

国内外土壤肥力科研动态

宁夏农林科学院科技情报研究室

一九八二年四月

目 录

一、前言	(1)
二、土壤肥力概念	(1)
三、国内外有关土壤肥力的研究概况	(2)
(一) 基础研究	(2)
1、土壤物理学	(2)
1) 土壤水分	(2)
2) 土壤热量	(2)
3) 土壤空气	(2)
4) 土壤结构	(2)
2、土壤化学	(3)
1) 粘土矿物和胶体复合体	(3)
2) 土壤有机质	(3)
(1) 非腐殖质与腐殖质	(3)
①非腐殖质	(3)
②腐殖质	(4)
(2) 腐殖质的来源	(4)
①堆肥和厩肥	(4)
②秸秆还田	(4)
③绿肥	(5)
3、土壤微生物	(5)
(二) 土壤肥力研究	(6)
1、高产水田肥力研究	(6)
1) 高产稳产水田的土壤环境条件	(6)
2) 高产稳产水田的肥力特点	(7)
3) 高产稳产水田的施肥技术	(7)
(1) 有机肥的效果及施用法	(7)
(2) 高产水稻的合理施肥结构及施肥技术	(7)
(3) 高产水田土壤肥力诊断与施肥的关系	(8)
4) 高产稳产水田的培肥措施	(8)
2、一般水田土壤肥力研究	(8)
1) 水田肥力因素	(8)
(1) 土壤有机质	(8)
(2) 氮素代谢	(8)

①氮素平衡·····	(8)
②固氮作用·····	(8)
(3) 土壤中有机、无机成分的动态·····	(9)
(4) 耕层土壤结构·····	(9)
(5) 生育危害因子·····	(9)
2) 提高水田土壤肥力·····	(9)
(1) 施用有机、无机物质的土壤改良效果·····	(9)
(2) 改进施肥技术·····	(9)
(3) 改善水田土壤的理化性质·····	(10)
(4) 地下排水技术的主要成果及问题·····	(11)
3) 水田改土培肥措施·····	(11)
(1) 国内改土培肥措施·····	(11)
(2) 国外改土培肥措施·····	(12)
3、旱田土壤肥力研究·····	(12)
1) 土壤肥力因素分析·····	(12)
2) 提高土壤肥力·····	(13)

四、我区土壤肥力研究概况·····(13)

(一) 土壤肥力分析·····	(14)
(二) 提高土壤肥力·····	(14)
1、南部山区发展农业生产的途径·····	(15)
2、引黄灌区发展农业生产的途径·····	(15)
1) 建立合理的农林牧结构·····	(15)
2) 搞好农田基本建设·····	(15)
3) 增加土壤有机质·····	(16)
(1) 提高农家肥质量·····	(16)
(2) 提倡秸秆还田·····	(16)
(3) 建立纳入绿肥的轮作制度·····	(16)
(4) 提倡以土壤培肥为主要目标的施肥技术·····	(17)

参考文献·····(17)

国内外土壤肥力科研动态

薛克俊

一、前言

土壤肥力是农作物生育的基础；没有肥沃的土壤就不可能获取高产稳产。土壤肥力有其动态的变化过程，掌握规律、培育得法，土壤就会愈种愈肥；相反，就会使土壤退化。世界各国对于保持与提高土壤肥力的问题均极为重视，当前土肥科研中具有普遍意义的重要课题有：提高和保持高产稳产的土壤肥力，土壤肥力的分类，施用有机、无机肥料提高土壤生产力，作物营养生理，改进作物施肥方法，合理垦荒，土壤普查成果的利用，土壤分类的应用和保护各种肥料资源^{(255)*}。我国已将有关土壤肥力的研究，列为土壤科研的重点课题。

二、土壤肥力概念

《农雅》指出：“壤者壤也，壤者肥意也”；壤的肥力比土好；古时称土壤肥力为地力，“多粪肥田”（荀况），“深耕细锄，厚加粪壤”（王充）等记载，均反映出我国古代劳动人民对土壤肥力已有一定的认识。

17世纪中，格呈蒙特认为土壤肥力只是土壤供给植物水分的能力。Thaer (1809~1812) 提出“植物营养腐殖质”学说，认为土壤肥力实质上完全依赖于腐殖质，它是植物唯一的营养来源。19世纪中叶以后，农业化学派学者李比西认为植物营养主要依靠土壤中以及由有机质分解产生的矿质成分，只有不断地向土壤供给和归还矿质养分才能维持其肥力。从而推动了化肥的生产和施用，促进了农业和土壤科学的发展。以后，道库恰耶夫提出了“成土因素”学说。威廉斯在此基础上进一步明确了生物在成土因素中的主导作用，创造了“土壤团粒结构”学说。比较全面地解释了土壤及其肥力的特征和本质，以及提高土壤肥力的途径。20世纪30年代以来，各国土壤科学家对土壤肥力概念的认识概括如下：

（一）土壤肥力是土壤不间断地、充分地、及时地供给植物生活过程所需有效养分和水分的能力^(78、81)。

（二）土壤肥力是指土壤能否使生育于其中的所有生物群（包括动物、植物、微生物）表现出旺盛生活的能力⁽⁸⁸⁾。

（三）耕地土壤的肥力，即生产作物的潜力或能力⁽⁸⁸⁾。

（四）土壤肥力是土壤环境条件和营养条件供应和协调作物生长发育的能力，是土壤物理、化学、生物特性的综合反映^(75、78、79、82、83、85)。

以上各点虽不尽同，但在强调运用多种技术综合培肥土壤的认识上是一致的。在很大程度上要依靠肥料的农作物生产方面，当土壤所具有的缺欠构成限制性因素时，肥料的投资就会失效。在这种情况下，发展农业生产的基本条件就是土壤改良。并且随着生产的发展，土壤肥力的构成因素

* 参考文献编号

还会更加复杂化^[80]。国内外的土壤科学家还主张将土壤、环境与植物三者联系起来开展土壤生态系统的研究^[78, 87, 88, 89, 90, 91, 92]。目前, 在农田生态系统、林地生态系统、草地生态系统的研究方面已经进行了不少的工作。

三、国内外有关土壤肥力的研究概况

(一) 基础研究

土壤肥力是土壤物理、化学、生物特性的综合反应。由于物理学、化学、生物学理论的渗透以及新技术的采用, 加深了对于来自土壤各种物理、化学、生物属性如何影响土壤肥力的了解并取得规律性的认识, 逐步导出保持和提高土壤肥力的途径。各有关学科的发展, 对土壤肥力研究的影响如下:

1、土壤物理学

1) 土壤水分 本世纪以来, 美、英、荷、澳等国家的多数学者以能量观点定量地研究了土壤水分的保持与运动, 并根据水分运行势能的变化, 应用电子计算机自动控制水分; 随着对水分认识的重大进步, 加深了对其它物理因素如土壤硬度、热量、 O_2 和 CO_2 在土壤中交换的了解^[93]。我国土壤水分研究工作大部分着重于土壤水分动态的观测, 据以提出墒情预报或计算土层中有效水分的储量。

2) 土壤热量 国际上研究土壤热量的趋势, 大致可分为两个方面。

(1) 以能量观点为主导的土壤热量平衡与转化的研究: 其主要途径是数理模拟, 中心是研究土壤热量转化的机制, 联系到土壤孔隙及水分条件等的影响。

(2) 作物生长与土壤热量状况关系的研究: 主要内容, 一是观测在自然条件下以及不同农业措施条件下土温变化的规律, 据以设法满足植物所需较适宜的温度条件。并结合气象条件的变化, 进行土壤热量状况的预测预报; 另一是利用人工气候室模拟研究土壤温度条件对土壤物理、化学及生物性质以及对植物生长的影响。目的是探求最适于植物生长的土壤温度条件^[94]。

3) 土壤空气 国际上近十多年来在这方面的研究进展较慢。主要课题仍集中于土壤空气的扩散、土壤空气的组成及其通气性、土壤通气性与水分等条件的关系、土壤空气与植物生长的关系等方面。我国江西省农业科学院最近研究了稻田气体变化与土壤氧化还原、有机物分解、空气供应能力以及微生物活动等的关系^[90, 251]。

4) 土壤结构 一般认为所谓土壤结构即土壤颗粒、微团聚体在各种胶结力的影响下, 所形成结构体的大小、形状、排列状况及稳定程度等的特性。

天然的土壤结构因粘土含量、土性、腐殖质以及所处的环境条件(如降水量、地下水位、植被、气温、耕作)等而异。土壤结构的好坏, 包括土壤孔隙的大小及其数量、土壤凝聚力、粘着力、可塑性等一切物理、化学特性, 均影响土壤中水分及空气的运动、微生物的活动以及土壤养分的动向; 同时还与耕作的难易以及土壤侵蚀的程度等有关。因此, 这是农业耕作上极其重要的问题, 是土壤肥力的关键。所以, 当今世界各国, 特别是欧洲对这一课题十分关注。近二十年来, 国际土壤学会土壤物理组组织过数次有关“土壤结构问题”的国际座谈会。目前土壤结构研究中比较重要的几个问题是:

(1) 土壤结构的科学概念和对良好土壤结构的评价。

(2) 土壤结构的形成机制、特别是肥沃土壤的形成机制，均随生物化学、物理化学和高分子化学的进展而有所突破。

(3) 良好土壤结构的培育，重点在于研究改土机制，继续寻求高效能、低用量的土壤改良剂，并研究其施用技术。

(4) 关于以良好土壤结构调节土壤肥力因素，从而影响作物生育的研究。

(5) 在土壤结构的研究方法方面：自50年代以来，逐步采用了同位素技术(C^{13} 、 C^{14} 、 C^{18})研究土壤结构的形成和作用，有的采用核磁共振谱仪，研究土壤颗粒的表面性质^[99]。

2、土壤化学

1) 粘土矿物和胶体复合体 近50年来，由于化学、物理化学以及新技术的渗透，在土壤肥力因素的研究中，以施用无机肥料、改变土壤反应和决定土壤结构的一些物质等方面的研究进展最为突出。

从本世纪初就已开始研究对土壤结构起决定性作用的胶体复合体的形成问题，但进展不快。因为，它是在腐殖质和粘土矿物研究的基础上发展的。研究者们早就认为腐殖质和粘土是土壤肥力的物质基础；二者都是胶体状态，也都是土壤最活跃的部分。胶体的颗粒很细，表面积大，能控制土壤的理化及生物性质。二者表面都吸附着水份和离子，是土壤中化学作用和养分代换的中心。腐殖质与粘土矿物的相互作用是复杂的物理化学过程，结果会使部分腐殖质被吸附固定于粘土矿质颗粒的表面而结成稳定的胶体复合体（即团聚体和不同的土壤结构），直接影响土壤及其溶液中离子的复杂的交换、吸附、扩散等。用红外辐射研究胶体复合体的结果，发现胶体复合体的复合机制是相当复杂的^[94]。

目前，在土壤粘粒问题的研究上，已证实了与粘粒伴存的无定形成分具有重要意义；并将土壤粘粒成分分为结晶质粘土矿物、类矿物和无定形矿物。用电子显微镜照相，已查明无定形成分包被于结晶粘粒的外部，其基本特性之一是提高了胶体复合体表面的交换能力^[45, 30, 90, 108]。我国熊毅等应用电位滴定和热分析探讨各种土壤胶体的缓冲能力与粘粒矿物组成的关系，结果证明：土壤胶体的缓冲能力因土类而异，粘土矿物的缓冲能力又因矿物种类而异，蒙脱石最大、水云母次之、高岭石最小^[256]。此外，还对我国五种土壤进行了粘粒矿物组成的分析^[267]。

总的看来，关于胶体复合体的研究，多属有机矿质复合体的形成过程和对植物营养作用的方面；但关于将有机矿质复合体作为土壤肥力物质基础的研究报导不多。我国科学工作者认为研究不同肥力土壤的有机矿质复合体的物理化学特性及其保肥、保水的作用，可进一步了解土壤肥力的实质，有利于在培肥土壤时提供一些指标和依据，并已进行了不少的研究工作^[108]。

2) 土壤有机质 土壤有机质中包括非腐殖质和腐殖质的两大类。50年代以来，随着对有机质在土壤肥力和植物营养上重要意义认识的深化、并结合色谱技术的应用，促进了对有机质研究工作的进展。

(1) 非腐殖质与腐殖质

①非腐殖质 最近30年对非腐殖质的研究，主要集中于碳水化合物和蛋白质及其衍生物的两个方面。研究指明：

i. 多糖类是有机无机组合中的有机成分，一般认为它对微团聚体的稳定性作用很大^[86]，但也有些研究者认为仍有待继续验证^[107]。

ii. 土壤中的氨基酸约有30种，氨基N含量约占土壤全N的1/3~2/3，相当一部

分N素可能是以蛋白态而存在的。土壤中某些蛋白质、木质素、油、脂肪和腊在化学成分上都与微生物分解产物和合成物有关，均可提高土壤团聚体的稳定度⁽¹⁰⁷⁾。

②腐殖质 它在土壤中总是与矿质部分（包括各种金属离子）及粘粒呈结合状态而存在的，它们之间的相互作用对土壤发生和肥力演变有重要影响。腐殖质可作为植物营养元素的给源（供给CO₂，缓慢的供给N素以及其他养分，如Si、P、K、Ca、Mg、Mn、B等）和微生物活动的能源，也有吸附、保持、代换、络合等缓冲作用，可作为土壤团聚体的胶结物。由于形成团粒而能改善土壤孔隙性、透水性、保水性、微生物相，为植物根系营养环境创造有利条件^(94、95、102、107、108、115、117、118、252)。

国内外对腐殖质的研究相当重视，并进行了以下几个方面的研究：

i. 腐殖质的组成及其性能⁽¹⁰⁷⁾。

ii. 土壤中有有机物在粘粒上的吸附作用，目前认为腐殖质的吸附作用主要是腐殖质与粘粒间多价阳离子或氧化物的离子连结，多糖类的吸附作用主要是物理吸附⁽¹⁰²⁾。

iii. 腐殖化过程：腐殖质是植物残体在土壤中被微生物转化为二氧化碳和简单无机盐类过程中的中间物质。这些物质至少有两个独立的来源：微生物细胞以及微生物代谢产物，如多糖类、氨基酸等化合物。这些分解产物被胶体粘粒表面或晶层吸附，或保持在团聚体内而失去活性。与此同时或以后，氨基酸和杂环化合物发生聚合作用，并形成高分子量的物质，这就是稳定性腐殖质^(118、119)。

iv. 影响土壤腐殖质含量的因素：土壤质地是在耕作条件下决定土壤能够保持腐殖质含量多少的首要因素，粘粒含量与腐殖质之间存在着高度正相关。粘粒的类型也是重要因素之一，蒙脱石比高岭石更能吸收碳素，它们与腐殖质的结合很牢固。土壤中活性铁和活性铝的含量与腐殖质的关系可能更为密切。例如，富于氢氧化铝表面的水铝英石土壤往往含有大量腐殖质^(94、118、119)。

v. 温度、湿度与腐殖质含量的关系：温、湿度是决定荒地或耕地土壤腐殖质水平的主要因素。例如在美国的一般条件下，土壤腐殖质往往随温度的降低或湿度的提高而增加，C/N比也随腐殖质总量的增多而增大⁽¹¹⁸⁾。

vi. 耕作对土壤腐殖质含量的影响：土壤中腐殖质的分解速度，因耕作而提高；土壤温暖湿润或精耕细作时，更是如此^(94、118)。

vii. 土壤中腐殖质的含量，决定于每年加入的植（动）物质的质量和数量及土壤腐殖质的矿化量。

（2）腐殖质的来源

①堆肥和厩肥 我国及其它亚、印、欧等国早已公认堆、厩肥是维持、提高土壤肥力和土壤有机质的最好方法之一。堆、厩肥的效果，除具有能改良土壤物理性、化学性、加强微生物活性等作用之外，与产量的关系多表现为三要素的效果和螯合态微量元素的给源。并发现在地力高的条件下抗逆力强的原因，在于N素的供应状态，在产量水平高，吸收大量N的情况下，吸收的型式就具有重要意义。从土壤有机质缓慢吸收的N，有时显然比速效化肥的效率好^(119、123、125、127)。

②秸秆还田 将作物残体全部还田，以维持一定水平的有机质，至今依然是正确的。目前，美国着重在研究根茬，该国大部分农区将根茬作为保持土壤腐殖质的唯一的有机质给源。作物根系不仅为土壤提供有机质，而且在生长过程中还能促进土壤的团聚化。庞大根系的这

种双重作用,过去在报导中未能给予足够的重视。我国和许多其他国家对于秸秆还田均相当重视,对秸秆的作用、施用方法、施用后土壤N的动态已有大量报导。并探讨了N的无机状况与C/N比的关系,施用有机物对化肥N的有机化及其再次无机化的影响,如氨态N、硝态N对还田稻草及稻草堆肥的影响,已阐明了有机化及再无机化的状态和时期。还用重N探讨了各种有机物的有机组成与硫酸N有机化的关系,阐明了有机化与碳素分解率以及构成有机物的成份有高度正相关<118、127>。

③绿肥 国内外研究者早已研讨过绿肥效益的实质,重点在于N的固定、腐殖质的形成及土壤物理性的改善等。对于绿肥作为土壤有机质的积累与分解问题的认识,近50年来有了一些进展。在1930年以前,文献中过分强调绿肥对腐殖质的保持和补给的作用。特别重视翻压的数量,认为翻压数量与构成腐殖质总量之间有正相关。以后,国内外寒、温带和亚热带的大量工作证明绿肥加入轮作后,土壤有机质并无明显的积累。从而认为绿肥的主要作用仍在于提供土壤养分,改良土壤结构,促进物质循环。应用C¹⁴标记的研究证明,翻压绿肥对土壤有机质起了激发分解的作用,促进了土壤有机质的更新。在温带、热带的生物气候条件下,绿肥中有效部分的氮素迅速氨化,几乎和尿素的氨化速度相等<83、119、122、129、130、131、253>。

3、土壤微生物

在美国的土壤微生物研究领域内,近年来涉及了氮素转化和有机质特性及其分解、土壤团聚作用、农药、根际微生物、生物防治、土壤微生物群落、养分有效性、共生与非共生固氮作用等方面的问题。尤其是突出的偏重氮素和有机质的两方面<137>。日本最近几年在土壤微生物的研究方面,内容更加丰富。在土壤环境和微生物区系方面,研究了各种土壤的微生物区系、施用堆肥对微生物区系的影响。结果发现,无论水田还是旱田,由于施用堆肥而好气性细菌数量均有增加趋势。另外是着重于土壤微生物的环境结构,即微观环境的研究。把土壤微观环境结构区分成界面、凝聚体、土壤团粒、土壤剖面等几部分,并明确指出每部分的问题之所在及其展望。在有机物的分解方面研究了施用有机物对土壤微生物的影响、长期连用有机物(堆、厩肥,稻草)对土壤微生物区系的影响、植物遗体的分解对易分解性有机物的生成与分解的影响、农药分解菌、农药对土壤微生物区系的影响等。在氮素的形态变化与微生物方面,研究了游离N素的固定、有机氮的矿化、硝化作用和脱氮作用。在植物根际环境与微生物方面,研究了水稻根际微生物,明确了根际效应(R/S)的变迁过程、旱田作物的连作危害与土壤微生物的关系<32、136、138>。苏联研究了土壤生物及其对土壤形成和肥力的作用、土壤生物活性及其调节途径、土壤污染的生物鉴定及防止污染的措施等<116>。近年来,日本、苏联等国将土壤微生物改名为土壤生物之后,也包括了土壤动物方面的研究。

国外关于微生物在土壤中分布的报导渐少,而多结合具体实际问题来研究土壤微生物的生态特点。例如:针对某些有益微生物的有效条件进行生态学研究;结合植物根病的防治,研究病原真菌和其它真菌的腐生竞争;各种土壤细菌与土壤肥力的关系等<136>。对土壤酶的研究工作也逐渐增多。现在欧、美、日对于食物链和物质循环系统中,土壤动物进行的生物遗体 and 排泄物的分解、微生物活性的提高、能量转换的加速等作用十分重视,特别是对线虫类进行着更精细的研究。在研究植物遗体的分解、腐殖化过程中土壤动物的作用方面,认为土壤动物的摄食对植物遗体的分解具有显著的影响,特别是蚯蚓对植物遗体可迅速地进行分解而形成粪土。已验明蚯蚓的粪土是含有细碎植物质的比较坚固的水稳性团粒。蚯蚓的粪土同周围的土壤相比,有机质含量高、N、P、K、Ca、Mg等肥料成分丰富、阳离子代换量也大、物理性质也好,因此可认为蚯蚓改

良土壤的效果很大^(32,40)。

50年代以前,我国的土壤微生物研究着重于微生物在土壤、肥料和植物营养三边关系中的作用。从50年代开始,开展了应用示踪技术研究土壤中物质转化及土壤酶活性的工作。

关于豆科植物和根瘤菌的共生关系,我国已于50年代在农业生产中广泛利用。近年来还开展了生物固氮资源的研究,对固N基因工程方面也组织了大规模的研究工作。关于多种细菌肥料的研究,除根瘤菌肥料外现在仍处于起伏不定的状态。问题在于:

1) 在土壤、肥料、植物的三边体系中,菌肥中的有效微生物能否得到充分的能量供应。

2) 有效微生物能否胜过其它微生物而在植物根际占优势地位,以充分发挥它的作用。

对上述问题,国内外的研究还是十分欠缺的⁽¹³³⁾。中国科学院南京土壤所研究了土壤中N素转化的微生物学过程、强度和调节、水稻土微生物活性,苕子根瘤菌有效条件及土壤真菌生态研究等;并准备开展农药的微生物降解研究⁽¹³⁴⁾。新疆农业科学院土壤研究所及微生物研究所开展了豆科绿肥作物根际微生物对提高土壤肥力的作用等研究⁽²⁸⁸⁾。

(二) 土壤肥力研究

土壤肥力研究的内容,主要包括土壤肥力的物质基础和植物营养的两部分。其中,有关土壤肥力物质基础的研究报导较少,兼及二者的研究报导则更少⁽⁹⁰⁾。过去,研究者们通常以土壤养分含量的多少,做为衡量肥力的唯一指标;目前,国内及国外许多国家都以土体性态为中心,进行与土壤肥力密切相关的物理、化学、生物性态的研究。

1、高产水田肥力研究

1) 高产稳产水田的土壤环境条件

国内外许多学者认为,高产稳产水田的土体层次与低产田的截然不同。高产稳产水田的土体构型是土壤肥力因素的协调体,是高产稳产水田所以能协调整个土体的水、肥、气、热状况,充分满足作物生长发育所需养分、水分以达高产稳产的原因。当今,许多国家在研究土壤肥力时,已是综合研究一切环境条件和人为技术措施的影响,定向地培肥土壤。

高产稳产水田的土体性态为:

① 土体各层次的色泽和层次逐渐演变的迹象明显。

② 层次组合好:耕作层深厚,疏松适度,通透性良好;犁底层坚实度适中,有一定的渗透和保水性能;心土层柱状或块状构造发达,通透性良好,还原性有毒物质极少,有铁锈斑,有埋没较深的潜育层而无障碍层。

③ 各层次的细砂、微砂和粘土含量比低产田多,下层粘土含量逐渐增加,因而能配合并保证供应上层的水分和养分。各层若缺乏良好的机械组成,就难能达到高产稳产⁽⁸³⁾。

④ 高产土壤结构特性的关键是团聚体,不同粒径水稳性团聚体的存在,使细质土壤的孔性得以改善,从而对高产田的透水透气起决定性作用。团聚体的含量,又决定供肥和保肥的能力。

⑤ 各土层间的排水通畅,至少犁底层到心土层内的大孔隙不能充满多余的水分。适宜的地下水位和渗透量能降低稻田还原强度,加强根系活性,加快养分释放能力。

⑥ 高产稳产田全铁含量约为低产田的两倍,活性铁约高6倍,二氧化锰约多3倍,因而能够保证耕作层0.05~0.1毫米微团聚体和心土层柱状或块状结构的形成。含铁量与有机物的分解有密切关系,铁量增加能够促进有机物的分解⁽⁸²⁾。

2) 高产稳产水田的肥力特点

高产稳产水田不但有机质和全量养分含量均高,而且速效养分含量也高。速效养分含量的多少,对产量的影响更为重要。由于含有多量团聚体,因而能吸收保存大量养分离子,腐殖质的积累和分解都较快,释放养分的能力较强,因而供肥力稍大于保肥力。此外,还具有固相成分的释放速度与作物吸收速度相适应的释养特点,而固相养分的放出速度是养分有效性的重要条件。由于高产稳产田具有这些肥力特点,才能保证作物的茁壮生育^[82]。

3) 高产稳产水田的施肥技术

(1) 有机肥的效果及施用法 高产土壤施用一定数量的有机肥或作物根茬、秸秆等,基本能保持有机质的平衡或稍有提高。施用时应考虑不同有机物腐解过程的特点与作物需肥特性之间的关系,合理配合施用。至于施用鲜秸秆(稻草、麦秸)的问题,在施用鲜秸秆后的第一年对水稻产量的不良影响较大,以后逐年递减。2—3年后,水稻产量尤其晚稻明显增产,水稻收获后种植绿肥时,比不施稻草的田种植的绿肥鲜草产量增加57.7%^[35,289]。施用鲜秸秆在水稻生育初期有抑制徒长的作用,在中、后期反而有促进生育的作用。其有效茎的百分比较高,收获时稻株的生长量和氮的吸附量也随秸秆的施用而增加。

连用稻草等可增加土壤有机质及全氮并提高供氮力;可改善土壤物理性,提高易耕性,增加透气性和保水性等,从而提高土壤肥力。

在大量施用鲜秸秆时,在过强的还原作用下,无机氮的有机化强烈,必然会使水稻遭迁氮素饥饿障害。尤其在水分不足的情况下,稻草比堆、厩肥的分解程度更差,这不利于水稻的生育。在施稻草的同时如果增施一定量的氮素化肥,即可克服这种消极作用而显出稻草的肥效。此外,在施用鲜秸秆等大量有机物的情况下,水稻土在种稻期间要发生还原作用而有大量气体发生,这可以通过水层管理促控水稻的生育,但排水落干与间歇灌水会导致无机养分的大量流失。在已造成氮素短缺时,就有必要分期增施肥料,但应根据氮在水稻后期的有效值确定肥料的增施量。

在施用鲜秸秆时,还会在形成腐殖质时产生有机酸。几年后,多少会出现pH值降低,代换性酸度上升的趋势。因此,最好在施鲜秸秆的同时施用钙、镁和钙镁磷肥等。在地下水位较高的湿田中宜避免施用鲜秸秆,要施用时最好腐熟后施用。在寒冷地区秋季施用鲜秸秆,其效果明显优于春季施用的。至于施用量和施用时间,应决定于气象和排水条件的好坏^[16,35,82,177,254]。

(2) 高产水稻的合理施肥结构及施肥技术 目前国内外对水稻施肥结构均主张以有机肥为主,辅之以均衡配合的N、P、K化肥和微量元素。试验资料表明:以晚稻为例,在其植株里所积累的总N量中,土壤N及厩肥N一般约占78~87%。吸收化肥N的比例较少,约为13~22%。可见水稻所需N的大部分来自土壤与有机肥,化肥只占较小的比例。因此,水稻高产所需N素给源应有适当的配比。此外,试验表明在水稻田结合N、P、K施用微量元素肥料Zimag(8种微量元素的混合物)的,比只施N、P、K的增加分蘖数及每穗粒数而增产44斤/亩^[262]。我国各地高产水田施肥技术,原则上是早春作物重土粪,早稻重基肥,晚稻倾向于增加追肥,但合理的施肥结构仍需因地制宜。江苏农学院在研究国际稻IR661、IR24高产栽培技术中提出以基施有机肥为主,占总施肥量的50~60%。用V字形施肥法,可使前期早发,中期稳长^[263]。日本提出基肥的70%宜以有机肥为主,高产田基肥中N的比例极为重要。基肥中的N可减少1/3~1/2,将其在抽穗前20天和齐穗期分两次追施的效果为最好。但仍须根据气候、土壤肥力、产量指标,因地制宜地决定基施用量。高产田的基肥用量,要高于一般田的20~30%^[82]。此外,

还应指出:

①我国东北地区以及日本寒冷地区均有为了防御冷害的N素分施法。②最近日本提出高产施肥法,试图通过施肥调节产量构成因素的形成过程,以争取高产。③深层追肥法是一种以后期营养为重点的特殊施肥法,利于避免徒长,可获较多粒数,使后期茎叶含N量保持较高水平。④施肥必须适应水稻品种特性,如杂优品系在分蘖始期到孕穗初,吸收N、P、K占总量的70%,齐穗期后还可吸收总量的20%,故需重施有机基肥,辅以化肥深层追肥,以避免后期早衰而空壳率上升;大穗型品种施用N肥时,以基施为主的效果较好;对多穗型品种,以提高穗肥施N比例的产量为较高<1782>。

(3) 高产水田土壤肥力诊断与施肥的关系 关于土壤肥力的诊断,有测定水稻各生育期耕层土壤中有效N含量的,也有测定水稻各生育期茎叶内N素养分含量的。例如,有的试验测定分蘖期及幼穗分化期的土壤有效N分别在7.31毫克和6.39毫克/100克土左右时,水稻后期生长正常;追肥不宜过多,否则反会减产。幼穗分化期土壤有效氮低于6.39毫克/100克土时,会影响水稻生育,施穗肥即可显著增产<1782>。

4) 高产稳产水田的培肥措施 近年来,国内外在这方面已积累了一套经验,我国已开始应用土体构造这一新概念以研究及评价稻田土壤并指导生产,也在进一步研究高产土壤的施肥技术。我国以及日本、东南亚、南亚的一些国家,近年来都是在土体性态、土壤肥力物质基础、肥力特性的研究和土壤生态系统的各种机能取得理解的基础上,提出高产水田土壤培肥综合技术措施的。这些技术措施在实质上大体近似,只是肥力中的各项指标却因地而异。培肥措施可概括为深耕、客土、合理灌排、利用晒田效果、防止或消除土壤中障碍层的形成、安排插入绿肥作物的水旱轮作制、增施有机肥和合理施肥技术等<8284>171、172、178>。

2、一般水田土壤肥力研究

1) 水田肥力因素 在这方面已对土壤有机质、N素代谢、耕层土壤结构、生育危害因子等进行了研究分析。

(1) 土壤有机质 为了明确水稻产量与水田土壤供N的关系,对水田土壤的腐殖质特别是易分解性有机质进行了很多研究的结果表明:连续施用堆肥,腐殖质总量、特别是游离态腐殖质的比例增大。一般稻田中,堆、厩肥的效果与N的联系密切,产量多表现为N素的效果。过去在评价水田土壤的氮素释放时,是着重其量的多寡;最近,特别重视水田土壤的释N时期,且特别着重于水稻生育的后半期土壤所释放的N素。一般在水稻生育前期至中期释N较多,后期显著减少。连续施用堆肥的水田,在幼穗形成期以后土壤N素的释放量较多。

(2) 氮素代谢

①氮素平衡:施用稻草、绿肥等有机物可促进土壤N和肥料N的有机化,从而减少吸收与损失。应用 N^{15} 标记法调查所施氮的去向,测知基肥中的 NH_4-N 有50~60%为水稻所吸收,15~30%残留于土壤中,损失部分约占20%左右。但其收支状况却因肥料形态、土壤类型与栽培方法等而异。总之,淋失部分不大;不能回收部分,主要是氮素挥发的结果。使用硝化抑制剂,可提高土壤的氮素回收率<261>。

②固氮作用:施肥水平低的东南亚国家很重视水田微生物的固氮作用,它是长期保持水田土壤肥力的机制之一。芽孢杆菌和蓝藻等固氮微生物,已受到人们的重视。我国现在应用红萍的重要性与优越性日趋明显,已大力开展红萍有性繁殖技术的推广与有关应用的研究。红

萍有性繁殖器官的基础研究，特别是亚微形态方面的报导，国内外都罕见。我国比较系统地对红萍雌、雄孢子果的形态学、解剖学和发育生物学等进行了探讨，并与美国合作将分布于世界五大洲的8个绿萍种的12个品系进行全年繁殖，研究不同萍种的繁殖速度及其产量。并对其固N活性、肥分含量、抗逆性等农业利用性质进行考察，为农业生产选取优良的绿萍种源〈258、259、260〉。

(3) 土壤中有有机、无机成分的动态 在这方面研究比较了水稻根际土壤与非根际土壤中有有机、无机成分的含量，根际土壤中水溶性糖、氨基酸，尤其是 Fe^{++} 较多，而 NH_4-N 较少。各种菌的数量也是根际为多，但是根际/非根际之比则比旱地土壤明显的低；还研究了因土壤类型而变化的磷酸的形态、磷酸种类与土壤中磷酸形态的关系、水稻对各种土壤中磷酸的吸收量、有机酸的生成和种类；以及在温暖地区的水田中施用稻草后，所生成的有机酸浓度及其对水稻有害的程度等〈144、191〉。

(4) 耕层土壤结构 耕层土壤结构的特征与土壤类型和成土母质有关。耕层土壤的非毛管孔隙和无定形 Fe_2O_3 的积累，可能与气候变化以及长期的轮作制度有密切关系。氧化铁的积累，可增强渍水分散土粒的团聚化，而促使非毛管孔隙增多和 Fe_2O_3 的积累。研究比较旱直播水田与移栽水田的耕层结构，可看出旱直播水田尤其是连续旱直播水田耕层的团粒含量明显地高于后者。连续施用有机肥的试验资料表明，有机肥尤其是绿肥能使耕层土壤的团粒含量显著增加。团粒含量多的土壤，收缩性小，空气透入量大〈144〉。

(5) 生育危害因子 国内外关于这方面的研究都是从土壤低产原因的调研入手，如由于缺锌和碘过剩所导致的水稻赤枯病；由于锰的吸收受阻所导致的水稻黄化症状；我国南方有些省份由于大面积双季稻三熟制而出现的次生潜育化；黄河流域低产症结是旱、涝、盐碱的综合为害等研究，并提出了相应的解决措施〈152〉。

2) 提高水田土壤肥力 目前，国内外已从增施有机物、改进施肥技术、改善水田土壤理化性质等方面进行了大量的研究工作。

(1) 施用有机、无机物质的土壤改良效果 施用有机物方面：研究了一般稻田施用有机肥的效果；稻草的施用法；施用稻草后N素矿化和有机化的动态，并作了定量研究；水田施用稻草后对水稻可吸收利用的N素率，提高土壤有机质，增加水稻产量的效果以及阻碍早期生育的原因等。在施用无机物方面：于连续施用稻草或堆肥的同时结合施用硅酸钙、钙镁磷肥等的试验结果表明，可促进栽培期间有机物的分解，增加水稻对N的吸收，保持持续增产效果。关于稻草阻碍生育的原因，也按稻草的组分进行了探讨，以80%乙醇的提取物对生育的阻碍最为明显〈153〉。

(2) 改进施肥技术

目前国内外的施肥理论，显然是主张平衡施肥。N、P、K适宜施用比例的研究表明，在任何情况下，施用N、P、K都比单施N更为有效。再结合施用微量元素的，对改善产量构成和提高产量的效果会更好。根据水稻幼穗分化规律研究了N对产量因素的影响，如施N时期、施N量、N肥种类等，为提高产量提出了应考虑施肥步骤：①首先要确保足够的有效分蘖数，为此必须研究影响分蘖数的一些因素，如品种、秧龄、插秧深度和前期N、P吸收量等。②为了保证每穗颖花数，宜在幼穗形成前不久或幼穗形成时施N(K)。③为了提高结实率最重要的是充分施K并与N配合成适宜比例。④P、K对提高千粒重这一产量构成因素的作用很显著。

施肥体制常因不同地区、不同气候条件、不同水稻品种的生育特性及其对肥料的反应而异。

寒冷地区有采取确保穗数、粒数、提高结实率的基施N肥与中后期追肥并重的施N法。温暖地区采取包括提高每穗粒数的穗原基分化期追肥的中后期追肥法。有的根据暖地特点提出按各生育期最合适的生长量来决定必要的施N量，通过测定土壤N释放量和肥料N的利用率等以计算不同时期施肥量的这种方法以及通过调节施肥量来控制生育的方法，将可逐步发展为合理的施肥技术（1977, 1983）。

施用磷肥 国内外对水田施磷水平和水稻生育的关系、磷肥在水稻土中的固定与转化、提高磷肥肥效等问题均进行了很多研究。目前，水稻土仍然存在着需要减少磷的固定与提高磷肥肥效的问题。有些问题已得到明确结论，如土壤磷大量积累而可能造成毒害的临界浓度为2~3%，水稻能正常生育的土壤溶液中磷的浓度为0.1 ppm；施磷以颗粒状集中基施的效果为最高；在水旱轮作制中，以施于旱作特别是豆科作物的比施于水稻的效果好，施磷量和土壤条件对磷肥肥效的影响，超过了品种和气候条件。但最近研究表明现代品种的施磷效果及其在低磷土壤中生产能力的差异都很大；有的试验结果认为每亩施8斤 P_2O_5 就足以保持高产和维持良好的土壤磷水平（1977, 1983）。

（3）改善水田土壤的理化性质 低产田产量不高的原因，一般是由于耕层过浅、地下水位较高、形成了有障碍性的土层、表土含盐量高、有效养分含量低、土壤三相比比例失调、土体紧实板结等。这样的土体性态不能协调水、肥、气、热，因此不能高产。

针对上述肥力的限制因素，从改良土层结构和土壤结构等方面进行了大量研究工作。

A. 水稻土的水、气状况及其影响因素的研究结果认为，水稻土透水不良、水、气不协调的原因是：①受直径<0.005毫米毛管孔隙的影响很大。渍水能促使这种孔隙的形成；恢复旱作可增加非毛管孔隙的数量。②不同的整地方法能影响土壤的水、气状况。灌水前用锄铲倒麦茬并略松表土（约3厘米）的少耕法，有利于土壤水、气的协调。此外，轮作、排水也极为重要。

B. 水稻土次生潜育化问题的研究结果认为，凡通透性不良、有机质含量较高、铁的活化度较高的土壤，在排水不良、耕作制不当、浅耕情况下易形成次生潜育化水稻土。通常采用浅明沟、中鼠洞和下暗沟的排水措施和打破“青泥层”等以排除积水、增加通透性、将地下水位控制在60厘米以下（对冬作应更深些），明显地改变了土壤的水、气、热状况，土壤中还原物质减少。水旱轮作也是消除次生潜育化的重要措施。此外，增施P、K肥、注意晒田等都有助于消除水稻土次生潜育化（204）。

实际上，有些地区的水稻土，除重视骨干排水工程外，还配合田间挖沟、铺设地下暗管、以排除地表水。如此，可调节土壤水、气矛盾，便于作物根系下扎而提高作物产量。近年来，地下排水的试验推广工作已扩展到苏、浙、闽、赣、粤、川、皖、鲁、豫、晋、蒙、辽、黑、陕、甘、新、京、津、沪等19个省、市、区，共建成地下排水面积约500万亩。其中，固定式的暗管排水面积60多万亩，鼠道、土暗沟等简易的和半固定式的地下排水面积430多万亩。初步采用和试用地下排水的地区：如南方的平原圩垸渍害严重地区 and 山垅冷浸田区，北方的滨海轻质土区，冲积平原轻质土区、低洼易涝和沼泽下湿地区，大都获得了显著的增产效果。南方稻麦双作区通过地下排水，每年可增产三麦约40~100斤/亩，水稻40~80斤/亩；北方旱作区，一般可增产10~20%，多的可增产200斤/亩左右。通过大量试验已明确，地下排水比明沟排水能更有效地排水排盐、控制地下水位、改善土壤理化性状。还可节约耕地3~10%，避免明沟排水的塌坡淤积问题。地下排水工程费用并不高，田间暗管排水每亩一般20~30元，多的40~50元，3~4

年的增产收益即可抵偿工程费用。鼠道排水和土暗沟排水工程,每亩材料费仅1~2元,造价很低。但不耐久,仍需改进⁽²⁰⁵⁾。

(4) 地下排水技术研究的主要成果及问题:

①在新型管材和施工机具的研制方面取得了显著进展。已研制成功波纹塑料管,开始小批量生产试用。已掌握了排水暗管的滤水材料如棕皮、玻璃纤维布、天然级配的砂砾、稻草、稻壳、麦秸等的滤水效果、耐久性能、技术经济等有关数据。并参考引进国外样机研制出IKP—100小型开沟铺管机(12马力,已小批量生产),与75马力拖拉机配套的IKP—220大型开沟铺管机(已试制出第一轮样机);还在积极研制中型开沟铺管机。于1965年研究成功鼠道犁的基础上,又研制出深鼠道犁(由0.6米加深到1.0~1.1)米;鼠道固壁技术的研究也有进展。

②创造了暗管与浅鼠道、浅明沟、浅缝沟及土暗沟相结合的双层排水结构,具有控制上层土壤水分和地下水的功能。有的还试用双层鼠道,提高了排水防渍的效果。

③对排水暗管的埋深和间距进行了试验观测,为暗管布局提供了参考数据。对参照渗流理论,考虑地下水蒸发影响和脱盐要求等,进行排水计算的研究也取得了初步成果⁽²⁰⁵⁾。

对全国大部分地区来说,地下排水工程还处于试验研究阶段,有待进一步研究的主要问题:

①农田地下排水的适宜地区及技术经济的研究。

②研究地下排水条件下的水盐动态,制定地下水位和土壤水、盐调节控制标准。

③农田地下排水工程的规格、布局、结构形式及水力学性能的研究。

④不同地区、不同作物的排水制度和工程管理运用制度的研究。

⑤暗管淤积探查技术、清淤机具和地下排水工程施工机械化的研究。

⑥管材的规格、材质标准与降低造价措施的研究。

⑦经济合理的裹,滤材料及敷设技术的研究。

⑧农田地下排水条件下,土壤非饱和水运动规律的研究⁽²⁰⁵⁾。

日本于1970年前后,随稻改旱并为水田的高度利用而开始重视农田基本建设问题的研究,问题的中心是排水技术,以研究土壤裂隙及土壤结构发达的机制和状态为中心课题。田畦、地表、暗沟等的排水是属于排除重力水的范畴,因此就必须促使不同土层土壤结构适当发达,造成和重力水保持连续性的暗沟排水体系,才能加大暗沟排水量的比率。为保持这种土壤结构和土层中的水路,从土壤学的角度有强调土壤管理的必要性和引进适当轮作技术的必要。经观察研究土壤剖面后,已明确如能使重粘土水田或地下水位高的水田中难透水的犁底层和氧化层、淀积层产生裂隙,则其下层的块状和柱状结构中就会形成水的通道而透水性变好。鼠道暗沟排水法可使30厘米深处土层中的裂隙、粗孔隙、气相率、透水系系数等增大而促进土壤结构的发育,这就是使稻田土壤结构发育和改善透水效果最好的心土松耕法,也是暗沟排水技术上的革新。鼠道暗沟最有效的施工位置约在稻田深30厘米处,间隔2米。至少每年在适当季节施工一次,第二年须在前一年施工位置的中间依次施工,以使下层土壤结构普遍发达。对重粘土水田或地下水位高的水田,采用暗沟排水和提高透水性等措施后,一般均可增产。但同时会使有机质含量下降,盐基淋失。故须增肥并分次施肥,还须施有机肥及土壤结构改良剂,以增加土壤团聚体和提高土壤肥力⁽¹⁶⁷⁾。

1983-184-268。

3) 水田改土培肥措施

(1) 国内改土培肥措施 在长期科研生产实践中,在克服低产土壤中存在的盐、碱、涝、

瘦等障碍因素方面，积累了极为丰富的技术经验。对于旱、涝、盐碱、风沙、水土流失和土地瘠薄等互相关联的问题，应作为一个整体对待，进行全面规划、综合治理，才能取得最好的经济效益。治理旱、涝、盐碱的中心课题是调节农田水分，必须以排水为基础，排灌并重。在兴修排灌工程的同时，还要辅之以生物措施。

增肥与改良土壤相结合 增施有机肥，按比例施用化肥，种植绿肥；此外，平整土地、合理深耕或免耕、翻淤压沙、掺沙改粘、掺粘改沙等各项耕作管理措施，均可达到改良和熟化土壤的作用。

通过改制改良土壤 例如对沤水田、烂泥田等低产土壤，因地制宜地实行“水改旱”，以清除土壤中的还原性毒质，活化土壤中的迟效养分，加速土壤熟化。然后，实行水旱轮作。对盐碱土实行“旱改水”，利用种稻洗盐，消除毒质。

改良土壤与林牧相结合 利用植树造林、种草加强水土保持，通过生物排水降低地下水位；发展牧业，扩大肥源，加速提高地力。

(2) 国外改土培肥措施

水田的农田基本建设 针对土壤透水性下降而排水不良的问题，根据裂隙的发生和粗孔隙的增大而有利于恢复透水性的原理，为改造土层、促进下层土裂隙的发生、加大粗孔隙，于冬季田间干燥时破碎心土，于主干暗沟之外设置浅的简易辅助暗沟，有良好的排水效果。

旱直播 在低湿重粘的土壤中即使有暗沟的工程设施，但为了加速爽水化的进程而可推行水稻旱直播。借助于改进施肥方法（增加施肥量并采取分次施肥，施用有机肥料及改土物质），可解决水稻的低产问题。在这种特殊田类中落干晒田的效果，以抽穗前后较为明显；如配合鼠道暗沟，则对土层的改良效果更大。

松耕心土以及不翻耕只开沟条播的旱直播栽培，其耕层及犁底层的裂隙比移栽田多，下层粗孔隙量增多。在旱直播期间硝酸态N生成量少，淹水后氨态N的产生缓慢持久，释放速效N的高峰期也延后。充分利用这种特性，对提高暖地直播水稻的生产水平有重大意义。

稻改旱 稻改旱排水的好坏主要决定于地下水位与土壤透水性。为了排水可采用的方法有：主干暗沟、稻改旱田的挡浸排水暗沟、辅助性鼠道暗沟以及松耕心土等，单用或并用均有效。但在低湿地带，必须采用大范围的排水措施。对于重粘土水田除上述措施外，种植深根性牧草或施用稻壳、铝矾土等，均能提高透水性 and 改良下层土质。

稻改旱后潜育层消失，结构发达。还原为水田时，有暗沟的田比没有的，其土壤物理性向水田土壤倒退的程度极轻（183、210）。

3、旱田土壤肥力研究

1) 土壤肥力因素分析 旱田肥力一般比水田肥力差。因而在旱田研究中，最大的问题是土壤肥力因素的分类以及如何提高土壤肥力。过去认为肥力的主要因素是N素问题，并且与有机质密切相关，因而对于有机态N的矿化及无机态N动态的研究较多。对预报旱田土壤有机质的变化幅度以及确定有机质施用量的标准，进行了较系统的研究。为提高旱田作物生产率，集中研究的了土壤物理性、低产土壤的障碍因素与改良，以确立旱田排灌的指导原则并改善土地基本设施的质量；还研究了机械化耕作条件下的合理耕作技术及对肥力因素的评价法等。概括我国各地低产原因，不外“病”与“瘦”两类。有病的，即存在障碍因子的低产土壤是特定的自然环境条件和耕作管理不当所致。如能因地制宜采取措施改土培肥，就可大幅度增产。如华北平原综合治理

旱、涝、盐碱的为害，已取得了成果。至于“瘦”的主要原因是土壤腐殖质含量低，化肥少。我国土壤普遍存在营养元素比例失调的问题，许多土壤缺磷显著。因此，须着重研究磷在土壤中的转化、移动、固定、损失途径及提高利用率的施用技术；对钾肥肥效及其与速效钾含量的关系，也进行了研究。解决“瘦”的主要关键在于大量增加腐殖质的积累与合理施肥。一些国家有因大量施用化肥和农药或因连作导致土壤恶化的情况，为保持肥力而对耕作制度进行了综合研究。

对排水不良土壤的研究，多涉及地下水位的影响与排水条件、土壤物理性的变化及其改善措施。如对细粒质潜育土壤，通过种植牧草而使表土的粒状结构发达，取得了土壤剖面的2~3层均变成氧化的断面形态的效果。对细粒强潜育土进行暗沟施工破碎心土后种植玉米，经过三年即可形成透水结构。水改旱后，水田土壤特征逐渐消失，土性接近旱田。其变化速度，因土类和排水条件而异^(89、149、150、153、213、216、232、255)。

2) 提高土壤肥力

(1) 氮素 氮素是土壤肥力的主要因素，旱田土壤肥力消耗大，必须合理轮作，以维持和增进地力。国内外一致认为在轮作体系中安排绿肥作物和牧草，是省力的生产有机质并具有改善根际微生物相效果的“合理的土壤培肥法”。对土壤施用有机质后，关于有机、无机态氮在作物和土壤间的转化及其供肥特点以及各种有机态氮的矿化和施肥养分动态等进行大量研究的结果，认为施用堆、厩肥、秸秆类新鲜有机质和一年生绿肥，是培养地力的关键性措施。施用堆肥后，在头一年的矿化率为20%；连续施用10年，总碳量的积累可达35%，土壤有效氮量可达原有的二倍多⁽²⁵⁵⁾。土壤中氮素的贮存与土壤有机质的贮存有相似的规律。凡有机质贮量高的土壤，其氮素贮量也多也⁽²⁶⁷⁾。

(2) 磷素 旱田施用磷、钙、镁的效果大。试验证明N、P、K的交互作用，在多种土壤的增产效果上均很显著。

(3) 改进施肥技术 在作物施肥技术的理论基础方面，国内外着重研究了作物的生长发育过程和养分吸收动态以及主要作物高产品种在不同土壤中的营养特点；作物器官发育的规律与肥水效应；土壤养分供应状况与作物需肥关系以及土壤、肥料及植株的营养诊断方法和指标等。一致认为作物在不同生长发育期需要不同种类和一定数量的养分，必须予以满足，这是施肥技术上最重要的问题。分蘖期施N可增穗；从幼穗形成到开花期所吸收的N可增粒；每穗颖花数主要决定于减数分裂期的N素营养状况。以后，所吸收的N可提高千粒重。所以，可通过施肥调节产量构成因素的形成过程，以争取高产。此外，还须注意有机肥和无机肥的配合施用以及N、P、K适宜比例的配合施用。如何因地制宜的确定不同作物、甚至不同品种、不同栽培方式的具体施肥技术，均是必须继续研究提高的课题⁽²³⁴⁾。

(4) 理化性质的改善 为了保持和提高旱田土壤肥力，国内外目前均在应用现代物理学、化学、生物学知识和现代技术手段，研究土壤的理、化、生物属性。此外，还从土壤物理性状的角度阐明了改良土壤的目标⁽¹³¹⁾。

四、我区土壤肥力研究概况

解放以来，自治区曾多次组织有关单位调查研究银川平原土壤，于1962年编写了《银川平原

土壤》一书。比较系统地阐明了银川平原土壤的形成、性态、物理、化学与土壤水分性质、农业生产的特征、生产上存在的主要问题与改良利用的途径。宁夏农林科学院土壤肥料研究所（前宁夏农业科学研究所土壤肥料系）对白僵土改良、次生盐渍化防治、化肥经济合理施用技术、引种及发展绿肥、以及微肥等方面均进行了大量的研究工作，并取得了一定的成果。如改良白僵土的研究工作，通过深翻、增施有机肥及石膏、勤灌、勤排等措施，试种水稻获得成功。此项成就曾引起国内外的重视，为白僵土的改良利用开辟了途径^[270]。此外，针对灌区盐渍化问题，研究了西干渠灌区草甸淡灰钙土的水盐运行规律、作物耐盐极限、土壤盐渍化分级标准、种稻洗盐技术等，分别为土壤盐渍化调查、土壤利用规划、防治灌区土壤盐渍化、稻旱布局的原则与规划，提供了依据及相应措施^[270]。1974年自治区又组织区内外有关单位协作编写《宁夏农业地理》，综合分析研究了宁夏自然、经济条件和潜力，针对生产上存在的主要问题，探讨了今后发展的途径和措施。在土壤普查方面，有关单位进行了大量工作，编写出《宁夏土壤及其改良利用》^[273]、《宁夏土壤普查技术》^[274]、《中卫县土壤普查资料汇编》^[239]、《平罗土壤》^[238]、《贺兰县土壤普查报告》^[271]、《灵武县土壤普查报告》^[272]等。通过土壤普查明确了改土的主攻方向，找出了低产田的症状以及阻碍增产的因素，并提出了改土培肥的措施。近年来，有关科研、教学单位在高产土壤环境及培肥措施、作物高产施肥技术及施肥理论基础、改土治水、改良盐碱地和耕作改土等方面^[50、270、275]，不断进行了更加深入的调研工作，为进一步提高我区农业生产提供了重要依据和措施。

（一）土壤肥力分析

本区土壤因气候干燥少雨、生物作用微弱、大部分土壤缺乏有机质，自然肥力低。南部山区黄土高原主要是黑垆土，有机质含量为1~2%。但水土流失和风蚀严重、又加耕作粗放、施肥水平不高、一般土壤肥力低，作物产量低而不稳。引黄灌区土壤主要是熟化的浅色草甸土，有机质含量在1%左右。亩产800~1000斤的高产麦田，土体构造好、土层深厚达1米以上、土地平整、地下水埋深一般均在2米以下、有的可达2.5米。灌排条件好、水质淡、土壤无盐化或仅有轻微盐化现象。土壤结构好、耕层土壤容重1.2~1.3克/立方厘米、总孔隙在50%左右、非毛管孔隙占总孔隙的12%以上。0~20厘米耕层中水稳性团聚体总量达13%、有效养分含量高、供应比例协调。但灌区300万亩耕地中，这类农田仅占15~25%，而低洼盐碱低产田却有120万亩。目前，除银北地区土壤盐渍化相当严重外，银南有些县盐渍化也有所上升。贺兰、平罗、中卫等县耕地中不同程度盐渍化的面积，分别占58.2%、48.5%和40%以上^[238、239、242]。

综上所述，本区大部分土壤缺乏有机质、自然肥力低，是山区和灌区共同的特点。因此，增加土壤有机质应是当务之急。山区的水土保持、灌区的防治土壤盐渍化，都是提高土壤肥力的重大课题。

山区黄土高原水土流失严重、灌区土壤盐渍化严重的原因，除自然因素的影响外，主要是片面理解以粮为纲的后果。灌区单纯强调扩大水稻、小麦、玉米等粮食作物的种植面积和复种指数，导致作物布局不合理、轮作制度混乱、盲目扩大间、复、套种面积、用地不养地、灌溉管理不善、引水量大、排水负担过重等破坏生态平衡的情况，最终造成土壤肥力下降和土壤盐渍化。山区则乱垦草原、毁林开荒，导致三料（燃料、肥料、饲料）俱缺，并与水土流失形成了恶性循环。不仅林、牧和多种经营受到损失，粮食生产始终低而不稳^[242]。

（二）提高土壤肥力