

File No. 47

施肥位置与肥料利用率的关系

现代农业的特点之一是大量使用肥料。提高肥料的利用率不仅可以节约施肥劳力和肥料成本，削减开支增加收入，还可以减轻因施肥而造成对土壤，水源和大气的污染，是降低肥料造成的环境负荷最有效和最重要的手段。前一篇文章「施肥时期与肥料利用率的关系」论述了在农作物的栽培过程中，如何使肥料的养分供应与作物的养分需求达到同步是提高肥料利用率的最重要最有效的手段。本篇文章则是论述施肥位置与肥料利用率之间的关系。

通常，化肥的水溶性很高，一旦施用到耕地里，所含的肥料成分就会很快地被土壤中的水分所溶解，使得土壤溶液中的养分浓度急速增高。溶解于土壤溶液中的养分若不能及时地被农作物吸收的话，容易随着雨水或灌溉水渗入地下水中或随地表水流失，还会发生脱氮和逸散挥发，造成养分损失。特别是氮肥中的氮养分很不稳定，除了灌溉和降雨会造成流失外，还会受到土壤微生物的脱氮作用变成氮气散失到大气里。养分的损失不仅减少了可供养分量，还会引起环境污染。有相当多的研究报告表明在水稻栽培和多雨地区，因土壤水分过多的原因，氮肥的吸收利用率经常会显示出较低的数值。

磷肥施用到耕地后，溶解到土壤溶液里的磷酸离子容易被含非晶质铝和铁的粘土矿物强力吸附，使得可供给作物的磷养分浓度显著降低，肥料利用率下降。特别是广泛分布在日本各地的黑色火山土含有多量的非晶质铝，对磷酸离子的固定系数高，磷肥施用后溶解出来的磷酸离子很快就会被固定成难溶性磷，使得磷肥的利用率更加低下。

含有氨态氮和钾，钙，镁等养分的肥料在施用后溶解在土壤溶液里成为阳离子，会被粘土矿物等构成的土壤胶体吸附保持。土壤吸附保持阳离子的能力用土壤阳离子交换能力（土壤 CEC 值）来表示。一般来说，土壤 CEC 值越大，则能够吸附保持肥料养分的能力就越大，还可以缓和土壤 pH 和土壤 EC 的变动，是保肥能力大肥沃度高的土壤。

虽然被土壤胶体吸附了的离子态养分可以再度脱离吸附返回到土壤溶液里，但土壤溶液的移动度并不高，作物根若接触不到养分离子的话，基本上是不能吸收这些养分的。反过来若作物根接触了含有高浓度养分的土壤溶液的话，根内的水分会因渗透压的关系被吸出根外，妨碍根对养分和水分的吸收，出现作物脱水，生长不良等的养分浓度障碍症状。这种现象又称为肥害。因此，施肥位置对于肥料的有效利用和回避肥料的浓度障碍等是很重要的因素，是综合施肥技术中非常关键的环节。

根据肥料的施用位置与农作物根的所在位置之间的关系，可以分为间土施肥和接触施肥两大类。图 1 是间土施肥和接触施肥的示意图。

间土施肥是施肥后的肥料与作物根之间隔着一定距离的土壤，不直接与根接触。肥料溶解后通过土壤溶液移动到根旁被根吸收。间土施肥的特征是可以防止速效性肥料的快速溶解导致根圈范围内的养分浓度急速上升，妨碍根对养分和水分的吸收，出现作物脱水，生长不良等的肥害现象。间土施肥的缺点是肥料养分从施肥位置移动到作物根的过程中会发生溶脱，脱氮·逸散，固定等，造成养分损失，容易降低肥料的利用率。

接触施肥是将肥料施用在作物根旁，根可以直接接触到肥料，不必通过土壤中介就可以吸

收到养分。接触施肥的特点是根能够直接吸收肥料养分，可以减轻养分逸失，显著提高了肥料利用率。缺点是施肥后根圈范围内的养分浓度有可能急速升高，容易因渗透压而妨碍根的养分和水分吸收机能，出现作物脱水，生长不良等的肥害现象。还会因局部养分浓度过高而导致溶脱流失。

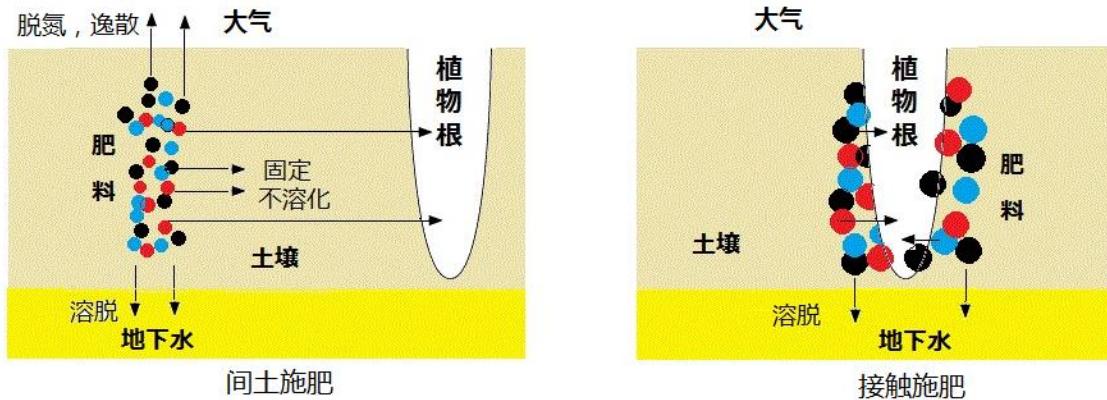


图 1. 间土施肥和接触施肥的示意图

为了避免肥料施用后发生的肥害，「化肥不能施用在根旁」成了施肥常识。间土施肥成了通常栽培方式的施肥形态。但在 1980 年代发明了包膜肥料以后，肥料养分的释放溶解速度可以得到确切的控制，不会出现施肥后土壤溶液中养分浓度急速上升的现象，可以完全避免肥害的发生。这样，将肥料直接施用到作物根旁，通过控制养分的释放速度，在必要的时期能够提供必要的养分的接触施肥方式得到提倡和欢迎，使得肥料利用率得以大大提高。这是缓释性肥料在日本的水稻栽培上得到快速普及的原因。

肥料的施肥方式和施用位置从土壤的平面上看可分为全面散布和条状施肥，从土壤的垂直面上看则可分为表层施肥，全层施肥，深层施肥和下层施肥等（图 2）。此外还有叶面施肥和培养液栽培等特殊的施肥方式。以下对各种施肥位置的特征进行简单的解说。

1. 全面全层施肥： 将肥料施用到耕地表面后进行耕耘，将肥料全面混入耕作土层里的施肥方式。主要用于基肥的施用。全面全层施肥的特征是：

- ① 肥料比较均匀地分布在耕作土层里，作物根系的各个方面都可以吸收到肥料。不易出现肥害。
- ② 适合使用机械施肥，施肥作业简单，适合用于面积比较广阔的耕地。
- ③ 肥料使用量大。
- ④ 肥料利用率低，养分容易流失和固定，对环境影响较大。

2. 全面表层施肥： 只是将肥料施在耕地表面，并不翻耕到耕作土层里的施肥方式。适用于基肥和追肥。全面表层施肥的特征是：

- ① 只是散布肥料，不需耕耘，适合用于面积比较广阔的耕地。不易出现肥害。
- ② 施肥作业非常简单，既可以机械施肥，也可以手工施肥，施肥效率高。

- ③ 肥料使用量大。
- ④ 肥料只存在于土壤表面，若没有降雨或灌溉，养分难以到达作物根部，不易见到肥效。
- ⑤ 肥料利用率非常低，养分容易流失和脱氮，对环境影响大。

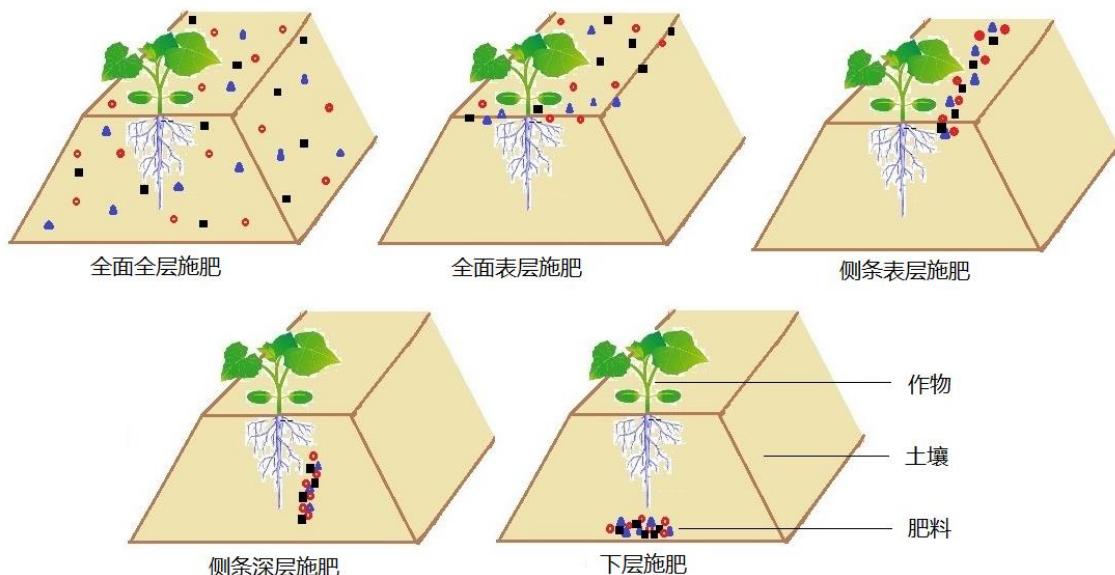


图 2. 各种施肥方式和施肥位置示意图

3. 侧条表层施肥： 将肥料成条状地施用于耕地表面后，并不翻耕到耕作土层里的施肥方式。

又称为条状施肥。多用于追肥。条状表层施肥的特征是：

- ① 只是散布肥料，不需耕耘，适合用于面积比较广阔的耕地。不易出现肥害。
- ② 施肥作业非常简单，既可以机械施肥，也可以手工施肥，施肥效率高。
- ③ 肥料使用量较少，是全面表层施肥用量的 70~80%。
- ④ 肥料只存在于土壤表面，若没有降雨或灌溉，养分难以到达作物根部，不易见到肥效。
- ⑤ 肥料利用率非常低，养分容易流失和脱氮，对环境影响大。

4. 侧条深层施肥： 沿着耕地的垄在植株近旁开挖浅沟，将肥料施入沟内后伏土覆盖，不使肥料露出地面的施肥方式。在日本，侧条深层施肥作为使用机械进行水稻插秧的同时在秧苗侧方施用基肥的方式得到广泛普及。侧条深层施肥的特征是：

- ① 需要使用特别的施肥机械进行施用，施肥效率不高。但可以在定植的同时进行施肥，节约施肥人工和时间，综合效率并不低。
- ② 肥料使用量少，只是全面表层施肥的 30~50%就够了。
- ③ 肥料施用位置到根之间的距离决定了肥效出现的速度快慢。
- ④ 肥料集中在耕作土层的深层，不直接接触大气，可以抑制硝化作用和脱氮。肥料流失少，减轻养分的土壤固定，肥料利用率高。
- ⑤ 肥料集中位于作物根的侧面和下面，肥效时间长。

⑥ 肥料接近根部，容易出现肥害。因此多使用包膜肥料和脲醛等缓释性肥料。

5. 下层施肥： 在耕地里开挖较深的洞穴或沟，将肥料施用到洞穴或沟里覆盖上一层薄土后在上面定植或播种的施肥方式。主要用于果树和蔬菜定植时的基肥施用。下层施肥的特征是：

- ① 施肥作业效率低。
- ② 肥料使用量少，只是全面表层施肥的 30~50%就够了。
- ③ 只适用于果树和叶菜类，不能用于萝卜等根菜类。因为萝卜等根菜容易因下层的肥料而发生根的分歧，影响收获物的品质。
- ④ 肥料集中在作物根的下面，根伸长后就可以接触到肥料，肥效快，但易发生肥害。
- ⑤ 肥料集中在耕作土层的深层，不直接接触大气，可以抑制硝化作用和脱氮。肥料流失少，减轻养分的土壤固定，肥料利用率高。

以上所述 5 种施肥方式的肥料利用率的高低大概可按下面的顺序排列。

侧条深层施肥 ≥ 下层施肥 > 全面全层施肥 > 侧条表层施肥 > 全面表层施肥

此外还有叶面施肥和培养液栽培这 2 种特殊的施肥方式。

6. 叶面施肥： 叶面施肥又称作叶面散布，是将肥料溶解在水里制成含有低浓度养分的溶液后散布到作物的叶片上，让叶片直接吸收养分的施肥方式。叶面施肥的特征是：

- ① 肥效很快。在收获前使用可以提高收获物的商品质量。在根的养分吸收机能低下和出现生理障碍时能够较快地恢复植株的生长。
- ② 适用的肥料种类有限。
- ③ 肥效与作物种类（主要是叶片的构造），生长阶段，叶龄（嫩叶的吸收能力要比老叶高），散布时的气候有关。
- ④ 只是辅助性的施肥方式，不能代替根的养分吸收。

7. 培养液栽培： 培养液栽培是指不用土壤，只是将肥料溶解在水里制成培养液后，将作物栽培在培养液里的栽培方式。又分为完全不用培养基，让根直接浸在培养液里或垂在培养液的表面吸收养分的「水培」方式；用其他固体培养基代替土壤，将作物栽培在固体培养基上的「固体培养基栽培」方式；将作物根固定在空气中，将培养液喷雾到根部让其吸收水分和养分的「喷雾栽培」方式这 3 大类型。

培养液栽培的特征是：

- ① 完全不用土壤，可以避免土壤传染的病害和连作障碍。
- ② 不需要耕耘，起垄，培土，施肥，除草等农作业，施肥管理可以实现自动化，节省人工。
- ③ 作物根直接吸收肥料养分，肥效特别快。
- ④ 肥料养分不会脱氮流失和被土壤固定，基本上不会对环境产生不良影响。
- ⑤ 根密切接触到培养液，能够在需要时期吸收到需要的养分。不易发生肥害，肥料利用率可高达 80%以上。

阻碍培养液栽培普及的最大障碍是初期投资很大，需要较多的资金。经营规模小的农户难以负担这些经费。培养液的调配和栽培管理也需要一定的经验。近年来，为了克服培养液栽培的缺点，日本开发和普及了培养液土耕方式。

培养液土耕是以土壤（多数采用砂质土或砂壤土）为培养基，将肥料溶解在水里制成低浓度的培养液后，施用到作物根旁，施肥与灌溉同时进行的栽培方式。其特征与培养液栽培相似，还可以利用土壤的缓冲机能，减少灌溉施肥次数。原来是以色列等干旱地区使用的栽培技术，在日本则多用于西红柿，黄瓜和花卉类的大棚栽培，能够大大地降低初期投资，培养液的调配和栽培管理也比较容易，技术门槛不高。只要控制好培养液的肥料成分比和浓度，施用次数等，就可以很好地抑制土壤的盐分积累，提高肥料的利用率。

培养液土耕的灌溉方式大致上可以分为 2 种。一种是从地上部的滴头将培养液点滴到作物根旁。另一种是在土壤里预先埋设管道，培养液通过管道壁上的小孔渗出到土壤里供作物根吸收。培养液土耕的关键是控制培养液的养分浓度和数量，少量多次地供给作物，将作物的根系限定在一定的范围内。既可以容易地控制作物的生长，提高收获量和收获物的品质，还可以防止施肥过量造成土壤盐分积累。培养液土耕方式的肥料利用率可以提高到 70%以上。

下一篇文章预定说明肥料的种类与肥料利用率的关系。