

固氮生物化学与遗传研究

——纪念尤崇杓教授

马缘生
方宣钧
林 敏

主编

中国科学技术出版社

固氮生物化学与遗传研究

——纪念尤崇杓教授

Biochemistry and Genetics of Nitrogen Fixation

——In Memory of Professor You Chongbiao

马缘生 方宣钧 林 敏 主编

Chief Editor by Ma Yuansheng Fang Xuanjun Lin Min

中国科学技术出版社

Chinese Science and Technology Press, Beijing

内容简介

尤崇杓教授(1932年10月26日—1994年11月9日),他一生从事农业科研和教学,在国内外享有很高的声誉。本书以他在生物固氮研究领域中的贡献、成就为主要内容,其重点又是固氮生物化学和分子遗传学方面最近的成果。全书分为固氮酶生物化学,固氮分子遗传,联合固氮,共生固氮,核农学及固氮研究技术等五大部分,较全面的介绍了我国生物固氮研究进展的一个侧面。其中不少篇章在国内外领先。本书内容丰富,技术先进,数据准确,图片清晰。此书不仅是对他逝世的纪念,同时在学术上对国内外与农学、生物学、生物化学、遗传学、植物生理学及核农学等有关的科研、教学人员均有重要参考价值和很高的可读性。

图书在版编目(CIP)数据

固氮生物化学与遗传研究:纪念尤崇杓教授/马缘生等主编. —北京:中国科学技术出版社,1995
ISBN 7-5046-1953-1

I. 固… II. 马… III. ① 生物固氮-生物化学-研究-纪念文集②生物固氮-遗传-研究-纪念文集 IV. Q945.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 06212 号

中国科学技术出版社出版
北京海淀区白石桥路 32 号 邮政编码:100081
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
清华大学印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:19.75 字数:474 千字
1995 年 8 月第 1 版 1995 年 8 月第 1 次印刷
印数:1—600 册 定价:45 元

序

70年代初我国掀起了生物固氮的研究高潮,尤崇杓教授当即积极投入这项重要研究课题之中。20多年来他殚心竭虑为我国生物固氮研究事业作出了重要贡献。尤崇杓教授积劳成疾,不幸英年早逝。诚为我国科技界的重要损失。

崇杓同志近年专心致力于生物固氮的研究,他所涉及的领域很广,从固氮酶铁蛋白的生物化学特性,到多种固氮基因的分子克隆、序列测定及表达调控,对固氮作用的生物化学及分子生物学进行了大量基础研究。此外,他对生物固氮在农业生产中的应用给予了足够的重视,他对粪产碱菌与非豆科作物的联合固氮作用进行了深入探讨,从粪产碱菌固氮作用的生理学到它与水稻联合固氮的田间试验进行了大量研究,对提高水稻产量有良好效果。他还开展了豆科植物共生固氮的研究,发表了多篇论文。在提高生物固氮研究技术方面他结合我国核农学的发展,开展同位素示踪及质谱等技术,对我国生物固氮的研究方法提出多项改进。崇杓同志在致力于科学研究过程中培养出一批从事生物固氮的青年科研人员,他们绝大多数都获得了博士或硕士学位,在科研工作中正发挥重要作用。

本书收集了尤崇杓教授先后发表的有关生物固氮、生物化学和遗传学的研究论文五十余篇,这些论文代表了他对生物固氮研究的重要贡献,这本论文集是对尤崇杓教授辛勤从事科学研究一生的最好纪念。

阎隆飞

1995年3月

编者的话

“生物固氮”已成为当今世界上研究的重要课题。以生物固氮开辟氮肥新肥源,既可摆脱农业对化学工业氮肥的依赖,又能节约能源,培肥土壤,减少污染,维护生态平衡,还可降低生产成本。但是,本项研究的难度也很大,要靠几代人锲而不舍,努力拼搏才能实现。

进入 80 年代以来,通过世界各国研究者的不断奋斗,生物固氮研究在固氮酶学,固氮酶化学模拟,固氮分子遗传学及非豆科植物联合固氮和固氮根瘤工程等研究项目均取得不少重大进展。当前研究重点学科是固氮生物化学和分子遗传学。主攻目标一是:“化学模拟”实现常温、常压下合成氮,建立生物氮肥工厂;再一是:“非豆科植物自主固氮”,以遗传工程实现根瘤菌转移,发掘利用新固氮资源。

本文集重点也是固氮生物化学和分子遗传学研究。编著了综述和论文共 53 篇,其中绪论等共 3 篇;固氮酶生物化学共 10 篇;固氮分子遗传共 13 篇;联合固氮共 12 篇;共生固氮共 6 篇;核农学与固氮研究技术共 9 篇。凡已发表过的文章,本文集删去“提要”、“参考文献”和图、表中的英文说明,其它部分保留了原样,编者未统一改动。同时,注明该文曾原载何处,便于读者查阅。

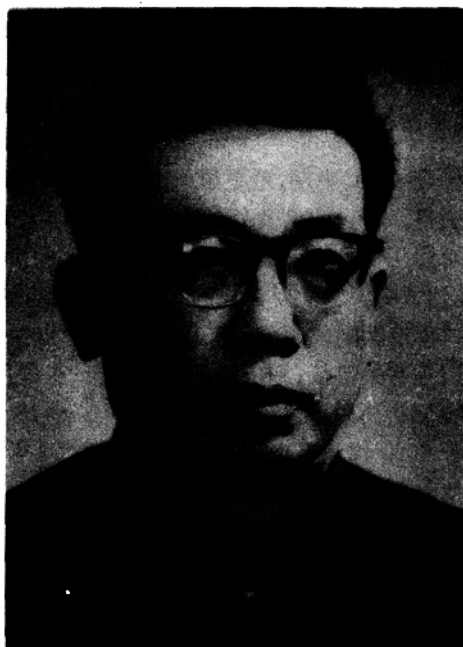
本著作者单位除中国农业科学院原子能利用研究所外,还涉及国内外许多单位,如:中国农业科学院作物品种资源研究所;福建省农业科学院;广东省微生物研究所;中国科学院上海植物生理研究所;中国科学院遗传研究所;中国水稻研究所;北京大学;浙江嘉兴市农业科学研究所及法国、巴基斯坦、荷兰等有关科研、教学单位。参加的作者有尤崇杓教授等 50 余人。在选编过程中,以学术上的代表性为主,还注意考虑各方面研究的代表性,但仍不免有选择不当或遗漏的篇章,望谅。

本专集在编著过程中,得到国家科委中国生物工程开发中心、国家高技术生物领域专家委员会的鼎力相助和中国农业科学院、作物品种资源研究所、原子能利用研究所等单位领导的支持。许多热心同仁平淑珍、程红梅、崔宗均、张海予、李聪、里景伟、李信、王耀东、姬肖兵、范传珠等为本书编辑出版作了大量细致的工作,付出了辛勤的劳动,在此向诸位表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,本著中会有缺点错误,敬请读者指正。

1995 年 3 月

尤崇杓教授生平



尤崇杓教授

(1932. 10. 26—1994. 11. 9)

尤崇杓教授系福建省福州市人,生于1932年10月26日。童年和少年时代生活在上海。解放前就投身革命活动,1949年初在上海南洋中学参加民主青联。1949年12月加入中国新民主主义青年团。1953年5月加入中国共产党。1954年北京农业大学土化系毕业后,在华北农业科学研究所理化系工作,从事晋南棉田绿肥、海湾地区盐碱土改良等研究工作。1957年被国家选送前苏联莫斯科大学生物土壤系植物生化专业攻读研究生,研究植物磷代谢,并协助导师指导三名大学生做毕业论文,此间发表论文6篇(俄文),其中两篇受到奥巴林院士的高度评价。1961年5月以优异成绩通过论文答辩,获生物学副博士(现博士)学位。1980年至1981年作为访问学者在美国凯德林(Kettering)研究所合作研究。他以过去研究铁蛋白的工作基础,解决了缺失活性中心固氮酶活性问题,受到好评。1961年至逝世前在中国农业科学院原子能利用研究所工作,历任研究室副主任,主任,所长,所级调研员。博士研究生导师。

尤教授的科学业绩是多方面的,他多次主持国家级科研项目,获多项科技奖励;担任过多种重要学术机构职务,成功地组织、参与过国内外各种学术交流活动和组织协调工作;培养了硕士、博士研究生共20多人(次),多已成为国内外许多重要实验室的骨干力量或学术带头人。因此,他于1991年获国务院首次颁发“为我国科学事业作出突出贡献的专家”荣誉证书。

研究成果丰硕,满园桃李红艳,使尤崇杓教授成为享誉国内外的知名专家学者。他既有典型的我国50年代知识分子所具有的政治品格,对我国科学事业的发展具有强烈的责任心和使命感,无私无畏,坚韧不拔,即使在逆境下也不放弃事业上拼搏,同时又具有90年代专

家学者应具有的业务素质,知识结构和时代个性。他知识渊博,思路敏捷,学术造诣深,勇于求索创新,善于实践开拓。因此在整理总结他留给人们的科学遗产的同时,回顾,思考一下他的科学生涯历程,跋涉过的足迹,无疑会给人以更多的启迪。

一、发展核农学事业尽心竭力

60年代初、中期,他在国内率先开展并完成了 ^{15}N 和 ^{10}B 质谱分析研究,建立了一套生物样品制备、分离、转化及分析技术。1962年在没有外援的情况下,团结全组同志,共同努力,仅用短短几个月就完成 ^{15}N 和 ^{10}B 质谱分析仪的安装调试工作。还设计了 ^{15}N 的气体制样系统,受到了中国农业科学院的嘉奖。1964年完成了“生物样品 ^{15}N 质谱分析”,这是国内首次完成的稳定性同位素分析工作,为开展稳定性同位素分析工作创造了条件。这一方法还推广到全国各有关单位:中国科学院林土所、土壤所、西北水土保持所,吉林大学,中国农业科学院土壤肥料所及湖北、四川、辽宁、福建等10多个单位都是在他们的培训后建立这种方法的。于80年代又建立了 ^{13}C 质谱技术和 ^{10}B 用于测定固氮生物分布的技术。

他为发展我国核农学研究,在担任中国核学会;中国原子能农学会;原子能所所长等领导期间,认真贯彻党和上级的方针、政策,积极探索核农学事业的改革、开拓新路。曾写出有关核农学研究的历史回顾、现状剖析及展望建议等三部分上万字的改革方案。他带领一班人,团结同志,勤勤恳恳,兢兢业业,做了大量的艰苦细致的工作,为发展我国核农学事业尽心竭力,得到核农学界的肯定、尊重和赞誉。(见讣告“尤崇杓同志病逝”《核农学报》1994.8卷.4期。)

二、研究生物固氮贡献卓越

“生物固氮”是国内外生物学界研究的重要课题,而且受到生物学家们越来越多的重视。尤教授在这领域做过多方面、系统性的研究,贡献卓越。在国家(863)高新技术研究计划、国家攻关计划、国家攀登计划、国家自然科学基金以及中—法合作先进计划、中—欧共体及国际原子能机构等合作计划中,他均主持并承担有重要课题。

他对固氮酶铁蛋白的结构与功能的研究为国内外领先。在国内率先建立了能系统研究铁蛋白(电子活化部分)的实验室。取材棕色固氮菌(*Azotobacter vinelandii*),对其铁蛋白分离、纯化及其与 Mg-ATP 络合所产生的构型变化,热力学及动力学方面及其在固氮链中电子传递和能量转化等问题的研究,已深入到分子水平。所取得的研究成果被分别载入《化学模拟生物固氮的新里程碑》和《我国植物生理学五十年》两文中。前者,蔡启瑞教授评价他的工作是“可喜的进展”1979,《化学通报》(5),22。后者,殷宏章教授评价说:“中国原子能所尤崇杓等在铁蛋白功能研究中做了许多工作。”1984,《植物生理学通讯》(1),22。显然,他在固氮酶及固氮生化研究方面一直跻身于领先行列。

他在固氮生物资源开拓利用上也达国际先进水平。水稻田中粪产碱菌(*Alcaligenes faecalis*)是我国最先发现。尤崇杓等通过采用新技术测试对它的特性及其与水稻的联合固氮作用,作出科学阐明。1992年他赴美国威斯康辛参加中美两国固氮会议,在大会上报告了他们与广东省微生物研究所合作研究的“粪产碱菌A-15与水稻细菌的联合共生固氮作用”的论文后,引起与会代表的极大兴趣。W. E. Newton认为:应用 ^{15}N 等研究固氮非常好;R. H. Burris认为:A15是一很有希望的菌种;H. J. Evans和L. E. Monterson认为:可能是一种氮

细菌,很有希望。尤崇杓等在上述基础上,通过坚持同国内外合作,将研究深入到更高层次。10多年来,为加深对联固氮的 *nif* 和 *hup* 基因作用机理的认识,他构建了粪产碱菌基因文库。他独具匠心,应用多种技术首先证明粪产碱菌能进入水稻根系细胞内,并在其中生长和固氮,为其菌在生产实践上的利用,提供了有力的科学依据。并据此采用现代基因工程技术构建了耐氨工程菌株,通过实验证明该工程菌株是适合我国稻区应用的耐氨固氮菌,能增强水稻根际的固氮活性,补充水稻生长的氮源。现进行大田示范实验。接菌后的水稻可获得相当于每亩施 2 公斤纯氮的增产效益。在利用遗传工程菌的同时,出于科学家的责任感,他也非常关心工程菌的安全性问题。为此,他又率先与北京大学生物系合作,开展有关转基因固氮微生物大田释放风险评价及生态学研究的课题,以便为开拓利用我国丰富的固氮资源提供全面的理论依据。

尤教授在生物固氮研究领域中的贡献,可用中国科学院上海生化研究所,《生物固氮》攀登项目首席专家洪国藩教授在唁电中的话加以概括,即:“尤教授是杰出的科学家,为我国的生物固氮研究作出卓越的贡献,他的不幸逝世是我国固氮研究领域的重大损失。”

三、生物学界杰出的学术活动者

作为一名有真知卓见的科学家,尤教授深知学术活动对推进科学事业发展的重要性,因而他受到生物学界的格外推崇,他相继担任:国际生物科学联合会中国委员会(CCIUBS)委员、副秘书长;亚洲生物学网理事;农业新技术组副组长;中国农业科学院第二届学术委员会常委,新技术组组长;国际水稻研究所水稻固氮项目顾问(1985);国家科委农业生物组成员;农业部第一届生物技术专家顾问组成员;中国生化学会农业生化委员会副主任、主任;北京生化学会理事;中国仪器仪表农学会副理事长;中国农业生物技术学会理事;北京第三届科协委员;中国核学会理事;中国原子能农学会第三届常务副理事长;《植物生理学报》编委;《原子能农业译丛》主编;《核农学报》常务副主编、副主编;《农业生物技术学报》常务编委;《生物化学杂志》编委;国家科委和中国科学院固氮协作领导小组副组长和成员;国家发明奖农业组评委;中国科协青年奖生物组评委;“863”生物技术领域专家委员会委员;中国—欧共体生物技术联合中心顾问等职务。从上述所列职务,不难想象,有多少社会活动需要他做。对此,他从不只挂虚名,对每一机构委托的每一项学术活动,都以高度负责的精神积极认真地去完成,而且总是事必躬亲,追求活动的效果和影响。对此,他受到了国内外学术界和国家科委等管理部门的一致好评和广泛赞誉。现远在土耳其工作的严绍颐教授,在慰问信中这样追忆他:有幸与崇杓教授相识并共同为“CCIUBS”服务一段时间,为他在工作上的认真、负责,孜孜不倦的精神及待人接物之友好、热情和亲切,十分崇敬。

科学不分国界,为扩大我国学术成就的国际影响,提高我国学术地位,并及时掌握国际学术动态的最新发展趋势,尤教授十分重视国际合作和学术交流活动。据不完全统计,近十年来,他共出访过欧、亚、美、澳四大洲近 20 个国家,从事有关合作研究、学术交流、业务考察或组织学术活动达 30 次以上。他参加国际合作等活动,总是有的放矢,赴会时常慕名被邀,享誉而归,利用他在学术上和同行中的声望,为他所在研究所、实验室,甚至国内兄弟单位,开拓合作渠道,吸引外资、外智。这对有关研究工作起到缩短研究周期,提高研究水平的作用。

1994 年 11 月 12 日在美国召开第三届农业生物技术安全研讨会,会议特意出资邀请他在大会上作:“田间释放联合固氮遗传工程菌株与风险评价”的学术报告。他赴美的机票、护

照、签证等均安放在他书桌上。但不幸于11月9日与世长辞。这一不幸消息引起30多个国家250余位与会代表的深切悼念。当大会发言进行到他发言时,大会宣布全体起立,默哀2分钟,表达了他尊重、惋惜和悼念之情。

四、不遗余力培养年青研究人才

一项有生命力的科学事业,常常不是某个人或一代人能完成的。尤教授深知其理,所以他甘为人梯,十分重视并致力于人才培养工作。尤其悉心指导和培养研究生和青年科技工作者。为培养出合格的研究生,他总是从阅读文献、调研国内外动态、选定课题、制定实验方案、参加部分试验、分析试验结果到论文撰写均一一指导。为节省学生的时间,有时他甚至利用业余时间,帮他们用计算机绘制图表、打字、复印材料,真心实意地甘做他们的孺子牛。就这样他为农业科研战线培养了一批又一批具有高学术水平和业务能力出众的博士和硕士研究生共20多人(次)。他们在国内外各自的研究岗位上发挥着重要作用(见附表)。他不幸的逝世,有那么多显赫而普通的人为他送行,以纷纭的雨泪肯定他存在的价值,惋惜他逝去的匆忙。在北京的学生泣不成声,远在英、美、爱尔兰等地的均发来唁电、敬献花环。定于北京时间1994年11月15日下午3时向他的遗体告别,远在美国的苏金博士得知后,他于同一时间,15日凌晨2时,在大洋彼岸遥望东方,默哀5分钟,表示他对导师永久的怀念。

他为人师表,一生勤奋好学,真是做到老,学到老。他兴趣广泛,有强烈的求知欲。在一本德文业务书中,他有一座右铭:“锲而不舍,持之以恒”,说明他刻苦学习的精神。在逆境中也克服种种困难,坚持学习。“文革”期间,被批斗后,还偷偷看书,自学英文。功夫不负有心人,改革开放后,他成为最早一批有条件到美国进行深造研究的访问学者,而且是这批人中较年青的一位。为了跟上时代飞速前进的步代,他善于学习各种新鲜事物,如掌握计算机、电脑技术,不要说是一个60岁的老人,即使是年青人也不是一件轻而易举的事,但他知难而上,学后使用起来已非常熟练了。他工作忙,但不放松一点时间,抓紧各种机会,更多是利用晚间,深夜才眠。

尤教授作为一位有为的专家学者,上述几方面很难概括他的全部做人业绩,再多笔墨,也有言犹未尽之感。在此,请允许笔者借他生前同事的几段文字作为结尾,并以此寄托哀思,激励自己。

惜你才,叹早逝,无计可挽留。布衣之笔,难写悼词句。相识三十有余,处事虽疏,挡不住,几分怀绪。

想那年,桔会黔中相聚,晚间会空如。人家侃山,尔锁门读书。才从书中汲取,正当大用,却逝去。花环拜汝,以敬意。

——引自原子能所楼洪章同志悼词。

作古噩耗惊传来,北望京城赋大哀。
天公不仁夺挚友,科苑无端失将才。
核农旧域建勋业,固氮新史孕胚胎。
追思几十年来事,患难与共怎忘怀。

——引自上海植生所陈因同志悼词。

尊敬的尤崇杓教授,安息吧!您的事业将由您的学生和同事继承发扬。

编者 1995年2月

尤崇杓学术活动照片



1	2
3	4
5	

1. 大学时期

2,3,4,在前苏联莫斯科大学攻读博士

5,结婚纪念,左为马缘生研究员(本书主编之一)



尤崇杓在美国凯德林研究所合作研究(1980—1981)



尤崇杓在田间观察

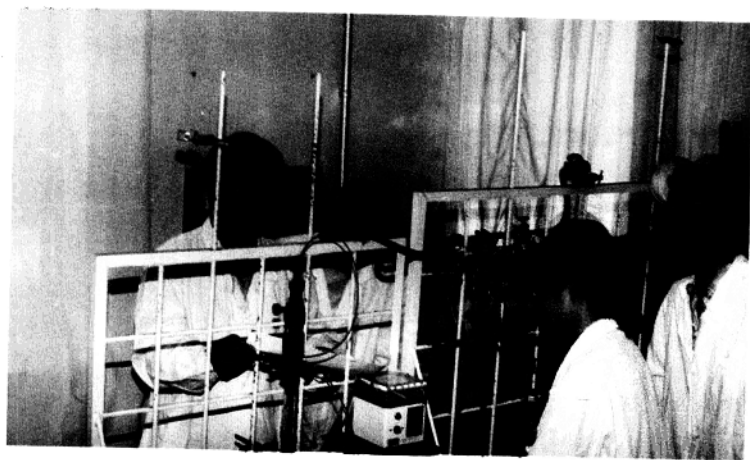


在日本访问
从左到右:尤崇杓、杉浦昌弘、丁勇(1991)



在巴基斯坦参加国际会

接待外宾后在实验室前留影
左 4 为法国 Pasteur 研究所
C. Elmerich 教授, 右 4 为尤崇杓
教授, 右 3, 右 5 为方宣钧、林敏
博士(本书主编之一)。



尤崇杓教授(左 1)
指导研究生实验

会后休憩留影：

1. 国内合作者

从左到右：宋末、丘元盛、
宋鸿遇、尤崇杓、沈炳福



2. 核农学界专家、教授

从左到右：王福钧、徐冠仁、
陈子元、尤崇杓



3. 陈章良(右)和尤崇杓(左)



4. 卢嘉锡(右)和尤崇杓(左)

目 录

序

编者的话

尤崇杓教授生平

尤崇杓学术活动照片

尤崇杓论著目录

尤崇杓学术活动年表

尤崇杓培养研究生名单

绪 论

..... 马缘生(17)

生物固氮的新途径

..... 尤崇杓(26)

固氮酶生化遗传

..... 尤崇杓(28)

一、固氮酶生物化学

棕色固氮菌固氮酶铁蛋白的提纯及其某些特性的研究(一)

..... 中国农林科学院原子能利用研究所固氮组(48)

棕色固氮菌固氮酶铁蛋白某些特性的研究(二)

..... 尤崇杓 里景伟 宋 未 李 信(52)

棕色固氮菌固氮酶铁蛋白某些特性的研究(三)

..... 尤崇杓 里景伟 宋 未 李 信(59)

棕色固氮菌固氮酶铁蛋白某些特性的研究(四)

..... 尤崇杓 王惠贤 平淑珍 高盟生(67)

棕色固氮菌固氮酶铁蛋白某些特性的研究(五)

..... 尤崇杓 王惠贤 高盟生 平淑珍(74)

棕色固氮菌产生的钼配位化合物

..... 尤崇杓 里景伟 宋 未 李 信(77)

棕色固氮菌产生的钼配位化合物 I. 分离、纯化及其特性

..... 尤崇杓 李继平(79)

棕色固氮菌产生的钼配位化合物 II. 功能的初步探讨

..... 李继平 宋 未 张大达 尤崇杓(86)

黄素氧还蛋白参与的固氮链电子传递

..... 尤崇杓 高盟生(93)

棕色固氮菌固氮链中的能量转化

..... 高盟生 尤崇杓(99)

二、固氮分子遗传

固氮酶学的进展和遗传工程

..... 尤崇杓(106)

联合固氮细菌分子遗传研究的进展

..... 高盟生 尤崇杓(109)

固氮粪产碱菌基因文库的构建及 *ntrC* 的克隆

..... 程红梅 林敏 方宣钧 尤崇杓(117)

固氮粪产碱菌中 *nif*, *ntr* 和 *gln* 基因鉴定及 *nifA* 的克隆

..... 林敏 方宣钧 尤崇杓(121)

固氮粪产碱菌铁蛋白结构基因 *nifH* 的克隆及其启动子的核苷酸序列分析

..... 张海予 林敏 方宣钧 尤崇杓 朱玉贤(126)

nifH-lacZ 融合基因在粪产碱菌中及在联合固氮条件下的表达调节

..... 林敏 方宣钧 尤崇杓(131)

水稻联合固氮菌质粒的鉴定及固氮(*nif*)基因定位

..... 王惠贤 苑红丽 尤崇杓(135)

几种水稻联合固氮菌吸氢酶(*hup*)基因的鉴定及分析

..... 苑红丽 王惠贤 尤崇杓(139)

固氮基因向水稻植物导入的途径

..... 周法永 徐瑞姬 宋未 尤崇杓(142)

Azorhizobium caulinodans ORS571 结瘤位点 5(*nod locus 5*)的鉴定

..... 高盟生 尤崇杓 K. Goethals M. Holsters(146)

Azorhizobium caulinodans ORS571 结瘤位点 5 (*nod locus 5*)5' 端上游 DNA 片段的诱导型启动子功能

..... 高盟生 尤崇杓(151)

粪产碱菌基因文库的构建及应用³²P-DNA 探针鉴定 *nifH* 基因亚克隆

..... 海伟力 尤崇杓 郑洪刚 王斌(154)

应用³²P 标记物检测 *glnA* 表达载体及转基因水稻愈伤组织中 NPT II 酶活性

..... 苏金 张雪琴 颜秋生 陈章良 尤崇杓(155)

三、联合固氮

非豆科作物联合固氮作用

..... 尤崇杓(158)

联合固氮研究的现状和展望

..... 尤崇杓(162)

根际联合固氮作用的研究进展

- 林 敏 尤崇杓(164)
- 水稻根际固氮粪产碱菌的研究
- 方宣钧 林 敏 尤崇杓(170)
- 粪产碱菌的培养及其生理特性
- 尤崇杓
- 李信 王有为 朱承志 侯景琴 莫小真 罗修和 廖金才 丘元盛(177)
- 粪产碱菌(*Alcaligenes faecalis*)与水稻幼苗的联合固氮作用
- 尤崇杓 丘元盛(183)
- 粪产碱菌(*Alcaligenes faecalis*)与水稻根的结合作用
- 尤崇杓 肖家祝 李信 周法永 王有为(187)
- 固氮粪产碱菌与宿主水稻的相互作用
- 周法永 尤崇杓(189)
- Alcaligenes*-host plant interaction(粪产碱菌与宿主植物相互作用)
- You Chongbiao
- Song Wei Lin Min Hai Weili Li Jiping and Wang Yaodong(194)
- Isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) from rice and wheat(水稻、小麦根际促植物生长细菌(PGPR)的分离与鉴定)
- Ping shuzhen You Chongbiao Malik K. A. (199)
- 水稻接种耐铵固氮工程菌株的效应
- 尤崇杓 王耀东 平淑珍 宋 未 林 敏 程 奇 刘永正 王国锋(206)
- Field release of genetic engineered associative diazotrophs and its risk assessment
(遗传工程菌株田间释放用其风险评价)
- Chongbiao You
- Min Lin Xuanjun Fang Chongren Xu ShangtongZhang Jiu Fen(210)

四、共生固氮

根瘤菌-豆科植物共生固氮的分子生物学

- R. C. Van den Bos T. M. P. Schetgens 尤崇杓 张大达 宋 未(220)
- 诱导田菁根、茎瘤菌株 *Azorhizobium caulinodans* ORS571 的早期共生作用
- 高盟生 尤崇杓(227)
- 红萍排氮过程的初步探讨
- 刘中柱 陈炳煥 魏文雄 尤崇杓 里景伟 宋 未(229)
- 氮素营养对红萍生理特性的影响 I 硝态氮的作用
- 尤崇杓 里景伟 宋 未 刘中柱 魏文雄 陈炳煥(233)
- Some aspects of rice-*Azolla* association in northern China(华北地区稻萍体系中几个问题的探讨)
- You Chongbiao Zhang Rongjun Song Wei(240)
- Evaluation of nitrogen fixation rates of soybean and species of *Rhizobia*(大豆品种和根瘤菌

共生体系的固氮效率)
..... Ping Shuzhen You Chongbiao(245)

五、核农学与固氮研究技术

核农学研究的发展与成就
..... 尤崇杓 黄 彬(253)

核技术在生物固氮研究中的应用
..... 尤崇杓 高盟生(257)

固氮研究中的¹⁵N示踪法
..... 尤崇杓(264)

生物样本中¹⁵N的质谱分析
..... 尤崇杓 李玉桂 刘东来 胡铁民 凌明德(270)

生物样本中¹⁰B的质谱分析-热离子发射法
..... 尤崇杓 李玉桂 刘东来 刘泽银 凌明德(276)

生物样本中¹⁵N示踪技术和含氮化合物的分离
..... 尤崇杓 胡铁民(280)

固氮研究中的¹³N示踪法
..... 尤崇杓(286)

测定固氮生物分布的硼α径迹法
..... 尤崇杓 肖家祝 周法永(289)

共生固氮研究中的同位素鉴定技术
..... 王志东 尤崇杓(291)