



# 中国水稻的生产与 平衡施肥效果及技术

国际植物营养研究所 (IPNI) 中国项目

北京办事处

联系人：何 萍 李书田

电话：010-82108000

地址：北京市中关村南大街12号旧主楼628室109信箱

邮编：100081

成都办事处

联系人：涂仕华

电话：028-84549289

地址：成都市静居寺路20号科源大厦714-715室

邮编：610066

武汉办事处

联系人：陈防

电话：027-87510433

地址：中国科学院武汉植物园实验楼223室

邮编：430074

陈防 张过师 涂仕华

国际植物营养研究所 (IPNI) 武汉办事处

国际植物营养研究所 (IPNI) 成都办事处



## 中国水稻的生产及平衡施肥效果和技术

### 一、水稻生产的基本状况

人类栽培水稻的历史大约有一万年，主要起源于泰国、缅甸和中国。世界上水稻品种成千上万，但栽培稻 (*Oryza L.*) 均起源于野生稻，包括籼稻、粳稻、黏稻、糯稻、深水稻、陆稻。从水稻种质资源类型来看，普通栽培的水稻又可分为印度稻 (*Indica*)，日本稻 (*Japonica* 或 *Sinica*)，爪哇稻 (*Javanica*)，我国相应称之为籼稻，粳稻，爪哇稻。以上三个亚种中，爪哇稻实际属于中间类型。从主要稻作类型与分布来看，世界上灌溉稻有 7900 万公顷，占 52%；雨养稻约 5400 万公顷，占 34%；旱稻约 1500 万公顷，占 10%；深水稻、浮稻约 500 万公顷，占 3-4%。

目前全世界各大洲均有水稻栽培，世界水稻常年种植面积基本稳定在 1.5 亿公顷，其中亚洲水稻面积约占世界的 90%，美洲约占 4%，非洲约占 3%。栽培大国主要是中国（约占世界水稻面积的 20%，产量的 32%）和印度（约占世界水稻面积的 29%，产量的 22%），另外孟加拉、印尼、泰国、菲律宾 5 个亚洲国家的水稻栽培面积占了全世界总面积的 65%。虽然全世界水稻栽培的总面积变化不大，但近几十年来随着良种和栽培技术的推广，水稻单产已大幅提高，平均从 1975 年的每公顷 1695 公斤增加到 2008 年的每公顷 4310 公斤。目前各主要水稻生产国的水稻主要用于本国消费，仅有 6-7% 的稻谷用于出口。

中国是世界上的水稻消费大国，水稻种植面积占粮食种植面积的 1/3，产量占粮食总量的一半，人均年消费稻米 150 公斤以上。中国稻作分布广泛，从南到北跨越热带、亚热带、暖温带、中温带和寒温带 5 个温度带。

除青海外，从南到北（海南-黑龙江漠河），从东到西（台湾-新疆），不同海拔高度（沿海平原-云南宁蒗县山区，海拔 2965 米）均有水



稻种植，目前中国水稻种植主要在秦岭-淮河以南并以籼稻为主，而北方主要在东北地区并以粳稻为主。我国稻区可以划分为 6 个稻作区：华南双季稻稻作区、华中双单季稻稻作区、西南高原单双季稻稻作区、华北单季稻稻作区、东北早熟单季稻稻作区、西北干燥区单季稻稻作区。在政策扶持、市场需求和产业带动的带动下，生产布局日趋集中，形成东北、长江流域和东南沿海三大优势产区。

按世界品种类型划分，中国目前籼稻约占 70%，粳稻约占 30%；杂交水稻和常规水稻约各占 50%（其中：杂交粳稻约占粳稻的 3%，杂交籼稻约占籼稻的 70%）。按世界稻作类型划分，中国灌溉稻约占 93%，雨养稻约占 4%，旱稻约占 3%。按栽培季节划分，中国早稻占 22.0%，中稻（单季稻）占 55.5%，晚稻占 22.5%。水稻的一生中从种子萌芽到新种子形成，整个生育期需要 90-180 天，经历发芽、出苗、分蘖、拔节、长穗、抽穗、结实等阶段。从生育进程来看，要经历营养生长期（包括秧苗期和分蘖期）和生殖生长期（包括成穗期和结实期）。

## 二. 水稻生长特性

水稻是一年生禾本科植物，须根系，不定根发达，穗为圆锥花序，自花授粉。水稻喜高温、多湿、短日照，对土壤要求不严。幼苗发芽最低温度10-12℃，最适28-32℃。分蘖期日均20℃以上，穗分化适温30℃左右，低温使枝梗和颖花分化延长。抽穗适温25-35℃，开花最适温30℃左右，低于20℃或高于40℃，受精受严重影响。相对湿度50-90%为宜。穗分化至灌浆盛期是结实关键期，营养平衡和群体的高光效，对提高结实率和粒重意义重大。抽穗结实期需大量水分和矿质营养，同时需增强根系活力和延长茎叶功能期。每形成1公斤稻谷约需水500-800公斤。

## 三. 水稻的营养特性

水稻对土壤肥力和养分平衡状况较敏感，任何一种必需营养元素的失调都会对其正常发育、产量形成和抗胁迫能力造成影响。土壤贫瘠时施肥往往增产提质，高量施肥常增产降质，而单一高量施肥常减产且低质。适量施氮和分次施氮可提高水稻精米率、米粒透明度和蛋白质含量，减少米粒的白垩和直链淀粉含量。水稻孕穗期追施氮肥可增加干粒重和蛋白质含量，但过量施氮，特别是在灌浆期过量施氮，会由于蛋白质增加而导致稻米口味变差。不同土壤类型对稻米品质如蛋白质含量和垩白大小有明显影响，种植在花岗岩母质发育的水稻土上的稻谷口感往往好于火山母质发育的水稻土，湿地好于旱稻，平原好于山区，深耕及容重小的土壤好于浅耕和紧实的土壤。

在不同的营养元素中，水稻产量、品质和抗性受N、K营养失调的影响最大，其他养分如P、Zn、S、Si、Mg、Ca等也有影响，但不如N和K的影响大。到目前为止发现水稻必需的营养元素有13种。通常每生产100公斤稻谷需要吸收N 1.6-2.5 公斤，

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.6-1.3 公斤, K<sub>2</sub>O 1.4-3.1 公斤, Si 17.5-20 公斤, 平均比例为1: 0.5: 1.3: 10.9, 而且随着产量的提高, 每生产100公斤稻谷的养分需要量也随之升高。土壤氮、磷和硫的含量与水稻蛋白质、精米率和直链淀粉含量呈正相关, 锰含量高则垩白大, 香稻一般生长在含锌量较高的土壤上。钾素可以促进水稻氮的代谢和光合产物向子粒的输送。研究表明, 施用钾肥可提高水稻的风选率1.3-1.7%, 增加糙米蛋白质含量2.8-6.8%。施钾还可以减轻真菌病害, 早稻和晚稻的趋势相同。

水稻各生育期对养分的吸收, 因类型不同而有较大差别: 双季稻生育期短, 特别是大田营养生长期缩短, 营养生长和生殖生长在移栽后不久就重叠和并发展, 因而在移栽后2-3周形成一个突出的吸肥高峰, 这与单季稻在移栽后2-3周及7-9周有两个吸肥高峰有明显区别。总的看来, 从移栽到分蘖终期, 早稻吸收的氮, 磷, 钾, 占一生中吸收总量的百分数比晚稻高; 从抽穗至结实成熟期, 晚稻对氮、磷、钾的吸收率又高于早稻(表1); 中稻从移栽到分蘖停止时, 氮、磷、钾吸收量均已接近总吸收量的50%, 整个生育期中平均每日吸收三要素的数量最多时期为幼穗分化至抽穗期, 其次是分蘖期。杂交水稻在分蘖至孕穗这一

表1 双季稻各生育期对氮磷钾养分的吸收率(%)

项 目		移栽~分蘖期	幼穗分化~抽穗期	结实成熟期
早 稻	氮	35.5	48.6	15.9
	磷	18.7	57.0	24.3
	钾	21.9	61.9	16.2
晚 稻	氮	22.3	58.7	19.0
	磷	15.9	47.4	36.7
	钾	20.5	51.8	27.7

阶段是三要素吸收量的高峰期，约占总吸收量的60-70%。其中，对氮的吸收以分蘖期稍多于幼穗形成期，对磷、钾的吸收则以幼穗形成期为最多，这与常规品种类似。所不同的是，从齐穗至成熟期，对三要素吸收较多，约占20-30%。

#### 四. IPNI中国项目水稻平衡施肥的效果

自1982年开始至今，加拿大钾磷肥研究所 (PPIC)，现更名为国际植物营养研究所 (IPNI) 中国项目部在全国范围的研究与技术示范合作项目中开展了1500余个水稻平衡施肥田间试验，较全面地研究了平衡施肥对主产区水稻生产的影响和效果，建立了全国水稻试验数据库，并通过田间示范田、技术培训和新闻媒体等不同形式进行了大面积的技术示范和推广。水稻平衡施肥研究表明，全国约有80%的水田土壤缺氮且有机质低于1.5%、40%缺磷，45%缺钾，65%缺锌。根据多年多点的试验结果，已初步提出水田土壤分析的有效养分含量临界值并用于区域性水稻推荐施肥。这些前期的研究结果为目前进一步实施IPNI的4R养分管理策略和应用开发水稻养分管理专家系统 (Nutrient Expert®) 打下了良好基础。

根据2001-2011年IPNI中国项目在我国南方地区8个省的46个早稻氮肥试验，55个磷肥试验和55个钾肥试验的统计结果表明：早稻施氮平均增产22.6%，氮肥农学效率(AE)为11.9 kg/kg N；施磷平均增产10.6%，磷肥农学效率为11.2 kg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>；施钾平均增产11.2%，钾肥农学效率为5.5 kg/kg K<sub>2</sub>O。晚稻施氮平均增产26.2%，氮肥农学效率为11.5 kg/kg N；施磷平均增产7.4%，磷肥农学效率为10.6 kg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>；施钾平均增产12.3%，钾肥农学效率为7.2 kg/kg K<sub>2</sub>O。中稻或一季晚稻施氮平均增产24.8%，氮肥农学效率为9.2 kg/kg N；施磷平均增产8.9%，磷肥农学效率为9.0 kg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>；施钾平均增产8%，钾肥农学效率为4.6 kg/kg K<sub>2</sub>O。总的来看氮肥的效果好于磷肥，钾肥的效果好于磷肥，平衡施肥处理产量最高。

IPNI中国项目近10年来的田间试验、示范、调查和中国农业年鉴的统计数据显示，目前在我国南方地区早稻产量一般可以达到6,500公斤/公顷，晚稻产量一般可以达到7,000公斤/公顷，中稻(一季晚稻)产量一般可以达到9,000公斤/公顷。我们的试验结果表明，平衡施肥在早稻上产量可达到8426公斤/公顷，在晚稻上可达8700公斤/公顷，在中稻或一季晚稻上可达9705公斤/公顷。我国东北地区水稻平衡施肥试验结果也表明，平衡施肥或推荐施肥处理通常比农民习惯施肥增产7-16%。

#### 五. 水稻平衡施肥的技术

当我们进行水稻施肥时首先应对土壤肥力状况有所了解，必要时应取土化验或进行养分空白田间试验，根据研究结果和种植的作物来选择合适的肥料并进行施肥量和施肥方法的推荐，在条件允许的情况下尽可能采用增施有机肥、秸秆还田、稻草覆盖等农艺措施对土壤进行培肥。水稻生长过程中的养分管理特别是氮素的调控可以采用的几种主要方法包括：叶龄法、植株营养诊断法、目标产量法、定时(实时)管理法。

水稻平衡施肥应根据土壤肥力状况、种植制度、生产水平和品种特性进行配方施肥，并遵循以下原则：重视化肥，配合有机肥，施足基肥，早施蘖肥，巧施穗肥，酌情施粒肥。根据前期的研究结果，水稻的相应的大量元素施肥量一般为，早稻：N150-180公斤/公顷，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60-90公斤/公顷，K<sub>2</sub>O 60-100公斤/公顷；晚稻：N 180-210公斤/公顷，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60-90公斤/公顷，K<sub>2</sub>O 75-105公斤/公顷；中稻：N 225-280公斤/公顷，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 75-95公斤/公顷，K<sub>2</sub>O 75-120公斤/公顷。在长江中下游地区，一般中等肥力的水田每亩施用N150-180公斤/公顷，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 60-105公斤/公顷，K<sub>2</sub>O 60-120公斤/公顷。

从施肥方式来看，磷、钾肥通常可作为基肥在插秧前一次施入，钾肥亦可分为基肥和追肥分次施入；氮肥（普通尿素）的50-70%作基肥，其余可作分蘖肥、穗肥和粒肥分次施入。在水稻施用缓控释尿素的情况下，一般可将氮肥的用量减少20%左右。施肥时可全部缓控释尿素作基肥，或与普通尿素按缓控释尿素70-80%，普通尿素20-30%的比例配合施用。

基肥在播种前或栽秧前结合整地施入，一般以有机肥为主，配合适量化肥，因水稻一生中吸收养分量最多的时期在抽穗以前，故基肥宜占总施肥量的60%以上。追肥按时期分为：①分蘖肥，移栽水稻返青后或直播水稻三叶期至分蘖期间施用，目的在于弥补稻田前期土壤速效养分的不足，促进分蘖早生快发。②穗肥，幼穗开始分化至穗粒形成期施用，有巩固有效分蘖，增加颖花数并减少颖花退化以提高结实率的作用。③粒肥，齐穗前后追施，可防止根系早衰并延长叶片功能期，从而增加结实数并提高粒重。此时，水稻根部吸收能力减弱，根外追肥是一种经济有效的追肥方式。

高产水稻栽培在肥料运筹上，有条件的地方提倡施用水稻专用复合肥。对氮、磷、钾三要素肥料而言，磷肥可全作为基肥或种肥。钾肥除在质地较沙的土壤上提倡分次施用外，也提倡适当早施，一般作为基肥或分蘖肥。氮肥的施用时期有较大差异，主要有以下几种：

(1)基肥“一道清”施肥法将全部氮肥于整田时一次全层施下，适用于黏土、重壤土等保肥力强的稻田。

(2)“前促”施肥法在施足基肥的基础上，其余氮肥在返青后全部施用，早施、重施分蘖肥。本法适用于栽培生育期短的品种，施肥水平不高或前期低温、肥效发挥慢的稻田。

(3)“前促、中控、后保”施肥法水稻尤其是双季稻，其吸肥高峰在移栽后2-3周，必须在移栽前期施用大量速效性肥料，才能使供肥高峰提前，适应双季稻“前促”的要求。通常把氮肥的70-80%集中施用前期。当分蘖达到预期目标后，再采用搁田或烤田的方法，控制氮素的吸收。后期复水后，对叶色褪绿严重的稻株，于孕穗期酌施保花肥。本法适用于本田生育期短的双季稻，以及供氮能力低的土壤。

(4)“前稳、中攻、后补”施肥法前期肥料适当控制，着眼于促根、控叶、壮秆，当穗进入分化期，重施促花肥。抽穗以后，可看苗补施粒肥。本法适用于中熟、晚熟品种，保肥性差的稻田以及施肥量较低的情况。

从不同季型水稻的施肥特点来看，早稻大田营养生育期短，秧苗小，移栽时温度低，早活、早发是关键。应早施氮肥，重施磷肥。晚稻秧龄长，秧苗大。宜氮肥深施，多钾少磷。单季稻生长期和大田营养生长期长，重在壮秧、浅栽和适当密植，而不是栽后的猛促分蘖。施肥的重心在基肥和穗肥，基肥以有机肥为主。拔节期叶色淡时酌施促花肥，抽穗后若叶色落黄，施粒肥。

目前国际植物营养研究所中国项目正在全国范围内开发推广水稻养分管理专家系统（Nutrient Expert®），该系统是在遵循4R养分管理策略的前提下，以经过实际验证的数学模型和计算机程序为手段，以大量的自然环境背景资料和当地作物种植的关键数据为基础，充分考虑和利用土壤本身的肥力条件和养分资源、作物类型、轮作制度及肥料的种类，在作物需要时给予施肥推荐的一种作物养分管理专家系统，具有与作物反应的相关性好、操作简便、及时，价格低廉、可利用网络进行推荐施肥等优点，已在世界的许多国家和我国许多地区进行推广。

六. 水稻常见缺素症状图谱



水稻缺氮症状



水稻缺磷症状



水稻缺钾症状



水稻缺硫症状



水稻缺锰、缺锌症状



水稻缺铁、缺镁症状