精细化测量：</b> 诱导并量化根毛长度与密度，关联其与磷吸收效率的关系<br><br><b>根系分泌物收集：</b> 高效收集并定量分析柠檬酸、苹果酸、酸性磷酸酶等低磷诱导的有机分泌物                                              | <b>高通量表型平台 → 强烈推荐“干粉+浓缩液”</b> (每次配液的一致性直接决定 QTL/GWAS 结果的可靠性)    |
|                                     | 养分高效基因挖掘<br>与功能验证 | <b>QTL 定位：</b> 通过 RIL 群体在“全磷 vs. 缺磷”双环境下的表型差异，定位与磷效率相关的关键位点<br><br><b>全基因组关联分析(GWAS)：</b> 在大自然群体中，利用精确水培表型与基因型关联，挖掘候选 SNP<br><br><b>关键基因功能验证：</b> 利用 CRISPR 编辑或 RNAi 沉默突变体，在缺磷环境下确认磷转运蛋白基因(如 <i>TaPHT1;1</i> )的功能 | <b>所有大规模遗传学实验<br/>→ 必须推荐“干粉+浓缩液”</b> (母液配制的累积误差将直接导致基因型-表型关联失效) |

| 产品系列                                | 研究领域/应用场景                    | 具体实验用途与设计逻辑                                                                                                                                   | 最适配的产品形<br>(科学性/操作性建议)                  |
|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 缺磷小麦营<br>养液(干粉+<br>浓缩液)<br>CN260872 | <b>基础 vs. 缺磷的互<br/>补对比设计</b> | <p><b>绝对磷高效型筛选：</b> 在基础液（全磷）中差异不大，但在缺磷液中依然能维持较高生长的基因型</p> <p><b>响应式磷高效型筛选：</b> 在缺磷液中表现平平，但在施加磷肥后产量暴增的基因型。(通过梯度对比，区分两种磷高效的分子机制，以匹配不同地力的土壤)</p> | <b>对比实验，需要两套配方均高一致性 → 建议都选用“干粉+浓缩液”</b> |

## 6.7 番茄营养液

番茄是全球无土栽培面积最大的作物之一，营养规律区别于叶菜类作物。我司番茄营养液融合经典植物营养学与标准化制剂技术，满足高重复性、单一变量的精细化科研需求。基础款可消除营养背景干扰，缺素系列可精准构建单一营养胁迫，适用于番茄营养生理、系统信号转导、代谢重编程及分子机制研究。

### 主要适用场景：

| 产品类型                          | 应用场景                 | 核心实验目的/研究问题                                  |
|-------------------------------|----------------------|----------------------------------------------|
| 番茄营养液<br>(干粉+浓缩粉)<br>CN260873 | <b>生理学与发育生物学基础研究</b> | 建立"标准番茄"的营养动态模型；排除营养背景干扰，评估其他处理（激素、光照等）的真实效应 |
|                               | <b>营养吸收动力学与利用效率</b>  | 精确计算不同生育期对 N、P、K 等元素的吸收速率及向果实/新叶的分配比例        |
|                               | <b>源-库关系研究</b>       | 精确控制"源"（叶片）大小与活力，观察其对"库"（果实）发育的影响            |
|                               | <b>高通量表型鉴定平台</b>     | 为 RILs、CSSLs 等大规模遗传群体提供一致的营养环境，排除基质不均一带来的噪声  |

| 产品类型                                     | 应用场景                | 核心实验目的/研究问题                                                              |
|------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 番茄营养液<br>(干粉+浓缩液)<br>CN260874            | 突变体库筛选              | 在标准化环境中识别偏离野生型表型的突变体，判定被突变基因的核心生物学功能                                     |
|                                          | 不同生态型/品种的营养效率比较     | 筛选"养分高效"基因型，培育适应可持续农业的低投入品种                                              |
|                                          | 环境因子交互作用的营养基础研究     | 探究高 CO <sub>2</sub> 、特殊光照等环境下营养元素的吸收与分配是否变化                              |
| 缺氮番茄营养液<br>(干粉+浓缩液)<br>CN260875          | 氮素再活化与叶片衰老分子机制      | 揭示缺氮如何启动老叶中蛋白质/叶绿素降解并转运至新叶                                               |
| 缺氮番茄营养液<br>(干粉+浓缩液)<br>CN260876          | 氮信号与激素网络交互研究        | 探讨缺氮如何切断硝酸盐信号通路，以及其对 CTK、SLs 等激素合成与株型塑造的影响                               |
| 缺磷番茄营养液<br>(干粉+浓缩液)<br>CN270145          | 磷饥饿响应 (PSR) 与根际重塑   | 研究单一缺磷如何驱动根系构型改变及有机酸、酸性磷酸酶的分泌                                            |
| 缺磷番茄营养液<br>(干粉+浓缩液)<br>CN270146          | 膜脂重塑 (磷脂节约策略)       | 解析缺磷条件下细胞膜中磷脂被糖脂/硫脂替代的动态过程                                               |
|                                          | 磷铁互作及联合胁迫研究         | 揭示单一缺素 (-P/-Fe) 与联合缺素之间的非加性效应与内部平衡机制                                     |
| 1000× 缺铁番茄营养液<br>(3 种母液, 干粉)<br>CN260877 | Strategy I 植物缺铁应答机制 | 研究番茄根际酸化、Fe <sup>3+</sup> 还原 (FRO 酶) 和 Fe <sup>2+</sup> 转运 (IRT1) 的完整响应链 |
|                                          | 瞬时胁迫与时间序列响应         | 捕捉缺铁处理后数小时至数天内的早期分子与生理事件                                                 |
|                                          | 氮铁互作与烟酰胺 (NA) 代谢    | 阐明缺氮通过抑制 NA 合成进而阻碍铁长距离运输的分子机制                                            |
|                                          | 特定突变体表型阐明与遗传互补      | 在分子水平验证突变体 (如 Chloronerva) 的致病机制，构建完整的"表型-机制-互补"证据链                      |
| 1000× 缺铁番茄营养液(3 种母液)<br>CN260878         | 铁过量胁迫模型构建           | 在基础盐环境不变的基础上研究铁诱导的氧化胁迫 (Fenton 反应)                                       |

| 产品类型      | 应用场景                            | 核心实验目的/研究问题                         |
|-----------|---------------------------------|-------------------------------------|
| 产品形态差异化应用 | ① 干粉自配钙——适合场景：大规模、长期试验          | 降低大规模/长期实验的运行成本；增加教学实验中配制母液的实践教学环节  |
|           | ② 成品钙浓缩液——适合场景：科研水培实验，温室规模化无土栽培 | 最大化降低称量误差与混合沉淀风险；减少操作步骤确保实验起始条件的均一性 |

## 6.8 日本山崎营养液

日本山崎营养液由日本学者山崎肯哉于20世纪60-70年代开发，基于蔬菜矿质营养吸收特性，按照“吸水与吸肥同步”的n/w理论设计作物特异性离子配比。当代植物科学研究产品多为500倍、1000倍浓缩液，现已从生产用水培营养液发展为精密科研平台。山崎系列覆盖番茄、甜椒、茼蒿、草莓、黄瓜等多种作物，另含1000倍改良加强版，组分边界清晰，批次重现性优异，适用于作物特异性生理研究。

### 主要适用场景：

| 涉及配方                                                                                                                                                                                                                                                                | 研究维度           | 具体应用场景                                                                                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 500×番茄（CN260879、CN260880）<br>500×黄瓜（CN260893、CN260894）<br>500×茼蒿（CN260887、CN260888）<br>500×茼蒿（CN260883、CN260884）<br>500×鸭儿芹（CN260889、CN260890）<br>1000×改良版（CN260900）                                                                                                | 根系构型与养分互作      | 透明化水培下的根系构型无损观测；利用母液分离构建缺素模型（缺Fe、缺P、缺K等）；NMT技术追踪单一离子转运；叶菜类根系对铵/硝比例的特异性响应                                |
| 500×番茄（CN260879、CN260880）<br>500×甜椒（CN260881、CN260882）<br>500×茄子（CN260897、CN260898）<br>500×甜瓜（CN260891、CN260892）<br>500×草莓（CN260885、CN260886）<br>500×茼蒿（CN260887、CN260888）<br>500×茼蒿（CN260883、CN260884）<br>500×鸭儿芹（CN260889、CN260890）<br>500×小芜菁（CN260895、CN260896） | 发育周期配方优化与基因型筛选 | 根据苗期/开花期/结果期动态调整浓度；果菜类（番茄、甜椒、茄子）果实蒂腐病抗性及其着色基因表达调控；叶菜类（茼蒿、茼蒿、鸭儿芹）硝酸盐积累与光合效率研究；根菜类（小芜菁）肉质根膨大期的钾钙平衡与糖分转运机制 |

| 涉及配方                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 研究维度        | 具体应用场景                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 500×草莓 (CN260885、CN260886)<br>500×甜椒 (CN260881、CN260882)<br>500×茄子 (CN260897、CN260898)<br>500×番茄 (CN260879、CN260880)<br>500×茼蒿 (CN260887、CN260888)<br>500×鸭儿芹 (CN260889、CN260890)                                                                                                                   | 果实品质与次生代谢   | 草莓和甜椒果实中花青素、类胡萝卜素、维生素C等次生代谢物的累积条件优化；茄子和番茄果皮着色与木质素代谢信号通路分析；高山茼蒿与鸭儿芹特有风味物质（醇类、醛类）合成的营养调控    |
| 500×番茄 (CN260879、CN260880)<br>500×甜椒 (CN260881、CN260882)<br>500×茄子 (CN260897、CN260898)<br>500×甜瓜 (CN260891、CN260892)<br>500×草莓 (CN260885、CN260886)<br>500×茼蒿 (CN260887、CN260888)<br>500×茼蒿 (CN260883、CN260884)<br>500×鸭儿芹 (CN260889、CN260890)<br>500×小茼蒿 (CN260895、CN260896)<br>1000×改良版 (CN260900) | 高通量表型组学数据采集 | 自动化多光谱成像系统下的无菌循环供液；跨实验室批间重现性控制；为数字孪生模型提供确定的养分输入向量；长周期（30-90天）成像中的营养稳态维持                   |
| 500×茄子 (CN260897、CN260898)<br>500×小茼蒿 (CN260895、CN260896)<br>1000×改良版 (CN260900)                                                                                                                                                                                                                    | 非生物胁迫与逆境通路  | 转录组学中完全营养液 vs 缺素液的差异对照；PEG配合低倍液模拟生理干旱梯度；重金属（Cd/As/Cu）梯度胁迫对各类作物的毒理与富集研究；盐碱胁迫下小茼蒿和茄子的离子调节机制 |
| 500×番茄（低Na <sup>+</sup> ）<br>500×草莓、1000×改良版（低微溶物）                                                                                                                                                                                                                                                  | 微流控器官芯片模拟   | 共聚焦显微镜下根系三维重构的背景液；PDMS微阀系统中液膜表面张力与溶氧阈值调控；表面活性剂辅助的时间梯度成像；草莓、甜椒等须根系作物的根毛动态观测                |
| 500×草莓、500×茄子、500×甜椒、500×茼蒿、1000×改良版                                                                                                                                                                                                                                                                | 离子组学与营养互作   | K、Ca、Mg之间的离子拮抗与协同机制研究；硼、锌、锰等微量元素的缺素临界浓度确认；铁高效/铁低效基因型草莓与茄子的筛选及FIT/IRT1转录因子表达分析             |
| 500×茼蒿、500×小茼蒿、500×茼蒿、500×鸭儿芹                                                                                                                                                                                                                                                                       | 短生育期与快速筛选   | 茼蒿、小茼蒿等短生育期作物的多世代筛选实验；快速获得T0-T3代基因编辑植株的纯合营养助成；密闭植物工厂中光-温-水-肥四因子耦合调控                       |

## 6.9 油菜营养液

十字花科涵盖拟南芥、油菜、甘蓝等模式与经济作物，拥有特有的芥子油苷代谢通路，硫需求量高，角果发育对钙有特殊需求，对营养液离子组成存在定制化需求。我司油菜营养液采用钙盐与基盐相分离的模块化设计，适配十字花科植物科研使用。

### 主要适用场景：

| 产品及货号                                                              | 具体应用场景                               | 实验设计要点                                  |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|
| 油菜营养液<br>(干粉+浓缩液)<br>CN260901<br><br>油菜营养液<br>(干粉+浓缩液)<br>CN260902 | 元素缺乏/过量表型鉴定                          | 仅改变钙浓缩液添加量即可创建单元素梯度，符合单一变量原则            |
|                                                                    | 元素拮抗研究（如 $K^+/Ca^{2+}/Na^+$ 竞争吸收）    | 设置 0×、0.5×、1×、2×、3× 钙水平处理组              |
|                                                                    | 微量元素缺乏症精准鉴定（尤其硼缺乏）                   | 缺硼组不添加 $H_3BO_3$ ，其余组补加 $Na_2B_4O_7$ 母液 |
|                                                                    | 盐胁迫（NaCl）梯度实验                        | 200 mM NaCl + 钙梯度联合处理，解析渗透胁迫与钙信号缓解效应    |
|                                                                    | 重金属毒理学与钙缓解机制                         | 设置重金属梯度（Cd/Pb/Cu）+ 钙梯度，构建剂量-响应曲线        |
|                                                                    | 高通量根系成像与三维重建                         | 配合透明水培槽或琼脂固培系统，统一营养液 EC/pH              |
|                                                                    | EMS/T-DNA 突变体库苗期初筛                   | 5000 份株系采用循环供氧水培槽，统一更换频率                |
|                                                                    | 转基因阳性苗筛选与性状评估                        | 同批次基盐分装后添加 Kanamycin、草铵膦等不同筛选剂          |
|                                                                    | 根际微生物互作（PGPR/病原菌接种）                  | "分步灭菌-无菌汇合"策略：基盐高压灭菌，钙浓缩液+Fe-EDTA 过滤除菌  |
|                                                                    | 根肿菌（Plasmodiophora brassicae）等生物安全实验 | ICP-OES 测定灭菌前后钙浓度变化，确定补偿系数              |
|                                                                    | 从萌发到开花结荚的完整生活史支撑                     | 花期后提高换液频率（从 2 周 1 次→1 周 1 次）；初花期考虑补钾    |
|                                                                    | 芥子油苷（Glucosinolates）生物合成调控           | 结合 MeJA 处理、虫害模拟或损伤胁迫，对比芥子油苷谱变化          |

| 产品及货号                         | 具体应用场景                                   | 实验设计要点                                       |
|-------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 油菜营养液<br>(干粉+浓缩粉)<br>CN260901 | 胞质钙瞬变动力学（使用 GCaMP/Aequorin 探针）           | 设定 0→100 $\mu\text{M}$ →1 mM 阶梯式钙脉冲，实时监测荧光信号 |
|                               | 米氏动力学参数（ $K_m$ , $V_{max}$ ）获取与 FSPM 参数化 | N/P/K 吸收动力学试验+根系 3D 扫描联合建模                   |
| 油菜营养液<br>(干粉+浓缩液)<br>CN260902 | 新基因型/种质资源的营养效率快速鉴定                       | 设置正常+低磷/低氮/缺硼等多个营养处理                         |
|                               | 植物矿质营养、缺素症识别、无土栽培基础                      | 设置完全液 vs. 缺 N/缺 P/缺 K/缺 Fe/缺 Ca 对照           |

## 6.10 日本园试营养液

源自日本兴津园艺试验场的园试营养液，通用性强、表现稳定，应用广泛。伴随分析技术发展，传统配方难以适配高精度实验，改良园试营养液对微量元素完整性、螯合铁稳定性做关键优化，适配精细化科研。我司提供多形式园试营养液，为研究者提供成本、便捷性、精度的多元选择。

### 主要适用场景：

| 产品及货号                           | 核心优势        | 核心劣势          | 最应用场景                     |
|---------------------------------|-------------|---------------|---------------------------|
| 改良园试营养液<br>(干粉+浓缩粉)<br>CN260903 | 成本较低，储存寿命长  | 操作复杂，自配质控要求高  | 大规模常规栽培、品种筛选、教学实验、成本敏感型研究 |
| 改良园试营养液<br>(干粉+浓缩液)<br>CN260904 | 成本较低，简化钙液配制 | 液体部分寿命短       | 平衡成本与便利性的常规科研，避免钙盐溶解误差    |
| 500×日本园试通用营养液(3种母液)<br>CN260908 | 操作简便，重现性好   | 成本较高，微量元素调控不便 | 商业无土栽培、常规生理实验、追求效率和标准化的研究 |

| 产品及货号                              | 核心优势              | 核心劣势         | 最应用场景                                      |
|------------------------------------|-------------------|--------------|--------------------------------------------|
| 500×日本园试通用营养液(3种母液,干粉)<br>CN260907 | 储存寿命长,成本低于液体      | 需配制三种母液,操作繁琐 | 专业实验室进行标准化栽培,但希望长期储存和降低成本                  |
| 500×改良园试营养液(4种母液)<br>CN260906      | 极致便利与精确,稳定性与灵活性最高 | 成本最高         | 高通量表型平台、自动化水培系统、营养缺乏模拟、代谢组学、同位素示踪等前沿、高精度研究 |
| 500×改良园试营养液(4种母液,干粉)<br>CN260905   | 极致灵活性与储存寿命,成本低于液体 | 操作最复杂,质控挑战大  | 具备强大溶液配制能力的专业实验室,进行上述前沿研究,同时追求成本效益和最长货架期   |

### 6.11 Clipson营养液

我司 Clipson 营养液包含标准 Clipson 营养液与微磷 Clipson 营养液。标准款为氯离子及离子信号解耦研究基准体系,通过钙/氮分离与高氯离子体系,为氯离子转运、离子毒害、钙信号振荡研究提供纯净背景;微磷款将磷设定在 PSR 响应临界阈值 (~20 $\mu$ M Pi),作为磷饥饿信号与根系构型研究的标准化诱导体系,适配转录调控、蛋白功能鉴定及全基因组关联分析。二者联用,可开展高盐-低磷等多因子协同胁迫实验,推动植物环境互作的系统化机制研究。

#### 主要适用场景:

| 营养液类型                   | 核心应用领域                         | 具体研究方向与实验设计                                                                                                                    | 适用植物模型                                        |
|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Clipson 营养液<br>CN260909 | 氯离子 (Cl <sup>-</sup> ) 生理与毒害研究 | ① 建立 Cl <sup>-</sup> 剂量-效应曲线,划定营养↔毒害阈值;② 纯 Cl <sup>-</sup> 胁迫环境下的耐氯性基因型/种质高通量筛选;③ Cl <sup>-</sup> 转运蛋白 (SLAC1、CLC、NPF 家族) 功能鉴定 | 氯敏感植物:烟草、豆科、鳄梨;耐氯植物:甜菜、大麦、菠菜;耐盐性研究:水稻、柑橘砧木、番茄 |
|                         | 钙信号 (Ca <sup>2+</sup> Signal)  | ① 纯净记录胞质钙震荡 (Calcium Signature),排除氮信号或阴离子更替的干扰;② 构建“高氯+等渗                                                                      | 拟南芥 (尤其转基因钙探针品系)、                             |

| 营养液类型                      | 核心应用领域                   | 具体研究方向与实验设计                                                                                                                                                                                                 | 适用植物模型                              |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Clipson 营养液<br>CN260909    | ing) 解耦研究                | NaCl/PEG”模型，区分渗透胁迫 VS 离子特异性胁迫的钙信号来源                                                                                                                                                                         | 水稻                                  |
|                            | 纯硝态氮营养与根际碱化学研究           | ① 根际可视化研究：观察植物根系表面碱化微区的时空动态（结合 pH 指示剂/平面光极）；② 机制 I 植物铁还原（FRO2/IRT1）在高 pH 条件下的调控研究；③ 评估特定品种对纯硝态氮的利用效率                                                                                                        | 拟南芥、烟草、水稻（特殊通气条件下）、菠菜               |
|                            | 离子组稳态与营养液标准对照            | 作为高氯背景、已知离子浓度的标准化对照液，用于比较其他配方（如改良 Hoagland、Yoshida）下植物生长的效率差异                                                                                                                                               | 任何水培适应性植物                           |
| 微磷 Clipson 营养液<br>CN260910 | 磷饥饿信号转导（PSR）网络动态研究       | ① 短时效（0–72 h）转录/ChIP 时序实验：检测 PHR1 靶基因（ <i>SPX1</i> 、 <i>miR399d</i> 、 <i>IPS1</i> ）诱导动力学；② 中期（1–4 d）高亲和力 P 转运蛋白（ <i>Pht1;4</i> 、 <i>Pht1;9</i> ）诱导及分泌酸性磷酸酶分析；③ 长期（>4 d）根系构型重塑（PR 抑制、LR 密度↑但伸长↓、根毛↑↑）的完整表型追踪 | 拟南芥（金标准）；水稻、玉米（QTL 定位/GWAS）；番茄、蒺藜苜蓿 |
|                            | 磷高效遗传改良与 GWAS/QTL 定位     | ① 数百份种质资源水培 GWAS 筛选系统：以微磷 Clipson 为均一低磷环境，结合根系扫描+ICP-MS 测定磷吸收/利用效率；② 近等基因系（NILs）的单个磷效率基因功能验证                                                                                                                | 水稻、玉米、大豆（注意种子内源磷干扰）、油菜              |
| Clipson 营养液<br>CN260909    | 复合胁迫（盐+低磷）协同效应研究         | 设计四组平行实验：① 微磷 Clipson+高渗 NaCl（双胁迫）；② 标准 Clipson+NaCl（盐单胁迫）；③ 微磷 Clipson（低磷单胁迫）；④ 标准 Clipson（对照），比较离子组、转录组及代谢组中独特通路                                                                                          | 水稻、棉花、玉米（推广作物）和拟南芥（机理解析）            |
| 微磷 Clipson 营养液<br>CN260910 | VIII. 碳-氮-磷（C-N-P）代谢互作研究 | 标准 Clipson（高 P 纯 $\text{NO}_3^-$ ）/微磷 Clipson（低 P 纯 $\text{NO}_3^-$ ）+ 外源蔗糖（ $\pm 1\%$ ），构建 $2 \times 2$ 因子实验，追踪 TOR 信号与 PHR1、NIGT1 通路的交叉调控                                                                 | 拟南芥、水稻                              |

## 6.12 国内农业大学配方营养液（华南农业大学&山东农业大学）

华南农大配方立足华南气候、水质条件，是国内本土化无土栽培重要成果；山东农大配方针对北方主栽蔬菜，适配其高氮、高钾营养特征。两套配方优化宏量元素比例，满足番茄、叶菜、豆科、西瓜等作物生长需求，广泛应用于营养功能解析、环境胁迫研究、产量品质调控及遗传、分子生物学表型鉴定。

### 主要适用场景：

| 适用营养液                                                            | 研究领域      | 具体应用场景与典型应用举例                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 500×华南农业大学番茄营养液<br>(CN260911、CN270123)                           | 植物营养生理学   | <b>具体应用场景：</b> 矿质元素吸收、运输与利用效率研究<br><b>典型应用举例：</b> 使用华农豆科低氮配方，在标准营养条件下研究根瘤菌接种后植物共生固氮与硝态氮吸收的比例和动态变化           |
| 500×华南农业大学果菜营养液<br>(CN260912、CN270124)                           |           | <b>具体应用场景：</b> 非生物胁迫（干旱、盐分、重金属等）响应机制研究                                                                      |
| 500×华南农业大学叶菜A营养液<br>(CN270125)                                   | 环境胁迫生理学   | <b>典型应用举例：</b> 在以华农配方为基础营养供给的番茄实验中，隔离水分变量研究水分胁迫对果实糖酸组分、硝酸盐含量、挥发性风味物质等品质指标的影响                                |
| 500×华南农业大学叶菜B营养液<br>(CN270126)                                   | 环境胁迫生理学   | <b>具体应用场景：</b> 多因子逆境互作模拟研究<br><b>典型应用举例：</b> 在充足营养供给下，研究干旱胁迫是否会加剧番茄对钙的吸收障碍从而提升脐腐病发生率                        |
| 500×华南农业大学豆科营养液<br>(CN260915、CN270127)                           | 生长发育与品质调控 | <b>具体应用场景：</b> 作物不同生育阶段动态营养需求研究<br><b>典型应用举例：</b> 使用山农西瓜专用高氮高钙配方，系统研究氮、钙供应水平与西瓜果实大小、糖度、脆度、可溶性固形物含量及裂果率的定量关系 |
| 500×山东农业大学西瓜营养液<br>(CN260916、CN270128)                           |           | <b>具体应用场景：</b> 突变体筛选与转基因品系表型鉴定                                                                              |
| 500×山东农业大学番茄、辣椒营养液<br>(CN260917、CN270129)                        | 遗传学与分子生物学 | <b>典型应用举例：</b> 将番茄钙离子通道蛋白基因敲除突变体与野生型共同培养在华农番茄配方（对照）和低钙改良配方（胁迫）中，验证该基因在钙吸收中的功能                               |
| 500×华南农业大学叶菜A营养液<br>(CN270125)<br>500×华南农业大学叶菜B营养液<br>(CN270126) | 植物营养生理学   | <b>具体应用场景：</b> 不同营养形态（硝铵比例）的生理效应研究<br><b>典型应用举例：</b> 在生菜上对比叶菜A和叶菜B配方，量化分析铵态氮比例增加对叶片硝酸盐、维生素C含量及氨基酸谱的影响       |
| 500×华南农业大学番茄营养液<br>(CN260911、CN270123)                           | 植物营养生理学   | <b>具体应用场景：</b> 离子间相互作用（拮抗与协同）研究<br><b>典型应用举例：</b> 研究高钾如何抑制钙和镁的吸收，揭示植物离子稳态维持机制                               |

## 附录

表一：植物营养与无土栽培实验常用核心公式总表

| 类别   | 公式名称                          | 公式                                                                                    | 参数说明                                                               | 单位                                                   |
|------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 单位换算 | mg/L $\Leftrightarrow$ mmol/L | mg/L = mmol/L $\times$ M 或<br>mmol/L = mg/L / M                                       | M = 摩尔质量<br>(g/mol)                                                | -                                                    |
|      | mg/L $\Leftrightarrow$ meq/L  | meq/L = mmol/L $\times$  z  =<br>(mg/L / M) $\times$  z                               | z = 离子化合价绝对值                                                       | -                                                    |
|      | EC $\Leftrightarrow$ PPM(TDS) | PPM = EC( $\mu$ S/cm) $\times$ 系数                                                     | 常用系数: 500<br>(NaCl)、640<br>(442)、700 (KCl)                         | -                                                    |
|      | EC $\Leftrightarrow$ 总电荷      | EC (mS/cm) $\times$ 10 $\approx$ meq/L                                                | 粗略经验估算                                                             | -                                                    |
| 配方计算 | 肥料用量                          | 肥料用量(mg/L) = 需补充元素浓度(mg/L) / (元素质量分数 $\times$ 肥料纯度)                                   | 纯度以小数记                                                             | mg/L                                                 |
| 渗透压  | 理想渗透压<br>(范特霍夫)               | $\pi = i c R T$                                                                       | i=范特霍夫因子;<br>c=浓度(mol/m <sup>3</sup> );<br>R=8.314 J/mol·K;<br>T=K | Pa                                                   |
| 配方安全 | 沉淀临界条件                        | $[\text{Ca}^{2+}] \times [\text{HPO}_4^{2-}] > 10^{-7} \rightarrow$ 沉淀开始              | 经验值, 适用于磷酸氢钙                                                       | (mol/L) <sup>2</sup>                                 |
|      | A/B 母液原则                      | A 液含钙盐, B 液含磷酸盐和硫酸盐; 严禁直接混合                                                           | -                                                                  | -                                                    |
| 生长分析 | 相对生长速率<br>(RGR)               | $\text{RGR} = (\ln W_2 - \ln W_1) / (t_2 - t_1)$                                      | W = 干重 (g); t = 时间 (day)                                           | $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$ |
|      | 净同化率<br>(NAR)                 | $\text{NAR} = [(W_2 - W_1) / (t_2 - t_1)] \times [(\ln L_2 - \ln L_1) / (L_2 - L_1)]$ | L = 叶面积 (m <sup>2</sup> )                                          | $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$ |
|      | 叶面积比<br>(LAR)                 | $\text{LAR} = L / W$                                                                  | 任一时刻测量                                                             | m <sup>2</sup> /g                                    |

| 类别    | 公式名称                | 公式                                                                                                   | 参数说明                                        | 单位                                                      |
|-------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 生长分析  | RGR、NAR、LAR 关系      | $RGR = NAR \times LAR$                                                                               | 三者乘积关系                                      | -                                                       |
|       | 收获指数 (HI)           | $HI = (\text{经济部分干重} / \text{地上部总干重}) \times 100\%$                                                  | -                                           | %                                                       |
| 养分效率  | 养分吸收效率 (RE)         | $RE = (U_1 - U_0) / F$                                                                               | U = 植物吸收量;<br>F = 施肥量                       | kg/kg 或 %                                               |
|       | 养分生理利用率 (PE)        | $PE = (Y_1 - Y_0) / (U_1 - U_0)$                                                                     | Y = 产量                                      | kg/kg                                                   |
|       | 养分农学利用率 (AE)        | $AE = (Y_1 - Y_0) / F$                                                                               | -                                           | kg/kg                                                   |
|       | 三率关系                | $AE = RE \times PE$                                                                                  | 乘积关系                                        | -                                                       |
|       | 内在利用效率              | $PE = Y / U$                                                                                         | 累积吸收的利用                                     | kg/kg                                                   |
| 水分效率  | 瞬时水分利用效率            | $WUE = P_n / Tr$                                                                                     | $P_n$ =光合速率;<br>$Tr$ =蒸腾速率                  | $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$            |
|       | 长期 WUE              | $WUE = \text{生物量(g)} / \text{蒸散量(L)}$                                                                | -                                           | g/L                                                     |
| 蒸散计算  | FAO Penman-Monteith | $ET_0 = [0.408\Delta(R_n - G) + \gamma(900/(T+273))u_2(e_s - e_a)] / [\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)]$ | 见 5.2.1 参数说明                                | mm/day                                                  |
| 吸收动力学 | 米氏方程                | $V = (V_{\max} \times C) / (K_m + C)$                                                                | V=吸收速率; C=浓度; $V_{\max}$ =最大速率; $K_m$ =米氏常数 | $\mu\text{mol} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ |
|       | Lineweaver-Burk 线性化 | $1/V = (K_m/V_{\max}) \times (1/C) + 1/V_{\max}$                                                     | 拟合求 $V_{\max}$ 和 $K_m$                      | -                                                       |
| 离子迁移  | 扩散通量 (菲克第一定律)       | $J_d = -De \times (dC/dx)$                                                                           | $De$ =有效扩散系数; $dC/dx$ =浓度梯度                 | $\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$                        |

| 类别        | 公式名称         | 公式                                                                            | 参数说明                                                         | 单位                        |
|-----------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 离子迁移      | 对流通量         | $J_c = q \times C$                                                            | $q$ =水流通量; $C$ =溶液浓度                                         | $\text{mol/m}^2/\text{s}$ |
| 含水率       | 质量含水率        | $\theta_m = (\text{湿重} - \text{干重}) / \text{干重} \times 100\%$                 | -                                                            | %                         |
|           | 体积含水率        | $\theta_v = (\text{水分体积} / \text{基质总体积}) \times 100\%$                        | -                                                            | %                         |
|           | 容重换算         | $\theta_v = \theta_m \times \rho_b$                                           | $\rho_b$ =基质容重 ( $\text{g/cm}^3$ )                           | -                         |
| 水势        | 总水势分量        | $\Psi = \Psi_m + \Psi_s + \Psi_p + \Psi_g$                                    | $m$ =基质势; $s$ =溶质势; $p$ =压力势; $g$ =重力势                       | MPa 或 bar                 |
| 螯合平衡      | 稳定常数         | $K = [\text{ML}] / ([\text{M}] \times [\text{L}])$                            | $[\text{ML}]$ =螯合物浓度; $[\text{M}]$ =游离金属; $[\text{L}]$ =游离配体 | L/mol                     |
|           | 金属质量守恒       | $C_M = [\text{M}] + [\text{ML}]$                                              | $C_M$ =总金属浓度                                                 | mol/L                     |
|           | 配体质量守恒       | $C_L = [\text{L}] + [\text{HL}] + [\text{H}_2\text{L}] + \dots + [\text{ML}]$ | $C_L$ =总配体投加量                                                | mol/L                     |
| 数值算法      | 牛顿-拉夫逊法 (迭代) | $x_{n+1} = x_n - f(x_n)/f'(x_n)$                                              | 用于求解非线性方程组的近似根                                               | -                         |
| 渗透压 (非理想) | 渗透系数校正       | $\pi = \varphi (\sum c_i) R T$                                                | $\varphi$ =渗透系数 (浓度函数)                                       | Pa                        |

表二：关键概念速查表

| 概念           | 定义与说明                | 标准范围/阈值                                                                     |
|--------------|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| EC (电导率)     | 溶液中离子导电能力，反映总盐浓度     | 通用营养液：1.5–3.0 mS/cm                                                         |
| pH           | 溶液酸碱度                | 大多数无土栽培：5.5–6.5                                                             |
| PPM/TDS      | 总溶解固体，通过 EC×系数换算     | 无统一系数， <b>必须注明标准</b><br>(500/640/700)                                       |
| 溶度积 $K_{sp}$ | 微溶盐的离子浓度幂之积，超过即沉淀    | $\text{CaPO}_4$ 沉淀： $[\text{Ca}^{2+}] \times [\text{HPO}_4^{2-}] > 10^{-7}$ |
| A/B 母液法      | 钙盐(A)与磷酸盐/硫酸盐(B)分开溶解 | <b>A、B 母液严禁直接混合</b>                                                         |
| $V_{max}$    | 最大吸收速率（米氏方程）         | 物种/元素依赖性，实验测定                                                               |
| $K_m$        | 吸收达 $V_{max}/2$ 时的浓度 | 越小亲和力越大                                                                     |
| RGR          | 相对生长速率，单位生物量的增长速率    | 标准单位： $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$                  |
| WUE          | 水分利用效率               | 瞬时： $P_n/\text{Tr}$ ；长期：生物量/蒸散量                                             |
| HI           | 收获指数，经济产量/生物量        | 越高越好，受品种和栽培影响                                                               |
| RE           | 肥料回收率，植物吸收/施用量       | 通过差减法或同位素法计算                                                                |

表三：常用陷阱与对策速查

| 常见陷阱                 | 问题描述                          | 最佳对策                                                  |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------|
| <b>EC 与 PPM 换算不清</b> | 不同仪器用不同系数（500/640/700）导致数据不可比 | <b>直接报告 EC 值</b> ；若用 PPM 必须注明系数                       |
| <b>直接混合 A/B 母液</b>   | 产生磷酸钙或硫酸钙沉淀                   | 始终使用 <b>A/B 分开配制</b> ，使用时依次加入稀释水                      |
| <b>忽略水源背景值</b>       | 自来水中的钙、碳酸盐与配方元素冲突             | 配制前必须分析水源                                             |
| <b>使用线性 RGR 公式</b>   | $(W_2 - W_1)/W_1$ 仅适用于极短间隔    | 使用 <b>对数公式</b> $(\ln W_2 - \ln W_1)/(t_2 - t_1)$      |
| <b>破坏性取样不随机</b>      | 生长分析前后样本不可配对                  | 使用 <b>独立样本</b> ，确保足够随机化和重复数                           |
| <b>忽略叶面积增长</b>       | NAR 计算时直接用算术平均叶面积             | 必须使用 <b>对数平均叶面积</b> $(\ln L_2 - \ln L_1)/(L_2 - L_1)$ |
| <b>过高的 pH</b>        | pH > 6.5 增加微量元素的沉淀风险          | 保持 pH <b>5.5–6.5</b>                                  |
| <b>混淆 NUE 三率</b>     | $AE = RE \times PE$ ，意义不同不可混用 | 根据研究目的（农学/生理/吸收）选择正确指标                                |
| <b>渗透压忽视非理想性</b>     | 高浓度下直接用 $\pi = icRT$ 误差大      | 引入 <b>渗透系数 <math>\phi</math></b> 或使用 <b>活度</b> 校正     |
| <b>螯合计算忽略 pH</b>     | 忽略酸效应导致螯合不足                   | 必须基于 <b>条件稳定常数 <math>K'</math></b> 在不同 pH 下计算         |

## 标准化实验流程建议：

为确保数据的可靠性和可重复性，建议研究人员遵循以下标准化流程（SOP）：

### 1. 实验设计阶段

明确区分施肥组与不施肥对照组（计算三率必需）

设置至少3-5个重复

确定破坏性取样的时间点（如第一天、第七天、第十四天...）

### 2. 营养液配制阶段

先测量水源背景元素浓度

优先计算钙和磷的用量（沉淀风险最大）

使用 A/B母液法 分开溶解

配制完成后测量 EC 和 pH 确认

### 3. 生长分析取样阶段

取样后立即分离根、茎、叶；测量叶面积

105°C 杀青 30 分钟，70-80°C 烘干至恒重

使用分析天平称重（精度 0.0001g）

### 4. 养分吸收量测定阶段

粉碎干燥样品，确保均质化

选择标准消解方法（如  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  法）

使用 ICP-OES 或比色法等标准方法测定元素含量

**注意：**混合酸消解和干灰化法无法区分样品中的同位素（如 $^{15}\text{N}$ ）；若需计算同位素回收率，必须使用专门的同位素质谱（如IRMS）



阿勒山(广州)生物科技有限公司

办公地址: 广州市海珠区仑头路78号  
东泰方正产业园A3栋210房

客服热线: 400-880-0548

官网商城: [www.ararat-bio.com](http://www.ararat-bio.com)

企业邮箱: [Aaratbio@163.com](mailto:Aaratbio@163.com)



阿勒山京东



阿勒山淘宝



小红书账号



B站账号



微信公众号

本地经销商信息