

生物质

在现代农业中的 重要作用

SHENGWUZHI
ZAI XIANDAI NONGYE ZHONGDE
ZHONGYAO ZUOYONG

■ 闵九康 贺焕亮 等编著



化学工业出版社

生物质 在现代农业中的 重要作用

SHENGWUZHI
ZAI XIANDAI NONGYE ZHONGDE
ZHONGYAO ZUOYONG

■ 闵九康 贺焕亮 等编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要论述了：1. 全球各生态系统中生物质的种类和数量；2. 全球生物质生产展望——21 世纪的水域农业；3. 全球生物质循环过程中有机碳库的大小和通量；4. 全球生物质的循环与低碳农业的发展；5. 全球生物质的起源与平衡账；6. 植物生物质的分类及其功能；7. 农业生态系统中生物质的循环和利用；8. 土壤生物质的代谢过程和重要作用；9. 重金属及其在生物质中的转移过程；10. 土壤生物质和温室效应；11. 生物质氢（H₂）——永不枯竭的无碳能源等。

本书可供农学、环境学、气象学和生态学的科技工作者以及有关单位生产部门的相关技术人员和大专院校师生参考和阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

生物质在现代农业中的重要作用/闵九康, 贺焕亮等
编著. —北京: 化学工业出版社, 2013.1
ISBN 978-7-122-16174-1

I. ①生… II. ①闵…②贺… III. ①生物工程-应用-现代农业 IV. ①S

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 311855 号

责任编辑: 邵桂林
责任校对: 顾淑云

文字编辑: 张春娥
装帧设计: 韩 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 60 1/4 字数 1569 千字 2013 年 7 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 260.00 元

版权所有 违者必究

编著人员名单

(按姓氏笔画排序)

于军锋	马春雨	马莉	马昭山	王伟	王茹	王明山
石磬	叶一舟	邬华	邬奇洋	刘广青	刘怡群	杜伟
杜昀龙	杜毅楠	李可	李霖	李志华	李珍发	李美琼
李楨林	李琼英	沈育芝	吴欣	吴志勇	吴熙鸿	何成勇
何建平	闵九康	汪发荣	宋鹏飞	张民军	张桂兰	陆菁
季志会	金红梅	赵效平	赵新慧	俞保国	俞耀锋	贺焕亮
贺登峰	耿魁	贾登泉	徐亮	高秀红	郭杰	郭婧姣
唐慧旭	陶国庆	崔兴荣	崔纯珍	崔瑞珍	董巨河	赖波
谢旭	樊晓斌					

序一

闵九康和贺焕亮教授等编著的《生物质在现代农业中的重要作用》是他们和同行们的一系列专著之一。这些专著包括：《农业生态生物化学和环境健康展望》，《全球气候变化和低碳农业》，《低碳农业——全球环境安全和人类健康必由之路》。联系早年闵先生译著《土壤生物化学》、《农业土壤中的氮》、《植物的氮代谢》和《土壤分析法》等书籍，可以看出作者们所极力关注的是土壤、农业和环境之间的自然关系，从而又联系到人类生存的自然条件以及人类活动所造成的结果，即人类物质文明的大发展产生的自然环境的改变，包括气候变暖和局部地区环境恶化。人类要生存、发展、进步，就必须考虑环境的承受力。因此，响应、呼吁和提倡“低碳农业”是“全球环境安全和人类健康的必由之路”。

《生物质在现代农业中的重要作用》一书内容新颖、研究成果的资料丰富，充分反映了本领域的最新发展与动态，并站在“低碳农业”的高度探讨生物质（biomass）在现代农业中的作用。从探讨自然大环境回归到论述人类进行耕作、利用土壤养活世界人口的种种问题，这是与自然大环境密切交织在一起的一部科学著作。

此书由若干板块构成：第一至第六章论述温室气体的起源、有机质（碳）在环境中的代谢、微生物群落碳通量等，指出低碳农业之必要，并展望 21 世纪水域农业的发展以拓宽人类的生存空间；第七至第十二章阐明土壤中的腐殖质以及生物肥料等问题，这涉及土壤肥力的关键和培肥土壤的核心议题，关系到农业的可持续发展；第十三至第十六章和第三十二至第四十章探讨土壤中的生物调节物质和植物克生素的存在及作用机理，指出对其合理利用是实现低碳农业的可操作措施之一；第十七至第三十一章综述土壤中重要物质的循环过程、平衡及其农业管理的意义。

近年来，闵九康教授在低碳农业领域研究中取得了突破性的进展，并获得了很大的社会效益、经济效益和环境效益，被国内外有关单位如中国植物生命工程研究院和中国农业科学技术出版社等授予了“低碳农业之父”的荣誉称号，也得到了公众的认同和赞誉。我深信，闵教授的这一当之无愧的称号及其文字总量高达 1200 万的许多重要著作和数以万计的科学论据将永垂史册。

陶天申（武汉大学 微生物系教授）

2012 年 8 月 16 日

序二

闵九康和贺焕亮教授等编著的《生物质在现代农业中的重要作用》一书即将由化学工业出版社出版。该书论述的学术观点内容丰富并具有科学性，是一部不可多得的科学巨著，堪称经典之作。为此，我欣然应允为本书作序。

本书论述了生物质碳（C）的全球大循环至微生物碳的微循环对人类生存和发展的重要作用。此书作者们独具匠心，从不同广度和深度讨论了世界人口增长及其对生物质，特别是粮食和饲料生产的需求。他们收集的科学数据表明：1993年到2020年需要增加谷物41%而达 2490×10^6 吨，薯类增加40%而达 855×10^6 吨。同时，在未来10年，发展畜牧业对饲料的需求也明显增长，据初步统计需求量将增加100%。就总体而言，直接用于人类粮食和饲料的谷物产量应在原有基础上增加47%。

根据上述数据表明，社会发展、环境健康、气候变化、生物多样性增减、生态和资源的合理利用都与全球生物质的生产，特别是净初级生物质的生产有着密切的关系。

该著作的作者们还通过各种方法，收集和汇总了全球各生态系统中生物质总产量的非常有意义的科学数据：陆地生态系统为 827×10^9 吨；海洋生态系统为 1.8×10^9 吨；两者合计为 829×10^9 吨。农地生物质总产量则为 7.0×10^9 吨。作者们经计算得出的结果也表明，林地和农地含有生物质碳（C）量占整个陆地碳量的90%，而且每年生产的初级生物质产量占全球陆地初级生物质产量的80%。

我真诚地希望该著作能及时出版，它将对广大从事科研、教学和生产等的读者都有重要的指导作用。

丁巨元（北京化工大学教授）

2012年9月12日

前言

随着世界人口的增长,人类对粮食和纤维以及糖料的需求亦越来越迫切。国际有关机构统计,1993—2020年人类需要的谷物需增加41%而达 2490×10^6 吨,薯类则需增加40%而达 855×10^6 吨。同时,在未来10年,发展畜牧业对饲料的需求也明显增长,据估计需求量将增加一倍。

上述数据表明,社会发展、环境状况、气候变化、生物多样性的增减以及生态和资源的合理利用都与全球生物物质的生产,特别是净初级生物物质的生产有着密切的关系。

全书共40章,全面论述了如下内容:1. 全球各生态系统中生物物质的种类和数量;2. 全球生物物质生产展望——21世纪的水域农业;3. 全球生物物质循环过程中有机碳库的大小和通量;4. 全球生物物质的循环与低碳农业的发展;5. 全球生物物质的起源与平衡账;6. 植物生物物质的分类及其功能;7. 农业生态系统中生物物质的循环和利用;8. 土壤生物物质的代谢过程和重要作用;9. 重金属及其在生物物质中的转移过程;10. 土壤生物物质和温室效应;11. 生物物质(H_2)——永不枯竭的无碳能源。

全书各章主要编写人员如下:第一章陶国庆,第二章闵九康,第三章陶国庆,第四章董巨河,第五章唐慧、马莉、王茹,第六章俞耀锋、于军锋,第七章贺焕亮、杜毅楠、马春雨,第八章张桂兰、何建平,第九章贺焕亮、王伟、王明山、刘广青,第十章闵九康,第十一章樊晓斌、谢旭、高秀红、崔纯珍,第十二章邬奇洋、李志华、邬华,第十三章金红梅,第十四章郭婧姣、叶一舟,第十五章邬奇洋、李可,第十六章崔瑞珍、石磐,第十七章俞耀锋、李霖,第十八章耿魁,第十九章吴志勇、吴欣,第二十章李珍发、李祯林,第二十一章贺焕亮、邬华,第二十二章俞保国、杜昀龙,第二十三章何成勇,第二十四章汪发荣、徐亮,第二十五章闵九康、杜伟,第二十六章俞保国,第二十七章马昭山,第二十八章宋鹏飞,第二十九章崔瑞珍、刘怡群,第三十章贺焕亮、李琼英,第三十一章吴熙鸿,第三十二章贾登泉、赵新慧,第三十三章崔兴荣、赵效平,第三十四章郭杰,第三十五章贺焕亮、季志会、陆菁,第三十六章闵九康、沈育芝,第三十七章赖波,第三十八章贺登峰、张民军,第三十九章李美琼,第四十章吴欣、于军锋。

本书能及时出版主要得益于化学工业出版社编辑及其领导的关心和支持,亦归功于中国农业科学院、中国气象局、山西忻州科技局、山西定襄县神宇科技示范基地有限公司、新疆保利兴农生物有限公司等的专家学者们的精心撰稿。在此,一并对他们的辛勤劳动表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,希望读者谅解书中存在的不妥之处,并提出宝贵意见。

闵九康 贺焕亮

于北京

2012年8月15日

目 录

第一章	全球生物质(碳)循环与低碳农业的发展	1
第一节	引言	1
第二节	全球碳循环	2
第三节	有机残体的结构化合物	3
第四节	微生物的细胞壁	10
第五节	植物可溶性物质、根系和根系分泌物	12
第六节	土壤有机质的形成	12
第七节	土壤有机质的组分	15
第八节	土壤有机质的数量和分布	18
第九节	Rubisco 酶与光合作用效率	20
一、研究目的		20
二、Rubisco 酶无效的原因		21
三、研究出一种更优化型 Rubisco 酶的新技术		23
第十节	农业土壤中碳的缓冲作用	26
第二章	全球生物质生产展望 ——21 世纪的水域农业	29
第一节	引言	29
第二节	海藻肥的营养物质	30
第三节	海藻肥对土壤及作物的生态效应	32
一、海藻肥对土壤的作用		32
二、海藻肥对作物的作用		33
三、海藻肥在作物生长中的生态效应		33
第四节	海藻肥作用特点	33
第五节	海洋和淡水生境中的蓝细菌及其重要作用	34
一、健康食品和饲料		34
二、次生代谢物及其医药特性		36
三、基因控制和转基因蓝细菌		44
第六节	积极发展微藻产业,努力实现低碳农业	46
第三章	生物质和温室效应	48
第一节	引言	48
第二节	温室效应和全球变暖	49

第三节	CO ₂ 的起源和全球平衡账	50
第四节	光合作用对 CO ₂ 的固定效率	52
第五节	光合作用器的一般特性	52
一、	光合作用的光反应和暗反应	52
二、	光子的吸收	53
三、	碳的光合还原作用	54
四、	光合作用过程中 CO ₂ 的供应与需求	54
第六节	不同湿地的碳平衡账	55
第七节	全球甲烷 (CH ₄) 的平衡账	58
第八节	控制水稻田发射 CH ₄ 的过程	59
第九节	全球氧化亚氮 (N ₂ O) 的平衡账	60
一、	控制水稻田 N ₂ O 和 NO 的发射过程	62
二、	不同水稻生产系统之间的差异	63
第十节	氨 (NH ₃) 的全球平衡账	64
第十一节	硫化物的全球平衡账	66

第四章 有机质 (碳) 在农业生态系统中的代谢过程

67

第一节	有机质的形成和分布	67
第二节	土壤中有机质的转化	70
一、	生物圈中有机质的全球循环	70
二、	进入土壤中有机质的数量	70
三、	稳态条件下土壤有机质的周转	72
四、	植被变化和管理技术对土壤有机质的影响	73
五、	土壤有机质周转模式	75
第三节	土壤中不同有机质的元素组成	78
一、	植物和动物体的元素组成	78
二、	植物和动物的主要结构化合物	79
三、	土壤中混合有机物的分解作用	80
第四节	影响土壤有机质分解的因子	85
一、	有机质的易分解性 (颗粒大小)	85
二、	水分	86
三、	通透性 (氧的供应能力)	87
四、	土壤反应或 pH	89
五、	有效养分	90
六、	温度	96
七、	黏土矿物与抑制物	98
第五节	有机质的动力学和生物质的管理	100
一、	土壤有机质的性质与功能	101
二、	土壤有机质的动力学和转化过程	103
第六节	作物残体对土壤有机质动力学的影响	109
一、	作物残体及其营养含量	109
二、	作物残体的利用	110
三、	作物残体 (秸秆等) 与土壤有机质动力学和微生物活性的关系	110
第七节	小结	112

第一节 引言	114
第二节 细胞水平的碳流（通量）	115
一、呼吸作用	115
二、同化作用和产量系数	116
三、产量保持	117
四、其他代谢产物	118
五、碳代谢速率对土壤过程的影响	118
第三节 碳流：种群和群落	119
一、微生物生物体	120
二、微生物群落的组成：细菌和真菌	120
三、土壤食物网	122
第四节 土壤水平的碳流（通量）	122
一、输入土壤中的碳	122
二、土壤中的碳库	123
三、影响碳流的因子	125
四、微生物的微范围空间分布	128
第五节 土壤中碳流的定量	129
第六节 农业生态系统与其他生态系统的比较	130
第七节 土壤碳-微生物相互作用对农业生态系统的影响	131
一、生物体是一种对碳动力学发生短期影响的氮库	131
二、保持和增加土壤碳库：它会对碳动力学发生长期影响	132

第一节 引言	134
第二节 生物质碳素循环	135
第三节 微生物生长与能量的关系	137
一、能源	137
二、能源分布	138
三、生长方式	138
四、微生物的效能和生长	138
第四节 微生物生长和植物生产率	139
一、植物生产率的估算	140
二、微生物生物量的估算	140
第五节 微生物生长的基质控制	141
一、微生物生长的动力学	141
二、土壤微生物生长方程式	142
三、微生物细胞转化	142
第六节 微生物呼吸和碳素转化	143
一、土壤中二氧化碳（CO ₂ ）的释放速率	143
二、根据二氧化碳的释放速率来估算微生物的转化量	143
三、土壤吸氧率	144

四、根据氧的吸收速率来估算微生物的转化量	145
第七节 加入土壤的基质和微生物中 ¹⁴ C 的转化量	145
一、葡萄糖和葡聚糖	145
二、微生物的分离物	146

第七章 腐殖质的生物化学 149

第一节 引言	149
第二节 土壤中的降解反应	149
一、植物总体的降解作用	149
二、碳水化合物的降解作用	150
三、氨基酸化合物的降解作用	151
四、酚类成分的降解作用	151
第三节 土壤中的合成反应	155
一、植物总体及植物成分向腐殖质的转化过程	155
二、微生物色素的形成与腐殖质合成的关系	156
三、微生物酚类聚合体形成的生物化学	158
第四节 黏土矿物对土壤微生物形成腐殖质过程的影响	163
第五节 小结	164

第八章 腐殖质及其在土壤中的作用 167

第一节 腐殖化作用	167
第二节 腐殖质的化学组成	170
一、腐殖化过程中植物结构化合物的降解	170
二、腐殖质形成的原始材料（木质素）	171
三、微生物合成的酚类化合物（腐殖酸的组成单元）	180
四、腐殖物质的分离	181
五、腐殖物质的分级	185
六、胡敏酸的化学组成	193
七、腐殖质和天然酚化合物中形成暗色物质的模型研究	202
八、“合成”胡敏酸的模型试验	217
九、腐殖物质形成过程中的有机氮化物	219
十、胡敏酸形成过程中的碳水化合物	224
第三节 物理性质（摘要）	227
一、紫外线和可见光	227
二、腐殖酸及其分级物的红外线吸收作用	227
三、热分析法对腐殖酸及其各级产物的鉴定	227
四、腐殖酸及其各级产物氧化还原电位和极谱性质	227
五、腐殖质的 X 射线衍射光谱研究法	227
六、腐殖酸和无机阳离子的络合特性	228
七、腐殖酸及其产物的形状、大小和颗粒物重	228
第四节 结论	228

第九章 生物质肥料与农业持续发展 230

第一节	种植业、饲养业、沤制业相结合是保证农业持续发展的重要前提	230
第二节	“矿质营养学说”等理论及欧洲农业实践表明,有机、无机农业结合是保证农业持续发展的最好选择	231
第三节	合理使用有机肥料是保证营养元素合理循环和农业持续发展的根本问题之一	232
第四节	积极发展绿肥,不断开辟有机肥源,是保证农业持续发展的重要因素	234
第五节	解决好有机肥料问题,促进农业生产的持续发展	235

第十章 生物质肥料在现代农业中的作用 237

第一节	引言	237
第二节	有机肥料的有机营养作用	237
一、	碳水化合物在土壤中的转化	238
二、	有机氮化合物	239
三、	有机磷化合物	239
四、	钾	240
五、	有机肥料中的微量元素	241
第三节	有机肥料对提高土壤肥力的作用	242
第四节	有机肥对氮循环的影响	244

第十一章 生物肥料与低碳农业的发展 246

第一节	绪论	246
第二节	生物肥料在持续农业中的重要作用	249
一、	引言	249
二、	生物肥料和其他产品在持续农业中的重要作用	250
三、	生物肥料的内涵和技术路线	251
第三节	生物肥料研究的主要结果和成果	252
一、	生物质残体与微生物的关系	252
二、	尿素转化及其控制	254
三、	生态生物肥料中尿素损失与脲酶抑制	256
四、	调节 C/N 比,增加有机氮	258
五、	微生物成活及其生境	258
六、	其他	258

第十二章 生物肥料及其发展前景 261

第一节	引言	261
第二节	生物肥料发展史	261
第三节	生物肥料的分类	262
第四节	固氮生物肥料	263
第五节	解磷生物肥料	265

第六节 促生菌生物肥料 267

第七节 溶钾生物肥料（生物钾肥） 267

第八节 小结 270

第九节 生物肥料的基础——生物固氮作用 272

 一、固氮作用的程度 272

 二、固氮作用的微生物学 277

 三、接种剂的生产和应用 277

 四、未来研究展望 278

第十节 生物肥料的生产及其工艺 279

 一、微生物肥料的批量生产 279

 二、生物肥料的配方技术 284

 三、小结 287

第十一节 生物肥料的商业化进程 287

 一、历史回顾 288

 二、土壤微生物的商业化步骤 289

 三、各种微生物制剂现行市场份额 291

 四、小结 292

第十三章

土壤中的生物质调节剂

293

第一节 引言 293

第二节 历史回顾 294

 一、生物活性物质 294

 二、固氮菌 295

 三、接种菌剂后的增产效果 296

第三节 对植物的生理作用 297

 一、植物生长调节剂对植物生长的影响 297

 二、植物体内的生物合成过程 298

 三、土壤中外源植物生长调节剂的代谢作用 299

第四节 植物激素的微生物合成 300

 一、植物生长素 300

 二、赤霉素 306

 三、细胞激动素 307

 四、乙烯 312

第五节 应用 318

第六节 小结 318

第十四章

生态系统中的脱落酸及其重要意义

320

第一节 引言 320

第二节 历史 320

第三节 脱落酸在植物生理中的作用 321

 一、脱落酸引起的生理反应 321

 二、结构-活性关系 322

第四节 植物的合成和代谢 322

一、合成	322
二、内源和外源脱落酸的代谢	324
第五节 ABA 结合部位	326
第六节 ABA 作用机制	326
第七节 运输过程	327
第八节 外源供应脱落酸对植物生长的影响	327
第九节 产生 ABA 的微生物	330
一、真菌合成 ABA 的生物化学	331
二、脱落酸的代谢作用	336
三、影响真菌合成脱落酸的因子	336
第十节 脱落酸和共生联合体	342
一、根瘤形成	342
二、菌根真菌	342
第十一节 脱落酸和病原体	344
第十二节 土壤中的脱落酸	347
第十三节 微生物产生脱落酸的生态意义	349
第十四节 结论	349

第十五章 土壤酶活性与生物质的关系

350

第一节 引言	350
第二节 不同土类中酶活性与土壤肥力	350
第三节 土壤中蔗糖酶、过氧化氢酶、多酚氧化酶的活性与生物质的关系	352
第四节 土壤脲酶、蛋白酶与土壤氮代谢的关系	353
第五节 土壤中磷酸酶活性与磷的含量	353
第六节 灌溉对脲酶和尿素移动的影响	354
第七节 生物质对土壤酶活性的影响	357
第八节 结论	359

第十六章 农业生态系统中的生物及其生物多样性

360

第一节 引言	360
第二节 生物多样性的定义	362
第三节 生物多样性的现状和生物多样性数量	364
一、生物多样性现状	364
二、生物多样性的数量	364
第四节 生物多样性的本质	365
第五节 生物多样性在农业中的生态效应	365
第六节 农业生态系统中的生物多样性	366
第七节 生物多样性展望	366
第八节 困难或限制因子	368

第一节 引言	369
第二节 农业废弃物	370
一、作物残体	370
二、动物粪便	374
第三节 食品加工过程产生的废弃物	380
一、食品加工过程产生的废弃物的性质与成分	380
二、灌溉农田	383
三、土壤对氮的载荷与利用	384
四、硝化作用与反硝化作用	385
五、污染潜势	385
第四节 城市废弃物	386
一、污流	386
二、污泥	388
第五节 小结	393

第一节 引言	395
第二节 与 N 收支有关的 N 循环	395
一、N 循环图解	395
二、土壤氮平衡概念	396
第三节 土壤-植物系统中的氮源	397
一、土壤中固有的有机氮	397
二、通过作物和动物废料加入的氮	397
三、通过降水和灌溉水加入的氮	398
四、从大气吸附的 N	399
五、生物固氮作用	399
六、商品肥料	400
七、杂项	400
第四节 土壤植物系统中氮的损失	401
一、被作物和家畜取走	401
二、侵蚀和径流	402
三、淋溶损失	403
四、反硝化作用和其他气态损失	405
五、铵的固定作用	406
第五节 土壤-植物系统中氮收支的近期研究	406
一、标记 N 在 N 收支研究中的应用	406
二、N 平衡的方法论	407
三、N 平衡研究中存在的问题	408

四、N 平衡的研究	409
五、小结	423
六、N 平衡在土壤和作物问题上的应用	423
第六节 小结与结论	429

第十九章 生物固氮作用及其在农业中的意义 431

第一节 总论	431
一、生物固氮过程	431
二、生物固氮量	431
三、固氮作用的程度	432
四、固氮酶	433
五、固氮酶的反应	433
六、固氮酶的调节	433
第二节 固氮作用的微生物学	434
一、引言	434
二、自生固氮生物	435
三、共生固氮生物	439
第三节 固氮作用的生理学和农学——豆科植物与根瘤菌的共生作用	444
一、引言	444
二、结瘤过程	445
三、固氮作用中的能量关系	446
四、固氮作用的测定方法	455
五、根瘤菌的分类	461
六、豆科植物与根瘤菌的相互作用	461
七、种子接种技术	462
八、接种剂的应用	464
第四节 未来的应用	465

第二十章 土壤中的生物有机态氮 466

第一节 引言	466
第二节 土壤氮的分级	466
一、矿质土壤中有机态 N 的分布	468
二、有机土和水渍物中 N 形态的分布	472
三、腐殖酸和富啡酸	473
四、新固持 N 的分布和稳定作用	475
五、N 同位素丰度的自然变化	478
第三节 氨基酸	479
一、提取和定量测定	479
二、氨基酸的鉴别	480
三、在土壤中的分布方式	480

四、影响氨基酸分布的因子	483
五、腐殖酸和富啡酸中的氨基酸	484
六、氨基酸的立体化学	484
七、游离氨基酸	485
八、土壤中氨基酸的状态	486
第四节 氨基糖	487
一、提取和定量测定	488
二、氨基糖的分离	489
第五节 其他氮化合物	490
一、核酸及其衍生物	490
二、叶绿素和叶绿素的降解产物	492
三、磷脂	493
四、胺、维生素和其他化合物	493
五、农药及其降解产物	494
第六节 土壤有机 N 的稳定性	495
第七节 摘要	496
第八节 农药对土壤氮转化的影响	496
一、土壤的变异性	496
二、农药的行为	497
三、农药对 N 转化作用的影响	498
四、农学意义	507
五、环境和管理意义	511

第二十一章 生物质氮的氨化作用

513

第一节 引言	513
第二节 蛋白质、肽、酰胺、脘以及氨基酸	514
一、蛋白酶和肽酶	514
二、土壤中的蛋白酶和肽酶	516
三、酰氨基水解酶和脘基水解酶	522
四、氨基酸脱氢酶和氧化酶	523
第三节 氨基多糖和氨基糖	524
一、起源和水解	524
二、土壤中氨基多糖的稳定性	525
三、土壤中氨基多糖的水解	526
四、氨基糖产生的氨	526
第四节 核酸、核苷酸、核苷、嘌呤以及嘧啶	528
一、核酸	528
二、核苷酸和核苷	530
三、土壤中的核酸酶、核苷酸酶和核苷酶	530
四、核苷酸和核苷的脱氨基作用	530
五、嘌呤的分解代谢	531