

## 水稻

水稻是禾本科稻属的植物，子实收获后脱粒成为大米，与小麦，玉米并列为三大粮食作物，是亚洲最大的主食粮食作物。

禾本科稻属植物已知有 23 种 77 系，其中亚洲稻和非洲稻 2 种是栽培种。亚洲稻又可以分为旱稻和水稻两大类。旱稻多种植在东亚和东南亚的山区，栽培期间不需恒常浸水，只需有足够的降雨量，保证植株能够吸收到水分就可以正常生长。水稻则需要除了成熟期之外的整个生育期间有充足的水分才能正常生长，所以只能在湛水的水田内栽培。日本栽培的水稻属于亚洲稻的高耐寒性日本亚种（japonica 种），又称为日本型粳稻。中国南部和东南亚一带栽培的则是亚洲稻的耐寒性弱的热带性印度亚种（indica 种），常称为籼稻。

水稻是日本的主食作物，在粮食作物中的栽培面积和收获量为第 1 位。根据日本农林水产省 2019 年的统计数据，日本的水稻栽培面积 146.9 万公顷，收获量 776.2 万吨，其中作为主食用的水稻栽培面积 137.9 万公顷，收获量 726.1 万吨。饲料用米，加工用米，储备米等非主食用的水稻栽培面积仅有 9 万公顷，收获量 50.1 万吨。

本编仅对日本型粳稻的栽培和施肥管理进行解说。籼稻和旱稻在日本没有商业性的栽培，所以不予解说。

### 1. 水稻的生育阶段和主要的农作业

水稻的生育阶段分为营养生长期和生殖生长期。营养生长期又可分为育苗期，成活期，分蘖期，幼穗形成和孕穗期，生殖生长期又可以分为抽穗开花期，灌浆登熟期和成熟期。各生育阶段还可以再加以细分。图 1 是水稻的生育阶段示意图。



图 1. 水稻的生育阶段示意图

因为水稻在初期生长较缓慢，为了能够使发芽后的幼苗得到良好的生育环境，避开初春的春寒，达到生育健壮齐一，以及保证能够及时在夏季抽穗开花和灌浆，不受秋季低温影响，通常采用集中育苗后进行插秧移植的栽培方式。

在育苗期，首先用盐水进行选种，再用温水或杀菌剂进行消毒杀菌后将种子浸水催芽。催芽日数是 10℃约 7~10 天，15℃约 5~7 天，当种子萌发出 1mm 的芽时就可以将种子播入育苗箱，覆盖上薄土，放入有保温设备的塑料大棚或芽温室内进行育苗。通常，育苗期 25~30 天，待秧苗长出 2~4 片叶片，株高 10~18cm 时就可以进行插秧移植。

在日本，水稻每年只栽培 1 季，除了部分温暖地区是在冬小麦收获后的 6 月中～下旬进行插秧移植外，其他地区多在 4 月下旬～5 月中旬进行插秧移植。

插秧后到秧苗扎根成活恢复生长约需要 10~15 天。这段期间称为成活期。秧苗成活后马上进入分蘖期。

进入分蘖期后，秧苗下部节开始萌发出新芽，形成新植株。新植株的基部节又会再次萌发出新芽，不断形成新植株，称之为分蘖。分蘖期约持续 50~60 天，1 株苗可以分蘖出 7~8 株，一丛秧苗最终大概可以分蘖形成约 30 株。分蘖期发生的新植株不能全部都发育出幼穗，只有初期分蘖出的植株因营养状态较好，才能继续在茎内形成幼穗，称之为有效分蘖。后期分蘖出的植株不能形成幼穗，称之为无效分蘖。通常，只有分蘖期的最初 20~30 天为有效分蘖期，在其后发生的分蘖均不能形成幼穗。大概在插秧后 35~40 天，成活后 25~30 天的分蘖达到最高峰，随后分蘖活动逐渐静止下来。

在分蘖期的高峰，有效分蘖的植株茎内开始形成幼穗，进入幼穗形成和孕穗期。在抽穗的 25~35 天前就可以在茎内观察到幼穗的形成。幼穗形成后就开始了减数分裂，在穗上分裂形成多数的生殖细胞。幼穗形成后，植株不再发生新叶，又称为止叶期。随后幼穗进入孕穗期，幼穗不断成长和完成。幼穗形成和孕穗期合起来约 30~35 天。

幼穗完成后进入抽穗开花期。抽穗开花期只有 5~7 天，在该期间水稻进行抽穗，开花和授粉。

开花授粉后进入灌浆登熟期。叶片光合作用合成的碳水化合物流转到子实内转化成淀粉积累下来。在登熟期的后期，茎秆内的储藏养分也都会流转到子实里转化成淀粉，茎叶逐渐变黄，进入成熟期。

通常，从抽穗开花起经过 40~45 天后可进入成熟期。水稻在进入成熟期后就可以收获了。

在日本，水稻的整个生育期间因栽培品种和日照，气温等气象条件不同，大概在插秧后需要 120~140 天。

## 2. 水稻的生长曲线和养分吸收的关系

水稻在生育期间所吸收的养分是作为形成各组织器官和维持生理活动所需的物质。通常，被根系吸收进入到水稻体内的养分在数天～10 数天后就会成为新器官组织的构成成分。因此，养分吸收曲线要比水稻的干物重增加曲线提早数天～10 数天，若将养分吸收曲线移后数天～10 数天的话，基本上与干物重的增加曲线相似。图 2 是水稻生育期间株高，茎数的生长曲线和干物重增加曲线。

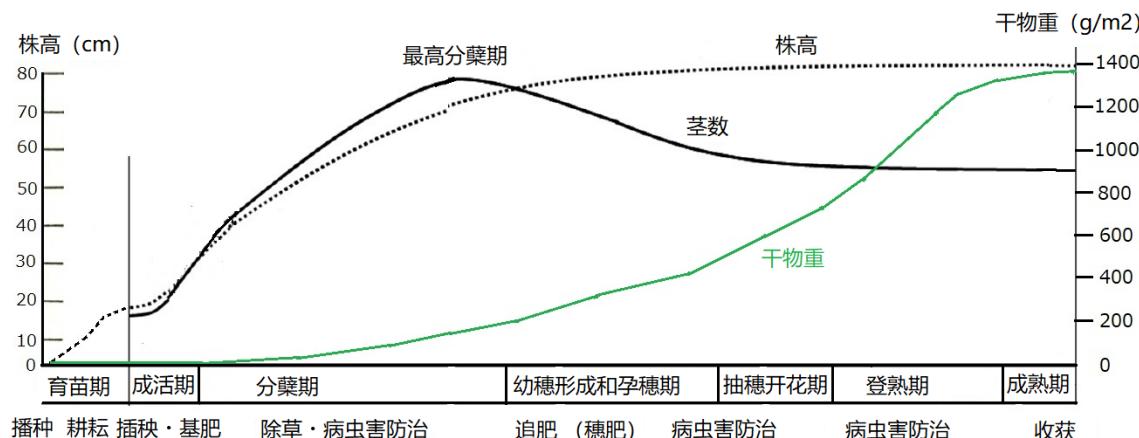


图 2. 水稻的生长曲线

水稻在其生育期间所吸收的全养分量可以从收获物和残留茎叶的重量和所含的养分量进行推算。根据日本的农业环境技术研究所发表的「我国农作物的养分收支」中的数据，糙米中的养分含有率是氮 1.18%，磷 ( $P_2O_5$  换算) 0.60%，钾 ( $K_2O$  换算) 0.43%。按照日本农林水产省 2019 年的统计数据，日本水稻  $1000m^2$  (1.5 亩) 的糙米收获量的平均值是 528kg。从上述数据可计算出  $1000m^2$  (1.5 亩) 的糙米所含的养分量是氮 6.23kg，磷 ( $P_2O_5$  换算) 3.17kg，钾 ( $K_2O$  换算) 2.27kg，子实以外的茎叶和稻壳等非食用部分的干物重是 631kg，其养分含量是氮 4.19kg，磷 1.87kg，钾 13.13kg。即栽培  $1000m^2$  水稻，需要从土壤中吸收 10.42kg 的氮，5.04kg 的磷和 15.40kg 的钾。

但是，水稻的收获物仅限于子实，茎叶等多数被残留在耕地里，腐烂后所含的养分也大部分留在耕地里。加上灌溉水带来的养分和耕地土壤中积累的各种养分数量也不能忽视。实际上必须通过施肥得到的养分量要比上述数量要少很多，大体上只需要施用水稻生长所需的养分量的 30~50% 的肥料就足够了。

有相当多的实验数据表明水稻的养分吸收量因生育阶段而有很大的变化。

育苗期生长缓慢，发芽时所需的养分基本上是依靠种子内的储藏物质供给的，从外部仅需要吸收水分而已。发芽后的育苗期到插秧后的成活期幼苗所吸收的养分仅是全生育期间养分吸收量中氮的 2~3%，磷的 2% 和钾的 0.5~1.0%。从分蘖期起养分吸收量逐渐增多，氮养分的吸收峰值是在最高分蘖期到抽穗期，磷养分和钾养分的吸收峰值是在抽穗期到登熟期的乳熟期。

其理由是从分蘖期起植株大量发生分蘖，需要较多的养分，特别是氮养分来供应分蘖出来的新植株用于形成茎秆和叶片以及形成幼穗。但是，若在分蘖期和幼穗形成期氮养分供应过剩的话，反而会导致无效分蘖增多，还容易诱发病虫害，需要注意。幼穗形成后，从抽穗开始到登熟期，随着植株的抽穗开花和子实的形成，光合产物流转到子实和转化成淀粉后的积累等需要大量的养分。若在该期间磷钾养分不足的话，就会出现穗小粒少，子实不饱满，千粒重低等现象，不能获得预期的产量。但是，在抽穗期后仍大量供给氮养分的话，容易引起徒长造成倒伏，

还会导致成熟推迟，子实中的蛋白质含量增多，大米的口感不好。

### 3. 水稻栽培所需的施肥量和施肥管理

施用的肥料中所含的养分不可能全部都被吸收利用在水稻的生育上。有实验数据表示，施下的肥料当季利用率是钾肥为最大，可达 60% 左右，尿素和硫酸铵等常用氮肥的利用率只是 35~50%。磷肥的利用率更低，仅有 15~30%。因此，栽培水稻 1000m<sup>2</sup> 耕地需要施用 8~12kg 氮，5~10kg 磷和 8~12kg 钾。水稻的根系不太发达，但养分吸收能力较强，施肥量不足的话，会对收获量造成相当的影响。

水稻的施肥管理思想是按照水稻的生育阶段，在各养分吸收峰值之前施入足够的肥料来供给植株吸收。常规栽培的施肥管理分成基肥和追肥进行。

基肥主要是为了提供水稻分蘖期到幼穗形成和孕穗期的生长所需的养分，以及部分抽穗开花期以后的生长所需的养分。基肥的施肥方式因施肥位置不同而分为全面表层施肥，全面全层施肥和侧条深层施肥三种方式。

全面表层施肥是在耕起放水整地后，在插秧前将肥料散布到水田里的施肥方式。其特征是肥料只存在于耕作土层的表面，容易溶解在水田的水里，成活后的秧苗容易接触和吸收到养分，初期生育旺盛，容易确保有足够的分蘖数。但是容易随灌溉水的流动而流失，肥效短，肥料利用率低。

全面全层施肥是在耕起前就将肥料散布在水田里，通过耕耘将肥料混入到整个耕作土层里的施肥方式。其特征是肥料存在于整个耕作土层中，流失少，肥效期间长，肥料利用率较高。但是，因肥料过于分散，秧苗成活后到分蘖中期为止的根系不够发达，养分吸收不足，分蘖初期成长稍劣，分蘖后期成长转盛，无效分蘖较多。

侧条施肥是使用侧条施肥机在插秧的同时将肥料呈条状施入到秧苗侧旁的耕作土层内的施肥方式。其特征是肥料集中施入到水稻秧苗侧面的耕作土层的深层，与土壤的接触面小，可以抑制氮肥的硝化作用和脱氮，减少磷的土壤固定，秧苗成活后可以接触到较多的肥料，初期生育旺盛，容易确保有足够的分蘖数，肥料流失少，肥效期间长，肥料利用率高，可以比全面全层施肥节省 10~20% 的施肥量。

另外，可以使用树脂包膜尿素作为氮肥，将整个生育期间所需的肥料全部集中到基肥施用的一次性基肥施肥方式。这样可以免去追肥，节省施肥劳力，减轻肥料流失和脱氮，氮肥的施用量可以更加减少 10% 左右。但是，生育后期有可能出现肥料不足的现象，收获量要比基肥和追肥的常规施肥方式稍有减少。与追肥所需的肥料费用和劳力相比，一次性基肥施肥方式在栽培效率上还是有一定的优势，现在在日本已成为主流的施肥管理方式。

追肥基本上在水稻的生育期间内只施用一次，其作用是为了给抽穗开花期和灌浆登熟期提供必要的养分，所以又被称为穗肥。

追肥在幼穗形成期的减数分裂期到孕穗期的前期施用。在抽穗前的 18~25 天内施用能够取得最大的肥料效果。追肥施用过早，容易因营养过剩而拖长分蘖期，无效分蘖增多，引起徒长导致后期倒伏。施用过迟则容易造成在孕穗期和抽穗开花期养分不足，穗小粒少，登熟迟等弊

害。追肥量的标准是  $1000\text{m}^2$  水田施用  $1.5\sim 3\text{kg}$  氮和  $1\sim 1.5\text{kg}$  钾，但需要根据水稻的生育状况适宜增减，以达到最好的施肥效果。

追肥采用全面表层施肥方式。将肥料全面撒放到水田里或将开封后的肥料放在灌溉水的进水口，溶解后的肥料随着灌溉水流人和扩散到整个水田里。

#### 4. 施肥管理上的注意事项

水稻栽培上的施肥管理主要有以下几项注意事项。

- ① **避免使用硝态氮肥料。** 硝态氮是负离子，不被土壤胶体吸附，容易随水流失，不适宜施用于水田。但是在水稻的根吸收活力进入了衰退期的灌浆登熟期，将硝态氮作为追肥施用具有促进根系的氮养分吸收之效果。在这种场合，需要先将水田只留浅水，施用追肥后  $3\sim 5$  天不能排水，以免硝态氮流失。
- ② **不要过剩施用氮肥。** 氮肥的过量施用容易增加无效分蘖，茎秆徒长，导致后期容易倒伏。氮肥过多还会引起子实中的蛋白质含量增高，脱壳精米后的大米口感变差。未能被水稻吸收的氮肥还会因灌溉和降雨而流失，或因脱氮作用被还原成氮气损失，降低了肥料利用率，造成环境污染。
- ③ **采用一次性基肥的施肥方式时亦需要注意有无追肥的必要。** 通常使用包膜尿素的一次性基肥施肥方式不需要进行追肥，可以大幅度减少施肥劳力和施肥量。但是，使用不当的话，在生育后期有可能出现氮养分不足，不能满足水稻生育需求的现象。必须在幼穗形成期和孕穗期注意观察分蘖数和叶色，若发现氮养分不足，需要及时进行氮肥的追肥。
- ④ **不必在意硫酸铵的施用。** 以前认为硫酸铵中的硫在水田的湛水环境下容易被还原成硫化氢，损伤水稻根系，造成登熟期生长停滞，引起减产。但是，随着冬季干田和栽培期间短期落水干田技术的导入和普及，可以抑制硫化氢的生成，不会对水稻生育造成不良影响。因此可以使用硫酸铵作为水稻肥料，不必顾虑生成硫化氢的问题。
- ⑤ **注意施用含有硅酸的肥料。** 水稻是嗜硅作物，喜好吸收硅来助长生育。通常地下水和河水含有一定的硅酸，用作灌溉水时不易出现缺硅现象。但在降雪量多的日本北海道和东北，北陆地区，灌溉水多使用不含硅的融雪水，容易出现缺硅现象，影响水稻生育。施用含有硅酸的矿渣硅肥或硅胶肥料，钙镁磷肥等，可以使水稻茎叶强壮，不易倒伏和患病虫害，增强对异常气候（冷害，高温障害等）的抵抗力。