

作物施肥技术丛书



尤德敏 邱嘉璋 编著

---

# 水稻

---

## 施肥新技术

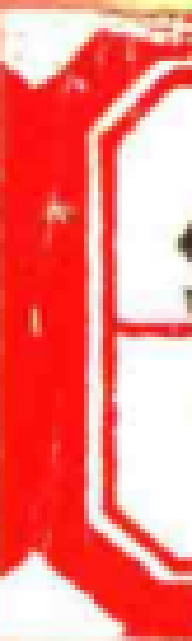
---

中国农业出版社

11.06  
328

ISBN 7-109-03297-3/S·2120

定价：2.75 元



作物施肥技术丛书

# 水稻施肥新技术

尤德敏 邱嘉璋 编著

中国农业出版社

## 前 言

水稻是我国主要粮食作物之一，种植面积占粮食作物总面积的四分之一以上，其产量则近粮食总产量的二分之一。但目前全国平均单产还相当低，且不稳和不平衡，故增产潜力还很大。

据国际水稻研究所调查，在一些发展中国家，虽然水利条件已得到改善，但推广良种时仍不能获得应有的产量，其原因，一半是由于肥料选择和施用不当，另一半是病虫害的防治工作未做好。我国目前也普遍存在这种情况。而施肥技术的重要性远未受到如农药和除草剂那样的重视。这是因为，作物在营养方面所发生的问题，表现得较缓慢而复杂，在程度上又出现多样化，没有良好经验和一定专业知识的人员，是不易察觉到的。

肥料是作物的营养物质，作物吸收营养主要是靠根系从土壤中获得。故任何一种作物的施肥技术，都必须针对土壤、肥料和作物本身的特性加以综合考虑。以水稻而言，由于在灌水后土壤的理化和生物性状都起了与旱地土壤很不相同的变化，肥料在水田中的表现也不同于旱地。作者在很多年的水稻施肥试验和生产实践中，尽可能做到作物、土壤和肥料三方面的条件兼顾，同时在各种情况下都按水田氮肥应入土的基本原则研究施肥方法（包括施肥时间、部位和用量）。本书中介绍的部分技术措施，与当前推行的有不尽相同，甚

至很不相同之处，如对移栽时的面肥和返青初期的分蘖肥，还有秧田的“断奶肥”等，书中都持否定态度，这是在氮肥深施的基础上，经过反复试验比较及大田生产检验后得出的结论。它比当前一般采用的方法省肥、省工又较高效，群众也易于掌握。

农业生产的环境条件是千变万化的，但基本原理是相通的。我们认为只要读者切实按照书中的要求去做，定能获得稳而又较高的效益。

科学技术的进步日新月异，人们对客观事物的认识永无止境，热忱欢迎读者对本书内容提出批评指正和补充意见，以使《水稻施肥新技术》更臻完善。

作 者

1993年2月

# 目 录

## 前言

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 一、水稻土的形成和性质.....        | 1  |
| (一) 形成水稻土的基本条件.....     | 1  |
| 1. 温度.....              | 1  |
| 2. 水源.....              | 1  |
| 3. 土壤.....              | 1  |
| 4. 地形.....              | 2  |
| (二) 水稻土的主要类型 .....      | 2  |
| 1. 良水型水稻土 .....         | 4  |
| 2. 地表型水稻土 .....         | 4  |
| 3. 地下水型水稻土 .....        | 5  |
| (三) 淹水后土壤主要性状的改变 .....  | 5  |
| 1. 物理性状的改变 .....        | 5  |
| 2. 生物群落的变化 .....        | 6  |
| 3. 化学性质的变化 .....        | 7  |
| (四) 淹水后土壤中植物养分的变化 ..... | 9  |
| 1. 氮的变化 .....           | 9  |
| 2. 磷的变化 .....           | 11 |
| 3. 钾的变化 .....           | 12 |
| 4. 其它营养物质的变化.....       | 12 |
| 5. 水田自然供肥能力 .....       | 13 |
| 二、水稻的营养成分和肥料种类.....     | 16 |
| (一) 水稻需要的养分 .....       | 16 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 1. 水稻植株的组成成分 .....              | 16 |
| 2. 三要素养分的需要量 .....              | 17 |
| 3. 水稻吸收养分的基本规律 .....            | 18 |
| 4. 营养元素的生理作用和缺乏时的症状 .....       | 19 |
| 5. 营养与水稻品质和生理病害的关系 .....        | 22 |
| 6. 土壤缺素的生物测定法 .....             | 24 |
| (二) 水田的肥料种类和用法 .....            | 25 |
| 1. 有机肥料 .....                   | 25 |
| 2. 化学肥料 .....                   | 30 |
| 3. 复混肥 .....                    | 44 |
| 4. 有机肥与无机肥配合施用的好处和条件 .....      | 45 |
| 三、合理施肥与水稻生育关系 .....             | 47 |
| (一) 水稻产量的构成 .....               | 47 |
| 1. 构成产量的三个组成部分 .....            | 47 |
| 2. 营养条件对穗、粒数和粒重的影响 .....        | 52 |
| (二) 按水稻生育规律施肥 .....             | 54 |
| 1. 生育期中植株碳氮比的变化 .....           | 54 |
| 2. 营养生长期和生殖生长期的理想长相与施肥的关系 ..... | 58 |
| 3. 穗肥的施用时期和技术要求 .....           | 59 |
| 4. 粒肥的施用时期和技术要求 .....           | 66 |
| 四、秧田施肥 .....                    | 67 |
| (一) 壮秧的标准 .....                 | 67 |
| (二) 秧苗吸收养分的特性 .....             | 67 |
| (三) 秧田施肥技术 .....                | 68 |
| 1. 肥料的数量要足, 质量要精 .....          | 68 |
| 2. 氮肥应以基肥为主, 追肥为辅 .....         | 69 |
| 3. 重视磷、钾肥的施用 .....              | 71 |
| 五、大田施肥 .....                    | 75 |
| (一) 我国水稻施肥技术的演变过程概述 .....       | 75 |

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| (二) 制定切实可行的产量指标 .....                        | 77  |
| (三) 施肥量的估算和施肥方案的制定 .....                     | 77  |
| 1. 施肥量的估算 .....                              | 77  |
| 2. 根据不同生产水平制定施肥方案 .....                      | 78  |
| (四) 在讨论施肥技术措施之前需要说明的几个问题 .....               | 82  |
| 1. 以亩产稻谷200—400公斤和400—600公斤两类田为对象 .....      | 82  |
| 2. 为什么水田中氮的施入量往往比实际消耗量少 .....                | 82  |
| 3. 氮肥施用技术都是以基肥深施或全耕层混施为基础 .....              | 83  |
| (五) 不同种植方式水稻的施肥技术要点 .....                    | 85  |
| 1. 双季早稻施肥技术要点 .....                          | 85  |
| 2. 双季晚稻施肥技术要点 .....                          | 87  |
| 3. 常规单季稻施肥技术要点 .....                         | 89  |
| 4. 杂交单季稻施肥技术要点 .....                         | 91  |
| 5. 少、免耕水稻施肥技术要点 .....                        | 94  |
| 6. 旱直播稻施肥技术要点 .....                          | 95  |
| 7. 抛秧水稻施肥技术要点 .....                          | 96  |
| 8. 再生稻施肥技术要点 .....                           | 97  |
| 9. 蔬菜—水稻轮作施肥技术要点 .....                       | 97  |
| 附录 .....                                     | 99  |
| (一) 注 (名词解释) .....                           | 99  |
| (二) 水田常用氮肥用量换算表 .....                        | 101 |
| (三) 有机肥中的NPK量折合成化肥NPK的换算标准<br>(暂行、供参考) ..... | 102 |
| (四) 有机肥与无机肥配合试验的补充材料 (供参考) .....             | 102 |
| (五) 三种以后期追肥为重点的高产施肥法 (日本) 介绍 .....           | 103 |
| 1. 片仓施肥法 .....                               | 103 |
| 2. V字施肥法 .....                               | 105 |
| 3. 深层追肥法 .....                               | 107 |
| (六) 抛秧秧箱的构造 .....                            | 108 |
| (七) 抛秧的好处 .....                              | 109 |

## 一、水稻土的形成和性质

水稻土是人类在长期的种稻活动中，经过平整、灌水排水、耕耘、施肥、水旱轮作等耕作管理措施，培育而成的一种具有特殊性质的农业土壤。

### （一）形成水稻土的基本条件

1. 温度 水稻的生长，要求六、七、八和九月四个月的平均温度在 $20^{\circ}\text{C}$ 以上，秧田期水温和土温高于 $11^{\circ}\text{C}$ ，分蘖期高于 $12^{\circ}\text{C}$ 。粳稻比籼稻较耐低温，所以北方种粳稻，南方则多种籼稻。

2. 水源 水稻是喜湿作物，要求土壤中水分经常饱和或淹水。水稻的蒸腾系数<sup>(注1)</sup>并不比麦子高，但由于高温季节蒸发快，还有灌溉水的渗漏，所以需水量约比大、小麦多8—10倍。因此，种稻单靠天下雨不能保证需要，还需要有灌溉水源。灌溉水的温度对水稻生长影响很大。

3. 土壤 由于只要温度和水源条件适合水稻生长的地区都可以种水稻，所以形成水稻土的土壤种类很多，其主要条件是土层内有较粘重的不漏水土层。砂性太重或其它原因漏水的田不宜作水田。如果地下水位高，砂性强的土壤也可种稻。对米的品质来说，以不粘不砂的壤性土上长出来的稻谷最好。

水稻对土壤酸碱度的要求不太严格，但以中性土最适宜。土壤太酸要施适当数量石灰。水稻幼苗很不耐盐碱，在盐碱土地区种稻时要注意早排水洗盐碱，要注意灌溉水的质量。由

于稻根呼吸需要氧气，不能排水的低洼田不宜种稻，而应种其它水生植物，如慈菇、茭白、荸荠、藕等。

4. 地形 水稻适于平坦、坡度小、能大片种植的地区。我国水稻土主要分布在大江、大河的冲积平原及其下游的三角洲(注2)、湖滨冲积地、海滨滩地和大小不一的盆地(注3)。

在温暖多雨的丘陵山谷中，凡是有水源的地方都可以种稻，如半山半圩的田，靠塘坝水库灌溉的梯田，冬季囤水的冬水田，还有地势较高的水旱二熟垌田等。

总之，几千年来，劳动人民把凡是有条件种稻的地方，大多改造成各式各样的水田。其原因是因为水稻较其它粮食作物产量高，又比较稳产，

## (二) 水稻土的主要类型

水对水稻土的形成起决定性作用。长时期的淹水，使土壤中的微生物活动、土体本身的各种物理的、化学的性状都发生了变化，从而使整个剖面的上下各层间发生了有明显特征的层段。这些层段又因土壤性质、气候环境、地下水位的高低、土壤透水性的好坏等条件不同而又各不相同。图1是典型的良水型水稻土的剖面层段示意图。

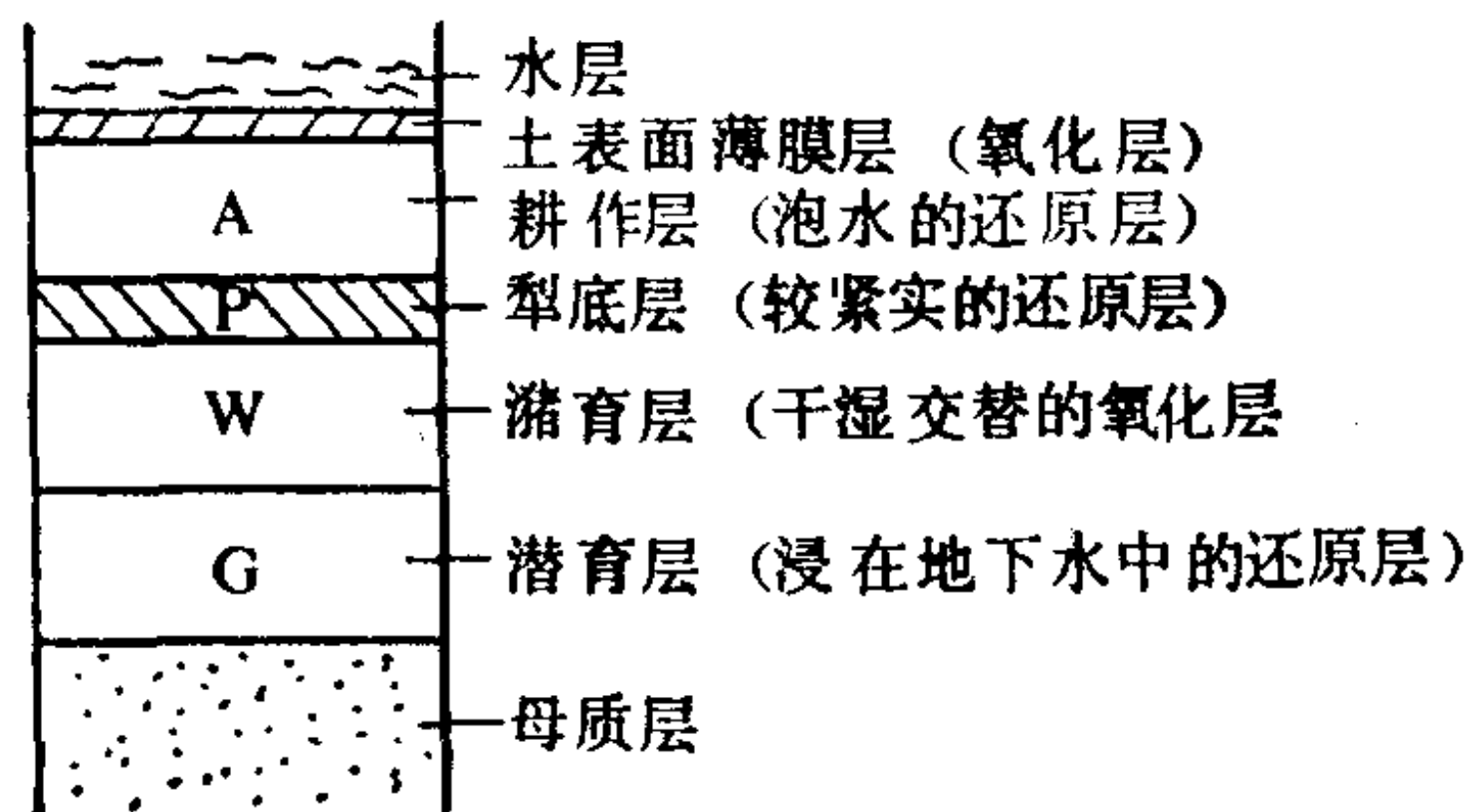


图1 典型水稻土剖面图

在灌溉水层下几到10毫米厚的一薄层土壤是棕黄色胶浮状的“氧化层”(注4)。氧一部分来自溶于水中的少量氧气(注5)，绝大部分来自水中的藻类进行光合作用(注6)时释放出来的氧气。

A层是耕作层的主体。由于水耕水耙，泡水时间又长，土粒崩散。在有机质多的田里，含有丰富的稳定性象蚕沙一样的小团粒结构。土壤粘而瘦的田，灌水后呈糊烂或多僵块，缺少团粒结构。粉砂多的土壤，既缺少团粒结构，也不糊烂，而是淀浆板结。此层由于与空气隔绝，有机肥料又集中施在此层，故还原性较强。土体往往呈暗棕色，灰色、甚至青灰色。在根系附近，由于空气经叶、茎的通气组织而进入根部，并分泌到土壤中，故根际局部形成氧化状态，出现氧化铁的棕红色或黄色的条纹或斑块，还有被氧化锰染了色的黑斑。在透水性好，有机质又较多的田里，此层中可形成大量的血红色斑块，俗称“鳝血”，这是肥沃水稻土的象征。

P层是犁底层，在水耕条件下受犁壁的机械压实作用，以及耕层泥浆中的细土粒随水下移，沉积下来形成较紧实的土层。此层透水性较弱，可以防止耕层中水分和养分漏失过多过快。但此层如太板结，渗水性太差，也会引起耕层中土壤还原性太强，产生有毒物质。

犁底层出现部位因耕耙的深浅而定。近些年来，有些地方由于抢收抢种，用拖拉机浅耕浅耙，在原来的犁底层上又形成新的犁底层。因此，犁底层变厚，耕作层变浅，土壤吸肥保肥的能力都减小，稻根伸展受到限制。

W层是潜育层，在犁底层之下，受灌溉水和地下水的双重影响形成的。由于上面灌溉水的时灌时排和地下水的时升时降，使此层也有时浸水，有时脱水，造成氧化状态和还原

状态的交替发生，形成斑纹层。斑纹层的出现，说明该田爽水性好而又不漏水。

G层是潜育层，经常处在地下水中浸泡的土层，还原性强，呈青色或蓝绿色。如是由红壤发育的水田，则以灰蓝色或紫蓝色为主。

以上是典型的水稻土剖面。根据地形和受水的影响不同，可把水稻土分为三大类：

1. 良水型水稻土 良水型水稻土具有上述典型水稻土的剖面，大多发育于河流冲积土，土层深厚，地下水位在一米左右。灌排方便，通透性好，是高产土壤类型。

有一种叫漂洗型水稻土，也属于良水型。这类水稻土有平原白土和丘陵塝田的白土、淀浆白土等。这些土壤处于平原阶地或山麓向平原过渡的地段。母质多是深厚的河流冲积物。由于侧向水流的漂洗作用，将土壤中铁、锰以及粘粒漂洗掉，出现厚度不等的浅白色漂洗层。漂洗层土壤结构差，紧实瘠薄。漂洗层的部位越高，越不利于水稻的生长，是一种低产土壤。

2. 地表型水稻土 在丘陵岗地上的水田，只受灌溉水的影响。只有耕层在水稻生长季节呈还原状态，而下层仍是氧化状态。水稻收后，土壤逐步落干，全剖面仍处于氧化状态。犁底层除较紧实外，也有从耕作层淋洗下来的铁、锰斑痕。犁底层以下的土壤，只受上面渗漏水的影响，干湿交替的时间多，通气性好。再向下的土层较干燥，基本上仍保持原来土壤的特征。

这种土壤通透性好，但耕作层往往不深，土壤较瘦。为了保证水稻高产，首先要搞好农田基本建设，保证水源供应，注意土壤的深耕培肥。

3. 地下水型水稻土 这种水稻土存在于地下水位高的地方。土壤内部排水性差，耕作层土壤经常或长期受到地下水的浸泡。土壤粘重糊烂，空气缺乏，且土温较低。有机质含量虽高，但分解缓慢，有效肥力低。整个土体以青灰色为主，锈纹、锈斑很少，是典型的迟发田。

这类土壤主要分布在平原水网地区，在山区的山脚或谷口集水处也有存在。改良的措施关键在于开沟排水，降低地下水位。

### （三）淹水后土壤主要性状的改变

#### 1. 物理性状的改变

（1）土壤持水能力增强 水田由于形成了犁底层，增加了保水性能。保水性能的好坏是水稻高产的一个重要的土壤条件。保水性差的田，漏水漏肥严重，不宜种播。滞水性太强的田，水分渗透太慢，土壤还原性强，易产生有毒物质，也不能得高产。适宜的保水性能以在灌二寸深的水层后，能维持4—6天为宜。

水稻是喜温喜湿的作物，在满足温度条件下，只要土壤水分饱和或接近饱和就能生长，并不需要一直浸在水中。水稻一生只有几个阶段必须有水层，即移栽后活棵阶段、幼穗分化阶段和灌浆期间、或因气温太高或太低时需要蓄水以调节温度。其余时间都不需要有水层，更不需要深水层，而是要干干湿湿。

水稻生长在淹水的田中，水中溶有多种养分，易于被水稻吸收。水稻之所以能够生长在缺氧的环境中，是因为叶鞘和茎秆中有发达的通气组织，称做气腔。空气经气腔向根部输送，又从根分泌到根际的土壤中，将土壤中暗黑色的还原铁氧化成褐红色的氧化铁，并附着在根的表面，保护根不受

有毒物质的侵害。所以，在排水良好、铁质丰富的田里，水稻的老根都呈褐红色。如若没有褐红色的铁膜保护，在不透气的环境下，根就会受硫化氢及其它有毒物质的侵害而形成黑根。有了黑根，水稻生长就受到阻碍，甚至死苗。群众称黑根是“送命根”。

水稻由于有发达的通气组织，才能在水中和缺乏空气的土壤中成长。如果连叶尖也没入水中，只要一二小时，全株就会死亡。

(2) 气体成分改变 在土壤孔隙中的空气中，一般含有近20%的氧气。灌水后空气被水排走，而氧气在水中的扩散速度还不到在空气中的万分之一。稻田水中杂质很多，氧在污水中的扩散速度更小。在灌水6—10小时后，土壤中氧的含量就接近于零了。

随着氧气的不断减少，土壤中生成各种气体如二氧化碳、甲烷、甚至硫化氢等。这些气体的浓度如超过一定限度，都对水稻生长不利。水田要求有一定的透水性，就是为了防止滞水时间太长，造成过多有害气体和有毒物质的积累。

2. 生物群落的变化 淹水后几个小时，土壤中原来的好气微生物<sup>(注7)</sup>很快就把残留在土壤中的氧气用完，形成缺氧的土壤环境。同时大量好气性微生物停止活动或死亡，而不需气体氧的嫌气微生物<sup>(注8)</sup>则大量繁殖。

灌水后藻类在水层和土层表面开始大量繁殖，藻类是有叶绿素<sup>(注9)</sup>的低等植物，能进行光合作用。光合作用放出氧气，氧气溶于水中，使田面灌溉水中氧的含量超过正常水中的水平。因此，在水层与土壤交界处有一薄层土壤仍然是有氧气的氧化层（图1）。

在藻类中有些能利用空气中的分子态氮转化为化合态

氮(注10)。这种藻类名叫固氮蓝藻。固氮蓝藻能分泌出氨，或死亡后分解放出氨，供水稻吸收。有人估计，一亩田中，一年由固氮蓝藻提供的氮素，可相当于5—15公斤硫酸铵所含的氮。土壤越肥，固氮蓝藻繁殖得越多，提供的氮素也越多。

嫌气微生物并不是不需要氧，而是它们能从氧化物中去取得氧，供呼吸作用(注11)所需。由于土壤中氧气不足，有机质分解不能完全进行到底，而是形成大量的中间产物，如各种有机酸、醇类、甲烷、硫化氢等。这些物质在土壤里积累过多会伤害稻根。这种不完全的分解叫做“嫌气发酵”。凡是水面上有气泡发生，就是土壤中在进行着嫌气发酵。这种还原性太强的土壤环境，对水稻生长很不利。

3. 化学性质的变化 土壤灌水后由于生物群落的变化和化学变化的原因，引起了许多化学性质的变化。

(1) 溶液中养分离子浓度增加 在灌水后，土壤中的铁、锰物质被还原成可溶性。可溶性铁、锰又从土壤胶体(注12)上把其他养分离子交换出来，并进入到土壤溶液中去(图2)。凡是在土壤溶液中的养分都能被植物吸收。

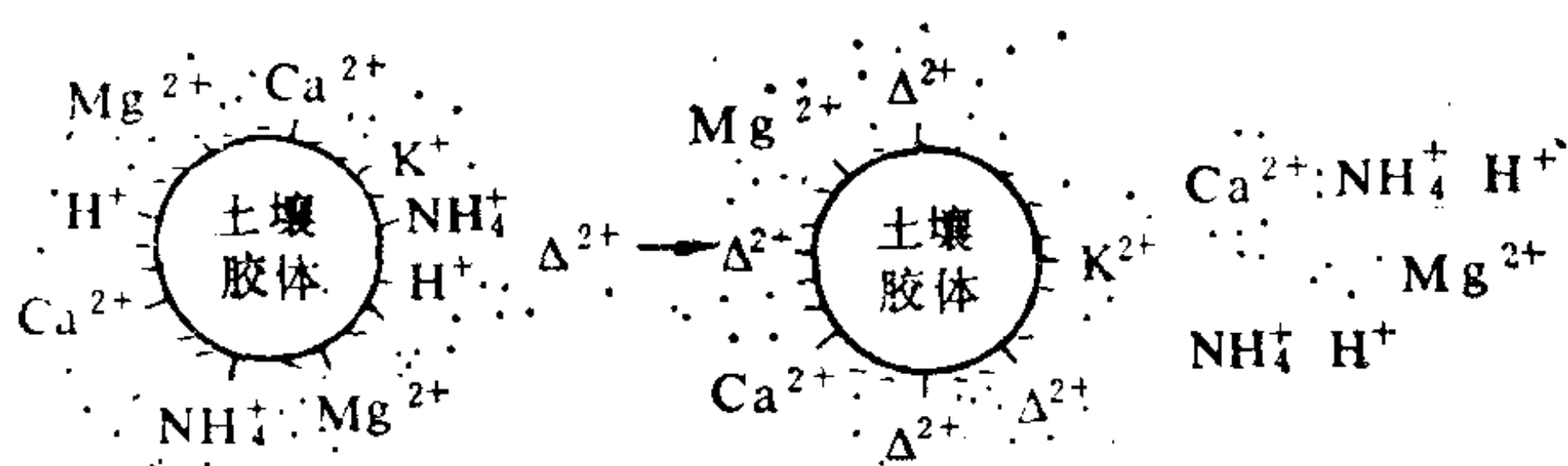


图2 土壤胶体吸附的阳离子被还原铁锰代换到土壤溶液中去  
“+”：正离子 “-”：负离子 “△”：还原性铁锰 “□□□□”：土壤溶液

土壤之所以有保肥能力，就是由于在土壤中有很多有机的和无机的胶体微粒。土壤愈粘重或有机质愈多，胶体微粒

也愈多。保肥能力也愈强。土壤胶体带负电，许多植物营养离子如铵、钾、钙等带正电。负电和正电相吸，很多离子就被吸附在土壤胶体上，不会被水带走。但这些被吸附的离子，能被其他带正电的离子取代出来，进入到土壤溶液中去（图2）。

（2）酸碱度趋向中性 淹水后，不论是酸性土还是碱性土，它们的酸碱度都渐趋向中性，即酸性土的酸度降低（pH值升高），碱性土的碱度降低（pH值降低）。见图3。土壤酸碱度趋向中性，对水稻生长环境和植物营养物质的有效度都有好处。

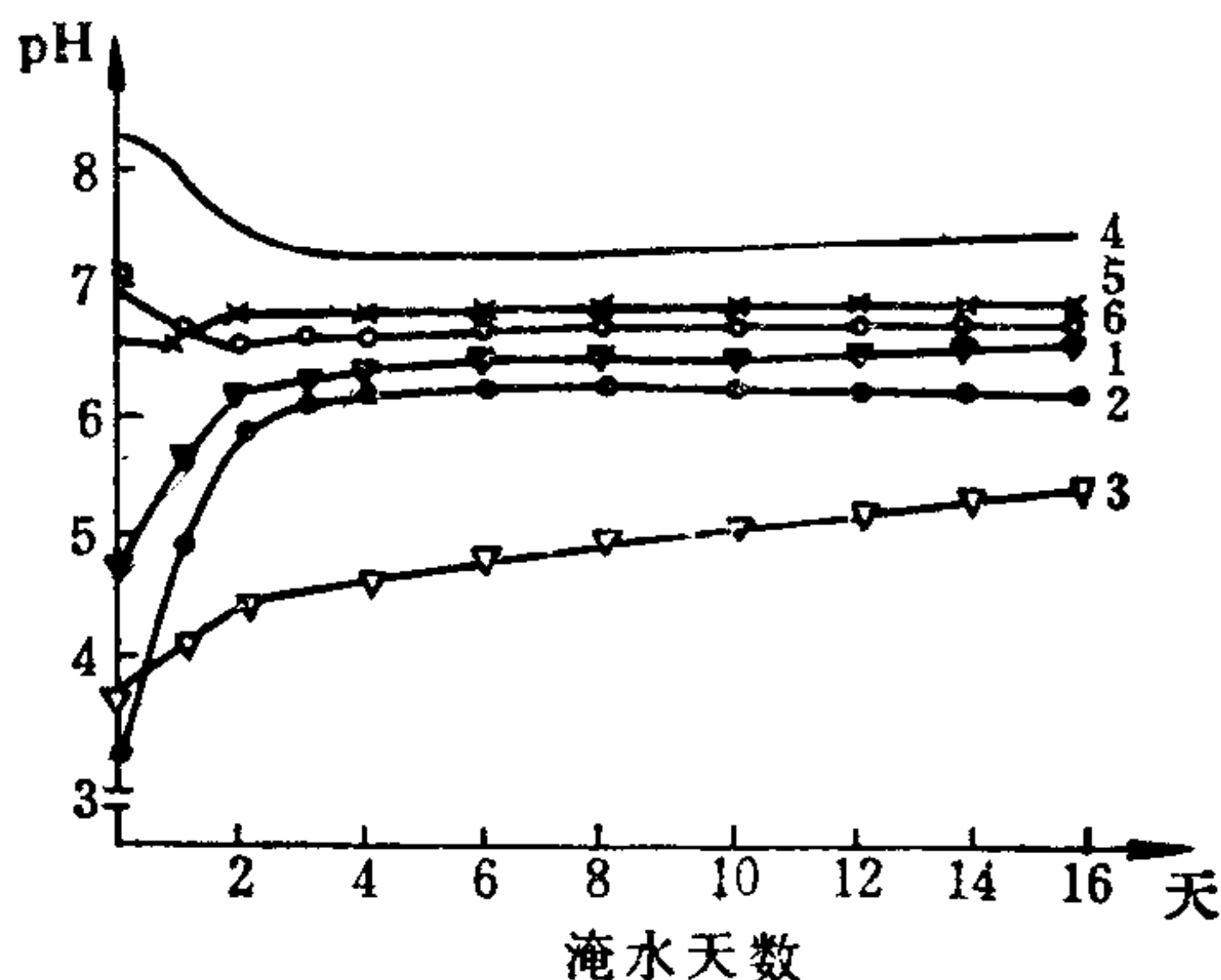


图3 不同土壤淹水后酸碱度变化

| 土壤号 | 质地 | pH  | 有机质% | 活性铁% | 锰%   |
|-----|----|-----|------|------|------|
| 1   | 粘土 | 4.9 | 2.9  | 4.70 | 0.08 |
| 2   | 粘土 | 3.4 | 6.6  | 2.60 | 0.01 |
| 3   | 粘土 | 3.8 | 7.2  | 0.08 | 0.00 |
| 4   | 粘壤 | 8.7 | 2.2  | 0.63 | 0.07 |
| 5   | 粘土 | 6.7 | 2.6  | 0.96 | 0.09 |
| 6   | 粘壤 | 7.7 | 4.8  | 1.55 | 0.08 |

（3）还原物质增多 在土壤中最易失去氧而被还原的是硝酸离子和锰的氧化物，其次是铁的氧化物，再次是硫酸

根离子（硫酸铵就是铵和硫酸根结合而成的化合物）。所以，随着土壤缺氧程度的加剧，依次生成亚硝酸盐、还原态锰、还原态铁和硫化氢。这些物质的数量超过一定限度就会对水稻生长有害。但它们之间也有可以相互抵消毒害的，如硫化氢最伤根，使根发黑腐烂。但如土壤中有一定数量的还原铁，就会与硫化氢结合成硫化铁沉淀下来，从而减少了对稻根的伤害。所以，在缺铁的土壤中，如淹水太久，或施用有机质肥料太多，或施用含硫的物质，如鲜绿肥、硫酸铵等，特别容易发生硫化氢中毒现象。

#### （四）淹水后土壤中植物养分的变化

这一节的内容很重要，因为不了解水田中植物养分的变化情况和基本原理，就很难掌握合理的施肥技术。

1. 氮的变化 氮在土壤中变化多端，因此也最易损失。植物能吸收的氮主要是两种形态：一种叫硝酸态氮（是氧化态），另一种叫铵态氮（还原态）。我国目前施用的氮素化肥，以铵态氮肥为主，如碳酸氢铵、硫酸铵、氯化铵和施到土壤中能很快转化成铵态氮的尿素等。有机质分解也产生铵。从图2可以看到铵是带正电的，可以被土壤胶体吸附，不易随水流失。而硝态氮则是带负电的，不能被土壤胶体吸附，所以容易随水流失。可是铵态氮在通气良好的土壤中，在一种名叫“硝化细菌”的微生物的作用下，很容易氧化成硝态氮。只有在缺少氧气的环境中，铵才能保持稳定。因此，为了使铵态氮肥料能保留在土壤中被作物利用，就要将肥料深施到空气少的下层土壤中去。铵在酸性环境中很稳定，但在碱性环境或遇碱性物质（如草木灰、石灰等），则会变成氨气散失掉（图4）。

硝态氮不但容易流失，而且下渗到土壤的还原层后，会被