

全国高等农业院校教材

农业化学 (总论)

(第二版)

北京农业大学 主编

土化专业用

农业出版社



(京)新登字060号

全国高等农业院校教材

农 业 化 学

(总 论)

(第二版)

北京农业大学 主编

* * *

责任编辑 徐蒲生 罗梅健 贺志清

农业出版社出版(北京朝阳区枣营路)

新华书店北京发行所发行 兰州新华印刷厂印刷

787×1092mm16开本 20.75印张 471千字

1980年1月第1版 1994年5月第2版甘肃第3次印刷

印数 6,600—10,900册 定价 9.75 元

ISBN 7-109-01454-1/O·49



第二版前言

本书第一版是在1980年初出书，定稿则在1978年底。当时“文化大革命”结束不久，各院校工作停顿已十多年。编写教材时注重材料的收集，使新书赶上时代的现状，至于篇幅长短则未予重视，结果写成达50多万字的教材。出书以来各校试用几年，取得经验，这次再作修改，出第二版。

1982年2月，邀请各院校土壤农化专业的农业化学教师来北京农业大学开会座谈。交流教学经验和对本教材的意见，修改了农业化学的教学大纲，对书中的章节也作了一些改动。在有机肥料前面加了一章有机肥料及其培肥改土效果，原书第十章人粪尿撤消，部分内容并入粪尿肥和厩肥这一章中，原书第十六章菌肥撤消，部分内容并入绿肥章中，原书第十三章泥炭与腐植酸类肥料，第十四章饼肥与土杂肥及第十七章“三废”的农业利用与环境保护并作一章杂肥。其他各章也都有些改动。

在这次座谈会上对于改写分工和交稿日期都作了安排。只是会后不久副主编裴保义教授不幸病逝！改写人员须作部分调整，交稿日期因之顺延。现在植物营养一章由西北农业大学赵伯善改写；氮肥、磷肥、复合肥料和石灰、石膏及硫磺等四章由华中农业大学程见尧改写；钾肥和微量元素肥料两章由北京农业大学陆景陵改写；有机肥料及其培肥改土效果和绿肥两章由南京农业大学张耀栋改写；粪尿肥和厩肥及堆肥与沤肥两章由南京农业大学戈迺芬改写；剩下的绪论，作物的土壤营养，肥料的运输及贮存，杂肥等章由北京农业大学彭克明改写。初稿完成后于1984年10月在北京农业大学由各章执笔人开会审阅，提出修改意见。参加审阅的除各章执笔人外，西南农业大学毛知耘同志远道来京参加会议，并提出了宝贵意见。

修改后的稿件交来，我又在病中，审改工作由北京农业大学农化教研组尹崇仁、陆景陵等担任。书中各章在篇幅与文字上均有缩简，以保证本书与教学计划的学时相符。

书中除少数绿肥图幅仍采用第一版的原图外，其余图幅由中国医学科学院药用植物资源开发研究所匡柏生绘制。

农业化学内容比较广泛，近年国内外在植物营养的理论方面进展很多，在肥料施用方面也取得不少经验。编者知识有限，错漏在所难免，希望用这本书的师生们多加指正。

彭克明

1987年9月

第二版修订者

主 编 彭克明（北京农业大学）

编写者 彭克明（北京农业大学）

陆景陵（北京农业大学）

程见尧（华中农业大学）

赵伯善（西北农业大学）

张耀栋（南京农业大学）

戈迺芬（南京农业大学）

审稿者 尹崇仁（北京农业大学）

陆景陵（北京农业大学）

王沛芹（北京农业大学）

第一版前言

本书是根据农林部1977年关于编写全国高等农业院校试用教材的指示精神，以及全国土化专业教学计划会议的安排，由北京农业大学，南京农学院，华南农学院，西北农学院，西南农学院，华中农学院，东北农学院，山西农学院，福建农学院，河北农业大学，吉林农业大学，山东农学院等十二院校编写。于1977年12月在泰安开会讨论编写大纲和编写计划。1978年7月在扬州召开审稿会议。1978年11月在北京通县召开定稿会。

全书共十七章，第一、二章着重阐述植物营养的理论与施肥的依据。关于营养元素的功能及吸收、转化，分别归到具体化肥各章，以与肥料衔接紧密一些。第三章到十六章介绍农业上应用的各种肥料的性质成分和施用效果，最后一章介绍工农业废物利用与环境保护的关系和措施。各章的编写分工如下：绪论：北京农业大学，第一章植物营养与施肥：西北农学院，第二章作物土壤营养与施肥和第七章复合肥料：西南农学院，第三章氮肥和第六章微量元素肥料：华南农学院，第四章磷肥和第十六章菌肥：华中农学院，第五章钾肥：山东农学院，第八章石灰石膏：福建农学院，第九章绿肥：南京农学院，第十章人粪尿：河北农业大学，第十一章家畜粪尿与厩肥：东北农学院，第十二章堆肥与沤肥：南京农学院和东北农学院，第十三章泥炭与腐植酸肥料：山西农学院，第十四章饼肥与杂肥：北京农业大学，第十五章肥料混合、运输、贮存和第十六章三废利用与环境保护：吉林农业大学。

本书初稿经中国科学院南京土壤所农化室诸同志逐章审阅，浙江农业大学孙羲、沈阳农学院王方维参加了审稿会，对本教材的修改提出了宝贵意见。此外，湖南、广西、安徽、宁夏、贵州、云南、新疆等农业院校的同志们对教材初稿提供了书面修改意见。第一章和第二章的修改稿又分别请北京农业大学韩碧文和夏荣基协助审阅。曹会章、杨琢梧、张春兰、王兴仁、吴籽一、谢利昌等同志参加了大纲的讨论和部分审稿工作。绿肥图幅由南京农学院清绘，其余图幅由沈阳农学院金耀青同志绘制，对此一并表示感谢。

本书编写过程中先后得到山东农学院党委，南京农学院党委和北京农业大学党委的领导和关怀，使本教材的编审工作能如期完成。

由于农业化学内容广泛，近年来国外营养理论和肥料施用有很大发展，编者学识有限，再加上时间紧迫，内容上难免有疏漏不妥之处，希望采用本教材的教师和同学以及科研工作者多多提供意见，以便再版时修订。

彭克明

1979年1月于北京

第一版编写者

主 编	北京农业大学	彭克明			
	南京农学院	裴保义			
编写人员	北京农业大学	彭克明	毛达如	王沛芹	曹一平
	南京农学院	裴保义	胡鹤堂	徐光壁	张耀栋
	西南农学院	毛知耘			
	华中农学院	程见尧			
	西北农学院	赵伯善			
	华南农学院	茹皆耀	卢仁骏		
	东北农学院	陈魁卿	余容扬		
	吉林农业大学	周祖澄			
	山东农学院	袁宗海			
	福建农学院	李双霖			
	河北农业大学	卢宏杰			
	山西农学院	吴俊兰			

目 录

绪论	1
第一节 农业化学与农业现代化	1
第二节 农业化学发展史	2
一、我国封建社会时期农业生产中施肥实践和理论的进展	3
二、植物营养理论的发展与化肥的创制	4
三、本世纪我国在植物营养与施肥方面的成就	8
第三节 农业化学的内容及其研究方法	9
第一章 植物营养	11
第一节 植物生长发育所必需的营养元素	11
一、植物体的元素成分及其来源	11
二、植物所必需的营养元素及其确定标准	12
三、植物体内必需的营养元素的含量	12
四、植物必需的营养元素的一般功能	13
五、营养元素之间的相互关系	13
第二节 植物的根部营养	14
一、植物根系吸收矿质养分的特点	14
二、植物根系吸收养分的部位	14
三、根的内部构造对吸收养分的意义	15
四、细胞膜的透性对养分进入根内的影响	17
五、植物根系对矿质养分的吸收	19
六、影响根系吸收养分的外界环境条件及其调节	26
七、根部吸收的养分在植物体内的运输	30
第三节 植物的叶部营养	35
一、叶部对养分的吸收	36
二、叶部营养的特点	36
三、影响叶部吸收养分的因素	37
第四节 作物的阶段营养	38
一、作物不同生育阶段的营养特点	38
二、作物的种子营养	38
三、作物营养临界期及作物营养最大效率期	39
参考文献	40
第二章 作物的土壤营养	41
第一节 植物根的生长	41
一、影响根生长的土壤条件	41
二、土壤中作物根系的形成和分布	43
三、根际在作物营养上的意义	45
第二节 土壤是作物养分的来源	47
一、土壤中养分的含量	47
二、土壤中有效养分的形成	52
三、土壤中有效养分的迁移	55

四、土壤中有有效养分的损耗	57
第三节 肥料在土壤中的变化	59
一、有机肥料施用中的土肥混合和上肥相融	59
二、化学肥料作种肥时的烧根问题	59
三、化学肥料作基肥时的养分固定问题	59
四、挥发性化肥的有效施用	60
第四节 土壤中养分的平衡	60
第三章 氮肥	63
第一节 作物的氮营养	63
一、作物体内氮的含量和分布	63
二、氮的生理功能	63
三、氮的吸收与利用	64
四、作物不同生育时期氮供应过多与不足的形态表现	68
第二节 土壤中氮的含量与转化	69
一、土壤中氮素的来源与含量	69
二、土壤中氮的形态和转化	70
三、土壤供氮能力	76
第三节 氮肥的制造原理	77
一、合成氮原理简述	77
二、硝酸制造原理简述	78
三、氮肥制造简述	79
第四节 氮肥的种类、性质与施用	81
一、铵态氮肥	80
二、硝态及硝-铵态氮肥	88
三、酰胺态氮肥——尿素	91
四、氰氨态氮肥——石灰氮	93
五、长效氮肥	95
第五节 提高氮肥肥效的途径	99
一、氮肥的利用率及其损失途径	99
二、提高氮肥肥效的途径	101
参考文献	101
第四章 磷肥	106
第一节 作物的磷营养	106
一、作物体内磷的含量和分布	106
二、磷对作物生长发育的生理功能	107
三、作物对磷的吸收和利用	112
四、作物在不同生育时期对缺磷或磷过多的形态反应	113
第二节 土壤中磷的含量与转化	115
一、土壤中磷的来源与含量	115
二、土壤中磷的形态和转化	116
三、土壤供磷能力	120
第三节 磷肥的资源及其制造原理	123
一、磷肥的资源	123
二、磷肥的制造原理	124

第四节 磷肥的种类、性质与施用	127
一、水溶性磷肥	127
二、弱酸溶性磷肥	132
三、难溶性磷肥	135
四、新型磷肥	138
第五节 提高磷肥肥效的途径	139
一、磷肥的利用率	139
二、提高磷肥肥效的途径	140
参考文献	142
第五章 钾肥	144
第一节 钾的营养作用	144
一、作物体中钾的特点	144
二、钾的营养作用	145
三、作物缺钾的一般症状	151
第二节 土壤中钾的状况	152
一、土壤中钾的含量和形态	152
二、土壤中钾的转化	154
三、土壤中钾的移动	157
第三节 钾肥的性质与施用	157
一、氯化钾	158
二、硫酸钾	159
三、窑灰钾肥	160
四、草木灰	160
第四节 钾肥有效施用的条件	161
一、土壤性质	161
二、作物种类	162
三、施肥技术	163
参考文献	164
第六章 微量元素肥料	165
第一节 微量元素的营养作用	165
一、铁的营养作用	165
二、硼的营养作用	166
三、锰的营养作用	168
四、铜的营养作用	169
五、锌的营养作用	169
六、铝的营养作用	171
七、氯的营养作用	171
第二节 土壤中的微量元素	172
一、土壤中的铁	172
二、土壤中的硼	173
三、土壤中的锰	175
四、土壤中的铜	176
五、土壤中的锌	177
六、土壤中的铝	179

第三节 微量元素肥料的种类及其施用	180
一、微量元素肥料的种类和划分	181
二、微量元素肥料的主要品种及其性质	182
三、微量元素肥料的一般施用方法	183
第四节 施用微量元素肥料应注意的问题	184
一、针对作物对微量元素的反应施用微肥	184
二、摸清土壤中微量元素含量的现状	185
三、改造土壤环境提高肥料的可给性	186
四、把施用大量元素肥料放在重要位置上	186
五、严格控制用量力求施用均匀	186
参考文献	186
第七章 复合肥料	187
第一节 复合肥料及其发展动向	187
一、复合肥料的概念	187
二、复合肥料的发展动向	187
第二节 二元复合肥料的成分、性质与施用	188
一、氮磷复合肥料	188
二、氮钾复合肥料	192
三、磷钾复合肥料	192
第三节 三元复合肥料	193
一、硝磷钾肥	193
二、铵磷钾肥	193
三、多元复合肥料和多功能复合肥料	194
第四节 复合肥料的优缺点与施用技术	194
一、复合肥料的优缺点	191
二、复合肥料的施用技术	194
三、混合肥料的配制	195
参考文献	196
第八章 石灰、石膏及硫磺	197
第一节 作物的钙营养与石灰的施用	197
一、作物的钙营养	197
二、石灰肥料的种类与性质	199
三、石灰肥料的作用	200
四、石灰肥料的施用问题	203
第二节 作物的镁营养与含镁肥料的施用	205
一、作物的镁营养	205
二、含镁肥料的种类、性质与施用	206
第三节 作物的硫营养与含硫肥料的施用	208
一、作物的硫营养	208
二、含硫肥料的种类与性质	210
三、石膏、硫磺的作用	211
四、含硫肥料的施用	211
参考文献	213
第九章 肥料的运输及贮存	214

一、液体化肥的运输与贮存·····	214
二、固体化肥的运输和贮存·····	214
第十章 有机肥料及其培肥改土效果·····	218
第一节 有机肥料的组成·····	219
一、矿质养分组成·····	219
二、有机组成分·····	219
第二节 有机营养·····	221
一、作物对有机养分的吸收·····	221
二、作物根系对有机养分的吸收机理·····	223
第三节 有机肥料培肥改土的效果·····	225
一、补给和更新土壤有机质·····	225
二、改善土壤理化性状·····	228
三、提供植物所需养分·····	229
四、提高土壤微生物活性和酶的活性·····	231
五、防治土壤污染·····	231
参考文献·····	232
第十一章 粪尿肥和厩肥·····	234
第一节 粪尿肥·····	234
一、人粪尿·····	234
二、家畜粪尿·····	240
三、禽粪·····	245
第二节 厩肥·····	245
一、垫圈材料和厩肥积制方式·····	246
二、厩肥在堆腐过程中有机物质的转化·····	248
三、厩肥的腐熟特征和堆腐过程中的保肥措施·····	251
四、厩肥的施用和肥效·····	253
参考文献·····	254
第十二章 堆肥和沤肥·····	256
第一节 堆肥·····	256
一、堆肥的堆制原理和条件·····	256
二、堆肥的堆制方法·····	258
三、堆肥的成分、性质、施用和肥效·····	259
第二节 秸秆直接还田·····	260
一、秸秆在土壤中的分解及其供肥状况·····	260
二、秸秆直接还田对土壤性质的影响·····	263
三、秸秆还田的技术要点·····	265
第三节 沤肥·····	266
一、草塘泥·····	266
二、廋肥·····	269
三、坑沤肥·····	270
第四节 沼气发酵肥料·····	270
一、沼气发酵的意义·····	270
二、沼气发酵的原理及条件·····	271
三、沼气发酵肥的施用与肥效·····	272

参考文献	274
第十三章 绿肥	275
第一节 绿肥在农业生产中的意义	275
一、提高土壤肥力	275
二、有利于保持水土和环境	277
三、促进农牧业结合	277
第二节 绿肥的种类、分布和栽培方式	278
一、绿肥的种类和分布	278
二、绿肥的栽培方式	279
三、间、套、混、插作绿肥栽培特点	280
第三节 主要绿肥的栽培	281
一、豆科绿肥	281
二、非豆科绿肥	289
三、水生绿肥	291
第四节 绿肥的利用	295
一、绿肥的矿质养分含量和化学组成成分	295
二、绿肥利用方式	296
三、翻埋后绿肥的分解和腐殖质化	297
四、绿肥的翻耕技术	299
五、与其他肥料配合施用	300
六、绿肥直接翻压应注意的问题	301
第五节 绿肥生产概况和发展途径	301
一、绿肥生产概况	301
二、发展绿肥生产的可能途径	302
参考文献	303
第十四章 杂肥	304
第一节 泥炭及腐植酸类肥料	304
一、泥炭	304
二、腐植酸类肥料	306
第二节 油粕类肥料	306
第三节 泥土类肥料	308
一、泥肥	309
二、土肥	309
三、肥水	310
第四节 海肥及农盐	311
一、海肥	311
二、农盐	312
第五节 三废的农业利用	313
一、废气	313
二、废水	313
三、废渣	316
参考文献	317
附录	318

绪 论

第一节 农业化学与农业现代化

党的十一大和五届人大把在本世纪内实现农业、工业、国防和科学技术的现代化确定为建设伟大的社会主义强国的奋斗目标和社会主义革命社会主义建设发展时期的总任务。党的十一届三中全会提出“先把农业搞上去”，采取了保护生产队的自主权、提高粮食收购价格、发展多种形式的生产责任制等政策，大大地调动了农民的生产积极性。党的十二大提出了到本世纪末工农业的产值翻两番的目标，使农民看到发展的前景，在农村出现了许多专业户，1983年农业生产粮食3800多亿公斤，棉花425000多万公斤，超过了六五计划中的1985年指标。

建国以来，我国化肥工业发展迅速，据统计从1950年至1980年平均每年递增27.8%，1980年达1269万吨（以有效成分计，以下同）。我国化肥施用量达1232万吨，按播种面积计算，平均每亩施肥量为5.8公斤（折合标准化肥每亩约27公斤），1985年化肥施用量为1757万吨，比1980年增加44.5%，平均每亩施用量为8.1公斤（折合标准化肥每亩39.4公斤）。实践证明，化肥施用量与粮食和经济作物总产量是同步增长的，在农业的各项增产措施中，化肥的增产作用约占30—60%。据预测，1990年化肥施用量为2128万吨，氮磷钾比例为1:0.6:0.2，比1980年增加70.5%，平均每亩施肥量9.7公斤（折合标准化肥每亩45.8公斤），2000年化肥施用量为3405万吨，氮磷钾比例为1:0.7:0.5，实现这个目标后，比1980年增加155.8%，平均每亩施肥量15.6公斤（折合标准化肥68.7公斤），实现粮食总产5000亿公斤的目标。因此，农业化学化是保证粮食翻番、完成农业发展宏伟计划的重要因素。

中共中央关于加快农业发展若干问题的决定在实现农业现代化部署中指出：实现农业现代化迫切需要用现代化科学技术知识来武装我们的农村工作干部和农业技术人员，需要大批掌握现代农业科学技术的专门家，需要有一支庞大的农业科学技术队伍，需要有数量充足、质量合格的农业院校来培养农业科技人才和经营管理人才。

农业化学是农业院校中土壤农业化学专业的一门主要专业课程，也是农学、园艺等专业的重要课程之一。农业化学研究的对象是植物、土壤和肥料及其相互关系，它的中心任务是研究植物营养和合理施肥的问题。农业化学学科的发展与提高，必须建立在先进的农业科学技术的基础上，因此，它必然和农业现代化有密切的关系，它应当用现代化先进的科学技术和研究方法，如应用教学、自动化分析仪器、示踪元素、电子计算机等去研究土壤、作物和肥料间的相互联系和物质转化，探讨作物高产施肥规律以达到提高产量、降低成本、改进品质和预测、预报、预控的目的，为实现四个现代化作出贡献。

肥料是植物的粮食，施用肥料是获得作物高产的重要条件。肥料不仅供给作物以养分，并且有改良土壤、提高地力以改善作物的营养条件、促进其生长发育、提高产量和品质的作用。合理施肥必须掌握各种肥料的性质，以提高其利用率，同时还应根据作物的营养特点及其生长发育规律以及作物对环境的要求去施用肥料，这就是农业化学的任务。

我国肥料工作仍然是在广辟肥源、增施有机肥料的基础上大力发展和广泛施用化学肥料，使有机肥料与无机肥料配合施用。有机肥料对改良土壤、培肥地力具有重要作用。在广辟肥源的同时还要重视提高肥料质量，进行科学管理。农家肥的积制应与沼气发酵结合，以解决肥料和燃料间的矛盾。对提高肥料质量的新方法也要加以研究，以适应机械化施肥的需要。应该注意发展绿肥，提高生物固氮的效率，培育生长期短、产草量高、适于机械化作业和用于间套作的绿肥品种。过去这方面的工作已有了一定的基础，今后在农业发展中绿肥将会起到更好的作用。在有条件的地方应该大力提倡秸秆直接还田，以节省劳力，降低有机质改土的成本。

在增施有机肥料的同时，应积极发展化学肥料工业，既要发展氮肥，也应发展磷、钾肥和一些微量元素肥料。氮肥工业除生产高成分的尿素和硝铵等固体肥料外，还应该在施肥机具发展后考虑小化肥厂改产液氨、联碱、尿素等代替低成分的碳铵。磷肥工业也应该生产有效成分高的重过磷酸钙，并研究、生产硝酸磷肥和聚磷酸铵等复合肥料。钾肥工业除利用青海省的盐湖生产氯化钾外，还应加强勘探，找出钾盐矿源。农业应加强科研力量，找出不同地区的不同作物对氮、磷、钾肥需用的比例，及其施用方法和效果，为化学工业生产化肥提供科学的依据。

农业现代化的实现，为农业化学的研究方法提供先进的技术和装备。实践证明，近代自然科学的产生与实验科学的发展有着密切的关系，许多重大的科学成果都是有了新的实验手段和方法后才获得的，所以必须重视农业化学研究方法的现代化建设，它是促进农业化学学科发展的重要途径。因此，必须装备现代化的实验室和试验基地，以促进植物、土壤、肥料之间的动态研究，做到诊断技术仪表化和自动化，使测定工作快速而准确。

总之，农业化学是研究植物营养与施肥的科学，在理论与实践都要不断总结提高，创出为实现我国农业现代化所需要的植物营养和施肥方面的先进理论与科学技术，为社会主义大农业做出贡献。

第二节 农业化学发展史

远在奴隶制社会建立以前，黄河流域已开始种植禾谷和饲养牲畜了。从生产中人们学会除草保苗，也注意到杂草就地腐烂以后庄稼因获得营养、减少竞争而更加繁盛的现象。在奴隶社会的西周（公元前1066—前771年）诗经良耜篇有“其耨（bo）斯赵，以蔕荼蓼，荼蓼朽止，黍稷茂止”的歌咏。译成现代语言，就是说用耨（锄）刺断荼蓼的根以除荼蓼，荼蓼腐烂后黍稷繁茂。在奴隶社会虽然人们对腐草肥田已有初步的认识，真正有意识地施肥还有待历史的发展。

一、我国封建社会时期农业生产中施肥实践和理论的进展

在战国时期(公元前403—前221年)封建社会已初步建立,土地开垦,农业有一定的发展,施用肥料也比较普遍,反映在当时的文献上如《礼记》月令篇有季夏之月“烧薹行水,利以杀草,如以热汤,可以粪田畴,美土疆”,这是利用野草肥田,但还没有绿肥的种植。《荀子》书中有“多粪肥田是农夫众庶之事也”的说法,就提到用粪了。

西汉时期(公元前206—公元23年)黄河流域农业有很大发展,夏种、施肥已形成制度,在汉朝以前的论文总集《管子》书的轻重甲篇中有“春日脩耜,次日耨麦……次日大雨且至趣芸壅培”的记载,壅培,就是施肥。在我国残存的最古老的农书《汜胜之书》中有许多关于农田种植和施肥的记述。汜胜之在汉成帝时(公元前32—公元7年)作过官,他的农书大概在这段时间写成。当时用的粪包括蚕矢和人粪,施用方法有播种前结合耕地施用,就象现在的基肥,如“种桑二春耕解,耕治其土,春草生,布粪田,复耕,平摩之”。也有用于成苗之后象现今的追肥,如“麻生布粪,锄之,率九尺一树,树高一尺以蚕矢粪之,树三升。无蚕矢以溷中熟粪粪之亦善”。还有和种子一起播下的,或是用粪处理种子,叫做粪种,如“薄田不能粪者以原蚕矢糠不种子种之则禾不虫”,“取雪汁渍原蚕矢五六日,待释,手掇之和种种之能御旱”。这段时期农家肥料种类虽少,但在施肥方法上很有发展。

东汉以后北方动乱很久,先是农民起义,接着群雄混战和五胡纷争,人口锐减,但在农业生产技术上仍有些发展。晋朝(公元265—316年)郭义恭在《广志》书上有关于稻田绿肥的记述。如“苔草色青黄紫花,十二月稻下种之,蔓延殷盛可以美田”。到北魏末年(534年),贾思勰著的《齐民要术》出现。这是我国现存的最古老的农业典籍。在序文和杂说以外分为十卷九十二篇。包括整地、种植、畜牧和加工等项目。在肥料方面杂说中详述了踏粪法,也就是关于厩肥的积制方法。在绿肥方面评述了北方绿肥的施用,如“绿豆为上小豆胡麻次之”。在南宋初年(1149年)有陈旉《农书》出现,书分三卷,上卷讲水稻,中卷讲水牛,下卷讲蚕桑。关于土壤肥力可以保持旺而不衰的记述,奠定了地力常新的理论基础,提出“用肥如用药”的理论。在肥料积制方面提出粪厩坑积以灰土杂物沤制成肥。这个方法以后在南方发展为家肥,在北方就结合养猪发展成为猪圈粪的积制方法。对于饼肥发酵和烧制火粪等提高肥效的方法也有记述。并讲到人粪尿不能用新鲜的,须经发酵,使养分转化,减少危害。

元朝东平王禕关心农业生产,在旌德和永丰任县尹时曾教民勤树艺,并于皇庆二年(公元1313年)写成《农书》三十六卷,分成农桑通诀、百谷谱和农器图谱三大部分。其中农器图谱二十二卷,占全书篇幅4/5,为全书重点。百谷谱除讨论粮食、蔬菜、果树以外,还论述林木、药材和食用菌类。至于土壤肥料和施肥问题则列入农桑通诀,其中粪壤篇是专门讨论肥料和施肥的。在粪肥方面记载着有大粪、踏粪(厩肥)、苗粪(绿肥)、草粪(野生绿肥)、火粪(草木灰、石灰)、泥粪(河泥、塘泥)等六大类。在施肥上他说:“田有厚薄,土有肥磽,应因地制宜用粪,使薄田变为良田,磽土化成肥土”。田地年年种植没有休闲,必须施粪,使地力常新。粪的质和量也应考虑,“骤用生粪或布粪用多,粪力峻热即烧杀(作)物,反为害矣”。

明朝徐光启著《农政全书》约七十万字，内容丰富，是我国古代农业生产的百科全书。包括农本、水利、田制、农事、农器、树艺、蚕桑、蚕桑广（木棉、苧麻）、种植、牧养、制造和荒政等十二目。在土地肥力方面提到“田附郭多肥饶，以粪多故；村落中民居稠亦然。凡通水处多肥饶，以粪壅便故”。在绿肥方面指出“邇堯陵苕，江南皆种以壅田非野草也”。

到了清朝，施肥的理论又有些进展，18世纪杨岐提出施肥要注意时宜、土宜和物宜。时宜是指寒热不同各应其候，春用人粪尿，夏用草粪、苗粪和泥粪，秋用火粪。土宜是指土脉不一随土用粪，阴湿地用火粪，沙土地用草粪和泥粪，高燥地用猪粪。物宜是指物性不齐当随其情，种麦种粟用黑豆粪和苗粪，种稻用骨蛤蹄角粪及皮毛粪，种瓜种菜用人粪。这就为以后的看天、看地、看庄稼的施肥原则建立了基础。

二、植物营养理论的发展与化肥的创制

西欧14世纪以前是宗教统治的黑暗时代，由于城市的建立，资产阶级开始形成，文艺复兴实质上是资产阶级的文化运动，这一运动冲破了黑暗统治，使科学有了发展的条件。

（一）早期对植物营养的探索 文艺复兴时期西欧人们才开始对自然界的现象进行科学探索，1640年在布鲁塞尔有万·海尔蒙脱（van Helmont）用陶盆栽柳条的试验，以找寻营养植物的物质。他在盆里装土200磅，插上一支5磅重的柳条，用雨水或蒸馏水浇灌，盆上盖以带孔的马口铁板，以防止别的东西掉进盆里。5年后把树砍下称重，枝干和根的总重169磅^①，盆里的土只减少了2盎司^②。他的结论是：柳树只靠水营养5年就长了160多磅，每年的落叶还没计算在内，这样看来，水是柳树的唯一营养物质。这就是历史上水的营养学说。

以后John Woodward用雨水、河水和下水道的污水培养薄荷，在含有泥沙的河水里植物生长比在雨水里好，在污水里长得更好，他说，土和盐都有营养作用。1656年Glauber加硝土于培养盆中，植物增长显著，证明硝也有营养作用。

在燃素学说流行时期（1750—1800年），化学家Francis Home发表了一本关于植物营养的书（1757年），他确定了植物营养研究的方法应包括盆栽试验和植物分析，并肯定了6种植物养料为空气、水、土、盐、油和燃素。Wallerius分析了土中的植物营养物质，他认为，腐殖质是植物养料，其他土壤成分只是辅助腐殖质溶解的物质。1795年丹端纳伯爵又把磷酸钾列为植物养料。

到1775年Priestley观察到，动物呼吸使空气污浊，植物生长使空气清新。他发现氧的作用以后又忽视了阳光的作用，所以，不能说明植物的功能。到Ingen-House才发现，在阳光下植物使空气清新，黑暗中植物也使空气污浊。Jean Senebier研究空气和植物生长的关系时才发现，万海尔蒙脱的柳树生长是由于它固定了一部分空气。

关于海尔蒙脱的柳树问题还是等到1804年才由小索秀尔（de Saussure）的工作弄清楚。索秀尔采用精确的定量方法在含有不同数量二氧化碳的空气中培养植物，然后精确地测定空气中二氧化碳含量和植物体的碳素含量，证明植物体的碳素是来自植物同化

① 1磅=0.4536公斤。

② 1盎司=28.35克。

的大气中的二氧化碳。他对植物灰分也做了精细的定量分析,证明植物年龄不同,灰的成分也不同,土壤不同,其灰分也有差异。他证明了矿质元素不是偶然进入植物体,而是植物营养所必需的,而且植物吸收矿质元素是有选择的。灰分元素来自土壤,碳、氧和氢来自空气和水。小索秀尔的工作方法和他的结果都是正确的,但是当时没有被人们接受,这是很可惜的。

19世纪初期在欧洲流行着两本关于植物营养的名著,都是当时的权威学者写成。一本是德国学者泰尔(von Thaer)所写,他认为,土壤肥力决定于腐殖质的含量,因此腐殖质是土壤中植物养分的唯一来源,矿物质不过起间接作用,以加速腐殖质的转化和溶解,使之变成易被植物吸收的物质。这就是他的腐殖质营养学说。另一本大著是英国大化学家大卫(Humphry Davy)1902—1912年的讲演集,他相信化学家Wallenius的说法,认为腐殖质是营养物质,但忽视了索秀尔的工作。这本文集只介绍了当时流行的说法,并没有他自己的试验,实际上对腐殖质说的流行起了推动作用。当时瑞典的大化学家伯济里乌斯(Berzelius)也支持腐殖质学说。当时持不同意见者有法国的布森高(Boussingault)和德国学者施普林盖尔(Sprengel)。

布森高是农业试验站的创始人,也是最早用田间试验方法研究植物营养的创始者。1834年,他在阿尔萨斯省伯舍布隆地方自己的庄园里创建了世界上第一个试验站。他采用了索秀尔的定量试验法,把所施用的肥料(厩肥)和收获的作物都做了分析,把轮作周期中收获物中的养分含量和厩肥中的养分含量列成清单,以表示试验的结果,如表1所

表1 一个轮作的统计资料

	重 量(公斤/公顷)					
	干物质	碳	氢	氧	氮	矿物质
1.甜 菜	3172	1357.7	184.0	1376.7	53.9	139.3
2.小 麦	3306	1431.6	164.4	1214.9	31.3	163.8
3.三叶草(干草用)	4029	1909.7	201.5	1323.0	81.6	310.3
4.小 麦	4208	2004.2	230.0	1700.7	43.8	259.3
芜菁(填闲作物)	76	307.2	39.3	392.9	15.2	51.1
5.燕 麦	2347	1182.3	137.3	890.9	23.4	163.0
轮作的总收获量	17478	8192.7	956.5	7009.0	254.2	1003.5
施肥总量	10161	3637.6	426.8	2621.5	203.2	3271.9
得自空气、雨水或土壤而未计入的差额	+7317	+4355.1	+529.7	+4387.5	+51.0	-2231.4

示。从这些数据中可以看出,在5年轮作试验中收获的干物质和碳、氧、氢、氮等成分都比随厩肥施入的多,只有灰分物质比施入的少。他又把几种不同轮作中氮素平衡列成清单,如表2所示。根据表中的数据他指出,豆科植物能增加土中氮素,使土壤肥沃,禾谷类作物只吸取土中的氮素,使土地贫瘠。至于豆科作物利用空气中氮的原因由于当时微生物还没被发现,所以自然还不清楚。1870年普法战后,阿尔萨斯并入德国,布森高的试验站没有再继续工作下去。