

侯光炯

土壤学论文选集

HOU GUANGJIONG

TU RANG XUE

LUN WEN XUAN JI

四川科学技术出版社

侯光炯

土壤学论文选集

HOUGUANGJIONG

TURANGXUE

LUNWENXUANJI

四川科学技术出版社

· 1990年 · 成都

特约编辑 刘夜莺

责任编辑 何 光

封面设计 朱德祥

技术设计 吕金庆

侯光炯土壤学论文选集

侯 光 炯 著

四川科学技术出版社出版发行 (成都盐道街三号)

新华书店重庆发行所经销 隆昌县印刷厂印刷

开本 787×1092毫米 1/16 印张 26.75 插页 5 字数 667千

1990年5月第1版 1990年5月第1次印刷 印数 (精装) 1—500册
(软精装) 1—3500册

ISBN 7-5364-1749-7/S·266 定 价: (精装) 15.80 元
(软精装) 12.50 元

《侯光炯土壤学论文选集》

编辑委员会

成员名单

主任委员 刘明钊

委员 (按姓氏笔划为序排列)

马俊英	王祖谦	毛炳衡	付显兰
刘夜莺	刘明钊	刘鸿仁	江育璋
吕金庆	向道骏	牟树森	宋光煜
杨 端	杨德海	余 杰	陈万铃
陈世正	张祥镜	庞邦域	林华颜
青长乐	曾觉廷	谢德体	赖守悌
蒲富永			

编 者 的 话

我国著名土壤学家、中国科学院生物地学部委员、西南农业大学土壤农化系一级教授侯光炯同志，从事土壤科学的研究、教学工作长达60余年，成绩卓著。他在漫长的治学、研究实践中，积累了丰富的理论和经验，撰写、发表了大量的科学论文和学术专著，为我国土壤科学和教育事业的发展付出了辛勤劳动，作出了卓越贡献。为了比较系统、全面地介绍他的学术成就，传播他的学术思想，以供广大读者学习、研究，我们在西南农业大学校领导的关怀下，得到了土壤农化系和校编辑出版部的支持，收集、整理和编辑、出版了这部《侯光炯土壤学论文选集》。

收入选集的文章只是作者1927~1989年间的部分重要科学论文，计40篇，约60余万字，书中插图近100幅，其中有部分论文还属首次发表。选入的文章都经过作者重新审订。选集按撰写或发表日期的先后顺序排列，尽量保持了原发表时的风貌和完整性，编者只就原稿在排印时出现的漏错进行了补正，标点符号、计量单位、数字表示按新的编排规范处理，对少数不便换算的计量单位作了注释，将繁体字、异体字改为规定的简化字，年号一律改为公历，对一些现已不常用的名词术语也作了注释。

在本选集成书过程中，郝志秀、刘庆忠等同志参加了论文收集工作，唐俊臣、丁光华和刘盛荣同志绘制了全书的插图，叶公强和黄建国同志帮助翻译了有关文稿，马俊英、江育璋、张祥镜、陈绍兰和欧宾等同志校对了全书；西南农业大学图书馆、西南师范大学图书馆、中国农科院情报研究所和中国科学院南京土壤研究所等单位大力予以协助，在此一并致谢。

由于我们水平有限，又首次承编这样的巨著，在整理、编辑等方面的失误可能不少，敬希读者批评指正。

《侯光炯土壤学论文选集》编辑委员会
1989年10月

序

刘 明 钊

侯光炯同志从30年代初起,将近半个多世纪以来,长期从事土壤学的科研和教学工作,始终坚持走土壤科学研究必须为农业生产服务的道路。在漫长的岁月里,他长期深入农村,蹲在农村,把大自然作为自己最美好、最奇妙的土壤研究室。他踏遍了祖国的大江南北,也访问过10多个国家,执着地探索土壤科学为农业服务的途径,写下了大量的研究论文和著作,为我国土壤科学的发展和农业教育事业的振兴,作出了卓越的贡献。《侯光炯土壤学论文选集》的编辑出版,具有十分重要的意义。

1935年,他代表中国土壤科学界出席了国际土壤学会,成为在国际土壤学会论坛上发言的第一位中国人。他在大会上宣读的“水稻土层次形态与生产力的关系”一文,鲜明地提出了土壤科学直接为农业服务的观点,博得了与会代表们极大的关注与兴趣。会后应邀到了苏联、瑞典、德国、法国、匈牙利、荷兰、美国等10多个国家进行访问和讲学,他有幸系统地考察了各国的土壤和农业生产发展情况。

1952年,他在《土壤学报》上发表了土壤粘韧性的研究,最先把土壤粘韧曲线作为认识土壤胶体活性的一种新方法。

他通过调查研究,搜集了大量的农业土壤第一手资料,创建了农业土壤的研究方法,提出农业土壤的新概念和新观点,为发展我国土壤学,特别是农业土壤学奠定了坚实的基础。他认为农业土壤学是把土壤学与农业生产相结合的、是总结农民生产经验、指导农业生产、为农业服务的一门科学。

1952年和1953年,他两次带领西南农学院师生,到云南西双版纳从山峻岭中寻找橡胶宜林地,继海南岛之后,为我国开辟了第二个橡胶生产基地,为打破帝国主义对新中国在橡胶方面的封锁和垄断,作出了重要的贡献。

1956~1958年,他承担了长江流域(上游)土壤资源调查与规划的国家任务,写出四川盆地土壤调查研究报告,并在第六届国际土壤学会大会上提出有关四川盆地农业土壤分区的研究论文。

1958年以后,在全国第一次土壤普查中,侯光炯教授十分重视农业土壤原位、原态的研究,提出“土壤生理性”的新概念,为他后来提出的“土壤肥力生物—热力学”新观点打下基础。他认为土壤既不是岩石碎屑一类的非生物,也不是具有细胞和器官的生物,而把土壤视为一种类生物体,是由无机物、有机物、微生物和酶组成的复合胶体。因此,随着外界环境的影响,土壤也产生有节奏的相应变化;并且具有明显的生理功能,它表现在两个方面,即代谢功能和自动调节肥力四因素—热、水、气、肥的功能。

1964年,他在第八届国际土壤学会上,宣读了“利用土壤层次研究结果鉴定土壤肥力”的论文,这篇论文明确地提出了土壤中水热运动的基本规律。

1973年,侯光炯教授带领西南农学院部分师生在四川省简阳县镇金区建立了科研基地,组织农村干部和社员参加基地科技活动,直接联系农业生产,研究农业土壤,解决当地农业生产问题。从此,他在农村长期蹲点,深受农民群众、干部的欢迎和赞扬。

1975年,他在“农民群众的生产斗争经验开辟了发展土壤科学的广阔道路”一文中,阐

述了他多年来对农业土壤的研究成果,提出土壤肥力的新概念和新理论,受到了国内外科学界的高度评价,并荣获1976年度国家重大科技成果奖。他认为土壤肥力是土壤水、热、肥、气动态的周期性时变化和植物生理作用周期性时变化之间相互协调的程度。土壤肥力的实质是土壤的生命力,是土壤持久稳定地满足植物对水分、养分要求的能力,是土壤具有自动调节机制、抗拒外界不良环境的能力。他提出土壤肥力“生物—热力学”观点的核心内容,认为土壤肥力形成的内因是土壤复合胶体,外因是以太阳辐射热为主导因素。土壤肥力的综合性表征,是土壤中热、水动态季节性变化稳、匀、足、适的程度。土壤肥力的理论,反映了土壤与气候环境、植被、耕作措施之间错综复杂的关系,并把土壤中热、水、肥、气等因素与土壤复合胶体的功能紧密结合起来。在土壤肥力的实质方面,既重视土壤复合胶体的腐殖质、微生物和微结构的稳定状况,以内“三稳”反映引起土壤生理功能变异的物质基础;又重视近地面大气层、植被层、土壤层水热动态的情况,以外“三稳”反映引起土壤水热运动变化的外部条件。外部条件通过内因而起作用。明确提出土壤肥力与高产的关系,都受着大地水热动态的支配,揭示了土壤、气候、作物、耕作之间矛盾统一的规律。

1980年,侯光炯教授在四川省宜宾市长宁县相岭区建立了“农业综合研究基点”,开始了“水田自然免耕技术”的研究。经过试验研究,提出了水田自然免耕的新概念,认为左右植物生长势和产量的根本原因,是土壤中水热动态稳、匀、足、适的程度。是年,他主编了《中国农业土壤概论》(农业出版社出版)。

1981~1983年,水田自然免耕技术在宜宾地区示范推广,获得了大面积粮食增产。1984年,在四川省和全国部分省、市、地区示范推广,至今累计已推广1500万亩,增产幅度10~30%。该项研究成果,荣获1986年四川省科学技术进步一等奖和1987年全国科技进步三等奖。

继水田自然免耕技术在南方水田推广之后,侯光炯教授又把注意力集中到占我国耕地面积3/4的旱地土壤上。他现在正在研究旱地自然免耕技术,经过3年试验,已经显示出良好的效果。1986年7月,他曾专题论述“自然免耕的一些重要机理和技术要则”,进一步精辟地阐明了土壤中水热运动的基本规律,是在毛管水全面控制的情况下,大气温度通过影响土壤温度和吸水势的日周期变化,强有力地支配着土壤的含水量和水分运动方式,实质上是热支配着水。因此,在这一时期内的水分运动,从热力学观点看来,完全是有序的;相反,如果控制土壤水热条件的主力是自由水,而不是毛管水,那么自由水的热容量就将控制土壤温度变化,则是水支配热。在这一时期中,土体内水的运动是无序的。它的主要表现是,太阳辐射热的日周期变化,不容易直接影响着土壤温度,因而水热动态的日周期变化是不规则的。在此理论基础上,他提出由上升毛管水控制土体的优化水热动态,用以奠定土壤持续稳温、稳水、稳气、稳肥、稳构的理论基础。在技术上采取垄作加连续植被覆盖的办法保证土不离根,最大限度地改地面蒸发水为叶面蒸腾水,使土壤长期处于毛管水浸润状态,保证土壤干湿适度,生态环境良好,庄稼就能获得高产稳产,并使土壤进入长期免耕状态。

侯光炯教授几十年如一日,总是力求把土壤学和农业生产结合起来,一直坚持土壤科学必须为农业生产服务的方向。我们知道,人类自有稼穡以来,农事活动就从来没有离开过土壤,农业土壤的研究,是顺乎自然,合乎科学的。阅读《侯光炯土壤学论文选集》真是文如其人。他的学术思想、科研精神、朴实作风和服务态度,都是很值得我们学习的。在侯光炯教授的倡导下,我国农业土壤学有了迅速的发展,农业土壤的研究,也取得了许多重大研究成果。在社会主义建设中,农业是基础,土壤又是农业的基础,可以预见农业土壤学必将有更大的发展。

1989年7月1日于北碚

目 录

土壤之盐基代换作用 (1927年)	1
中国农业界施用肥料之实况与磷肥荒之补救 (1928年)	12
江西省南昌地区潜育性红壤水稻土肥力的初步研究 (1935年)	22
吾国红壤区域垦荒调查暂行办法 (1935年)	42
河北省定县土壤调查报告 (1935年)	46
中国北部及西北部之土壤 (1935年)	79
水稻土土层分类及命名概则 (1938年)	102
土壤中有效态磷酸原藏量及其天然供给率之估计方法 (1939年)	106
四川重庆区土壤概述 (1941年)	113
甘肃省东南部黄土之分布利用与管理 (1944年)	121
甘肃东南部各种钙质幼年土之特性与其分类 (1945年)	145
北碚土壤志 (1945年)	158
嘉定层残积土之特性 (1949年)	175
土壤的粘韧率及粘韧曲线 (1952年)	179
四川盆地内紫色土的分类与分区 (1956年)	191
水稻土肥力研究中的几个问题 (1957年)	200
农业土壤生理性 (1960年)	204
介绍农地合理耕作措施的短期鉴定法(简称“土壤肥力短期鉴定法”)(1960年)	224
中国农业土壤的分类体系 (1963年)	231

土壤胶体性质日变化及其在肥力上的意义 (1963年)	248
油橄榄青枯病发生规律的调查 (摘要) (1970年)	261
大田作物施用“九二〇”效果的研究 (1971年)	263
大窝耕作法的研究 (1975年)	275
农民群众的生产斗争经验开辟了发展土壤科学的广阔道路 (1975年)	278
土壤普查的理论与实践 (1978年)	286
我省农业现代化应当在全力阻止恶性循环中起步 (1980年)	316
铁清公社土壤普查中农业土壤肥力的鉴定方法 (1980年)	319
水稻土生理分类刍议 (1981年)	328
自然免耕理论在水稻和小麦生产上的运用 (1982年)	333
紫色土肥力研究五十年 (1983年)	340
大力推行“自然免耕”技术在经济上和科学上的重大意义 (1984年)	347
八十抒怀——对发展中国土壤科学的一点想法 (1984年)	355
我是怎样研究发现自然免耕的一些重要机理和技术要则的 (1986年)	359
半旱式小麦耕作中的一个重要关键——免耕 (1986年)	368
水田自然免耕技术可获高产 (1986年)	374
水田自然免耕技术综合研究报告 (1987年)	377
论中国式的水土保持自然免耕法 (1987年)	394
论覆盖和等高垄作相结合收到水土保持和免灌高产效益 (1988年)	404
有机肥料配方施肥技术的初步研究 (1989年)	410
改进土壤渗透性能 提高水土保持效益 (1989年)	416

土壤之盐基代换作用

(一) 引言

19世纪中叶，英国皇家农学会报上载着一篇论文，题为“论土壤吸收肥料之能力”。著者Way氏引据他所做的一个试验，以为该文立论的张本。当时的人对于这类题面平凡的文字，初未加以注意，更未加以研究，哪里料到数10年后为土壤研究别开一捷径者，就根基于这一个试验呢？这试验说来很是简单，就是：某种中性盐类溶液与土壤一经混和，土液成分便生出变化；盐液中盐基离子和土壤中盐基离子，恰好把位置互相交换，而两方面的酸离子，依然不变。Way氏结果，等到后来经人证实，才渐渐有人注意。又经多数学者的细心推究，发见其与土壤各方面都有关系，于是盐基代换（base exchange）始一跃而为土壤学上重要问题。

土壤中盐基代换的研究，在最近15年间，始粗见眉目。研究最尽力的人，可推俄国的Gedroiz氏，荷兰的Hissink氏，美国的Kelley、Parker、Mattson诸氏；首倡基业的功臣，当然非Way氏莫属了。不过研究虽久，确实的成绩，还很少见；论文虽多，系统的叙述，亦如晨星。一半固是时间短促的关系，一半也是因为此种作用的情形太复杂，探理的结论太分歧，以致普通土壤学参考书或教科书内，至今尚无其相当的位置，可算是一种遗憾！此文内容浅陋，虽未敢云尽其系统，可是为补此遗憾起见，不得不为抛砖引玉之计尔！

(二) 土壤中代换性盐基之组成及存在

“土壤中盐基为加入盐类之盐基所代换”，称为“盐基代换”。可是盐基代换的作用状况，究不如其定义之简单。先就土壤盐基方面着想，是否土壤中盐基都可以代换？代换性盐基的成分和性质是怎样？这种基本观念，就应得明白透彻。

自然，土壤中盐基只有少量是可被代换的。纵是含有代换性盐基的化合物，其代换性之有效无效，也是不能一定。大概说起来，土壤中含代换性盐基的化合物有三种：(1)长石、云母、角闪石等之结晶形矿物；(2)碳酸钙、磷酸钙等不溶性盐类；(3)非晶形之有机物与无机物。三者之中，仅第三种可起代换作用。(1)、(2)两种，因溶度的限制，代换性很弱，只因其未全消灭，所以仍得与非代换性盐基物分别罢了，第三种化合物的成分，美Kelley氏谓系硅铝酸或有机酸的复盐。其所含代换性盐基百分中，钙约占75~90%，镁约占10~15%，钾、钠均为微量，Daniel Hall氏分析欧洲土壤平均结果是如此。钙、镁占可换性盐基之大部，吾想亚洲土壤，决不会是例外（据Kelley氏言，美洲土壤分析平均结果，镁之含量稍多，大体并无差异）。惟钙、镁、钾、钠虽同属代换性盐基，而代换力则钙、镁强于钾、钠，这并非前者存量较多的缘故。我们如以铵、钡等不相干的盐基，逐出钙、镁、钾、钠，再来分别比较重行吸收钙、钾的能力，孰强孰弱，我们也可以发见钙之代换力较强。所以钙量特多者，正是代换力强盛的结果，而非代换力强盛的原因。但是有人要问，普通土壤固定钾肥之力，何以反强于钙呢？这也不难回答，土壤中原有多量的代换性钙、钾可以尽量代其位置，钙却不能篡代其同宗，自然无所谓代换了。从上面看来，我们可以明白土壤中起代换作用的

盐基是什么,也可推测代换力最强盛的盐基是哪一种,现在便须讨论其存在。

土壤中代换性盐基,几全部含于胶质中。学者对此意见,殊为一致。如Way氏谓代换作用,常见于土壤的粘质部分,但所含代换性物的总量,不必比例于粘性土粒之百分率。Parker和Pate二氏亦谓吸水率及浸湿热(heat of wetting,属土壤胶质的一种特性)具与代换性盐基之存量有关,据二氏以各种土壤试验之结果,有如表1。

表1

土 壤	代换性盐基量		土中胶质之总量*		
	在胶质中者 (mgm equiv)	在土壤中者 (mgm equiv)	代换性盐 基法求得 者(%)	吸水法 求得者 (%)	浸湿热法 求得者 (%)
砂质壤土	8.09	0.51	6.3	5.8	7.4
细砂质壤土	12.75	0.70	5.5	6.1	6.1
细壤土	10.65	2.84	26.6	17.2	33.5
砂质粘土	52.75	20.51	38.9	37.2	36.0
粘土	50.20	37.36	74.4	87.2	72.2

*计算土中胶质质量之法甚多,要以其所呈显某种性质之程度为标准。盐基代换,浸湿热,吸水率,皆胶质所呈之特性也,计算公式可以一普通式示之:

$$\text{土壤胶质百分率} = \frac{\text{土壤胶质呈现某种特性的程度}}{\text{土壤呈现某种特性的程度}} \times 100$$

表2

土 壤	所含代换性盐基之比较量				所含胶质之比较量			
	土壤	S ₁	S ₂	胶质	土壤	S ₁	S ₂	胶质
细壤土	25.4	8.2	40.7	100	21.4	8.4	36.1	100
粘壤土	36.3	10.5	62.3	100	37.2	12.2	64.7	100
粘 土	35.1	6.0	57.9	100	34.6	8.8	54.7	100

1.代换性盐基种类不同,足以影响于胶质的性质 换句话说,就是不可以单靠胶质所呈的性质,来决定胶质和代换性盐基的存量。Gedroiz氏有言:“土壤之物理性质,大半须依代换性盐基的种类而变。”可为明证。为坚固阅者信仰计,更引Parker氏之实验于次:Parker氏以下列同浓度(N/l)之各种盐基溶液(概用盐化物),分别处理粘土,使之饱和,然后以水洗去盐酸基,放置干燥,以测其浸湿热及吸水率,得结果如表3。

表3

盐 基	钠	钾	铵	钡	钙	镁	未经处理之土壤
浸湿热(比较数)	69.6	53.7	62.2	89.8	95.0	95.4	100.0
吸水率(比较数)	136.6	88.5	74.8	103.0	106.6	103.2	100.0

①英制长度单位:1英尺=0.3048m。一编者注

由表1可见不论哪种土壤,胶质中代换性盐基的含量,总管要比土壤高。又可见代换性盐基之含量,实随土壤胶质含量,为同一之增减,不过不是正确的比例罢了。二氏继又以土壤别为三级(separates),一一试验,复得结果如表2。其中S₁代表第一级,乃为1英尺①深之土壤分散液(suspension,即土壤加水而成之混合土液)一小时内沉积之土粒,S₂代表第二级,系上项土液于分离S₁后,以低速度离心力分离而得之土粒。分离S₂后,更以高速度离心力分离而得之土粒,而为胶质。

由表2可知土粒愈细,则胶质代换性盐基之量亦愈多,代换性盐基之存在,有了以上的指示,可算大体解决了,可是还有两点,应得特别加以注意。

由表3可见钙、镁、钡等二价盐基对于土壤理性之影响甚小，于吸水率且可使之加增，而单价盐基则除钠外，皆可劣变土壤之理性，何以用钾、铵饱和土壤，能减浸湿热40%，吸水率25%，又何以在同一情形下，钠能减少浸湿热而加增吸水率，苟能解答此种问题，对于土性研究，一定还有进步的裨益。

2. 土壤胶质成分差异得很利害，代换性盐基的含量，应该和胶质 $\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$ (普通简称为 $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$) 之值成比例 譬如假定两种土壤胶质含 SiO_2 的百分数相等，那末含代换性盐基多的那一种，必定有较低的 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 之百分率； $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ 率自然变高了，至于胶质含量不同的土壤，代换性盐基量自然随之为系数的增减，前面已提过了，总前所说的看起来，定量土中胶质，不论用哪一方法（浸湿热法，吸水法，代换性盐基法以及最近宣布的 suction force 法）实在都有同一的缺点，同一受了代换性盐基种类的影响，然则代换性盐基的重要，于此亦可见一斑了。

(三) 盐基代换作用之理解及性质

盐基代换作用的发生，可从以下两方面解释：

(1) 化学反应 Anderegg氏谓盐基代换作用，纯粹是一种化学反应。设知土壤中代换性盐基的总量和浓度，便可依质量作用律推测其反应的结果。据此理论，他定出以下几个基本公式。

假定含有复电层 (electrical double layer) 离子的一层土液，紧接土粒表面者，称为溶液 I；其他大部分土液，称为溶液 II，更假定所用土壤，为除去代换性盐基而曾处以氯化钠之粘土，则由平衡理论，得一公式如下：

$$\frac{(\text{Na}^+) \text{ I}}{(\text{Na}^+) \text{ II}} = \frac{(\text{H}^+) \text{ I}}{(\text{H}^+) \text{ II}} = \frac{(\text{Cl}^-) \text{ II}}{(\text{Cl}^-) \text{ I}}$$

或
$$\frac{(\text{Na}^+) \text{ I}}{(\text{H}^+) \text{ I}} = \frac{(\text{Na}^+) \text{ II}}{(\text{H}^+) \text{ II}} \dots\dots\dots (1)$$

土粒表面一部硅铝酸 (HC)，电解而得氢离子，可为钠所代，成为 NaC。



依此两式之平衡式推得 (C^-) 值如下：

$$(\text{C}^-) = \frac{(\text{HC})}{(\text{H}^+) \text{ I}} \text{KH} = \frac{(\text{NaC}) \text{KNa}}{(\text{Na}^+) \text{ I}}$$

移换上式而与(1)式相较，则得下式：

$$\frac{(\text{Na}^+) \text{ II}}{(\text{H}^+) \text{ II}} = \frac{(\text{NaC}) \text{KNa}}{(\text{HC}) \text{KH}}$$

$$\text{或} \quad \frac{(\text{Na}^+) \text{ II}}{(\text{H}^+) \text{ II}} = \frac{(\text{HC})}{(\text{NaC})} = \frac{\text{KNa}}{\text{KH}} = K_1 \dots \dots \dots (2)$$

以上二式可示溶液中盐基相互之关系，和溶液中盐基与土壤之关系，这是就一个氢原子被代换时言之，若同时有多数氢原子被代换时， K_2 、 K_3 未曾不可以同式表示。例如以钙代钠，则公式如下：

$$\frac{(\text{Ca}^{++}) \text{ II}}{(\text{H}^+)^2 \text{ II}} = \frac{(\text{HC})^2}{(\text{CaC}_2)} = \frac{\text{KCa}}{K_2 \text{H}} = K_2 \dots \dots \dots (3)$$

当粘土带离子之电量愈增，自中性液中代换一个以上之氢原子，亦愈不易，因此常数须依下式变化：

$$K_2 = K_1^{(1+2)} \quad K_3 = K_2^{(1+2+3)}$$

反之，盐基之碱性溶液入于土中时，则所生之水分可加增能力，故氢原子代换之量亦可加多。

(2) 电气现象 Mattson氏谓土壤胶质之凝吸力式盐基代换力，概依胶质动性之强弱而变。而胶质的动性，又须因所遇电解物之种类数量及胶质之成分而定，所以研究土壤胶质的动电性，就是解决盐基代换作用的终南捷径。因为如此，所以我把他的研究结果，特为详述如下，以资观摩。

① 土粒（大概指最小的土粒，即胶质是）何以有动电性（electrokinetic behavior）？土粒所接触的溶液中，电荷相异的两种离子，常不能同等地为土粒凝吸，一种离子的凝吸度，每强于他种，这种不均的分布，可以使紧接土粒表面的一层溶液，生成Helmholtz复电层（但由正负离子数之积为常数看起来，那么此溶液层与含正负离子数相等之外部溶液间，亦必有一种平衡——Donnan平衡）。所以酿成复电层的缘故，也很简单，离子因凝吸力不等，有紧紧凝吸于土粒表面者，有未被凝吸而向外弥散者，后者静电力微弱，游散不能达远，爱在距土粒不远处，成一外电层；前者当然就是内电层，复电层既已组成，则因内外电层的电荷相反，生电位差，因此土粒遂呈动电性了。

② 胶质动电性与其盐基代换力之关系 土壤胶质的动电性，常和其盐基代换力成正比，虽无直接的证明，但是可用methylene blue作间接的测验。其法可分以下数步行之：

A. 盐基代换力之测定①——Mattson法。——以500c.c.②N/1之中性氯化钙液，淋过1克的土壤胶质，使土壤为钙所饱和。至此胶质中代换性盐基，遂只有钙一种，乃以热过之N/1NH₄Cl液淋过，使所有之钙，一齐游离，由溶液中游离钙量，可知土中代换性盐基的总量，以mgm.equiv.表之。设于所用氯化钙液和洗涤水中，都通以二氧化碳，使呈pH4.4之酸性，那又可知酸性土之盐基代换力了。

B. 土壤胶质动电性之测定 取依子项所得含钙之土壤胶质约10mgm，分散于25c.c.之水中，更混入methylene blue染料溶液25c.c.，静置24小时后，视其电泳之状况。在试验中，应常常变更染料溶液之浓度，一到胶质质点在电力场内停止活动时，便为胶质电荷已达中和之证。此时methylene blue之浓度，即可为胶质动电性强弱的表示。所可异者，此数常与

①另有Kelley及Brown二氏之法亦易实行，并录于此。法以氯化铵溶液，使土壤或胶质吸收饱和，洗去其过量，立以之与MgO混合蒸馏。定蒸馏液中所吸铵离子之量，即可知代换性盐基之量。

②毫升(ml)的旧称，1c.c.=1ml。——编者注

子项所得代换性盐基总量，恰巧成为比例，逐使代换性盐基的测定，得一最可靠的方法，这是什么理由呢？要解释明白，先须知道胶质带的是什么电荷。胶质因盐基代换而生成的化合物，性质并不安定。此种化合物电离时，阳性的盐基离子弥散而成外电层，故胶质所带之电荷，常属阴电，这种盐基离子被胶质凝吸之力，远不如染料中阳离子，所以加入methylene blue时，后者就代了前者的位置。但那时生成之化合物，却无电离的能力，所以又使土粒的阴电，一点一点减少下去，等到methylene blue的代换完全时，阴电便完全消灭。然则胶质动电性的消灭岂不就是染料阳离子和代换性盐基等量交换的结果么？观下节Mattson氏的实验结果，益可明二者相互的关系。

C. 胶质成分对于其动电性之影响 以前曾声称代换性盐基量比例胶质之 $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ 率；上节又证明胶质动电性对代换性盐基量成正比。只要作数学的推算，便可知胶质成分必与其动电性有密切的关系了。Mattson氏实验结果，乃适符此理论，阅表4即知。

表4中methylene blue之需量，几与代换性盐基及 $\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$ 率全成正比。各种土壤胶质成分的差异，从表上更可以明白看出。

D. 电解物的成分，浓度对于胶质动电性的影响 土壤胶质所带阴电度的大小，除去受胶质成分的影响外，兼受电解物的影响。电解物不特可以改变阴电度之大小，还可左右其电荷。从这点性质，土壤学家便把土中电解物分为三类：(a)在低浓度时增进土粒负电度的电解物，例如碱金属之氢氧化物、碳酸盐、磷酸盐、铁卤盐等是；(b)在低浓度时减少土粒负电度的电解物，如碱土金属之化合物皆是；(c)使土粒改呈正性电荷之电解物，如铁及铝之盐类、盐基性染料、酸性胶及蛋白质等是。这种简单分类，对于施肥和土壤改良上，实在很有利裨益，我们切莫忽视啊！

现在就盐基代换作用的特点，略为申述如下：

1. 在淋透状态下有完成代换交互代换的可能 凡土壤中渗透水不绝自表土窜入下层者，谓之淋透(leaching)。在淋透状态下，土壤养分不断流失，盐基代换，不易常保其平衡。因反应生成物质渐渐减少之故，而反应物质遂得尽归变化，代换作用，遂有完成之可能，不过代换作用是无止境的，这两种盐基的代换反应完成，所留的一种，可立刻和他种盐基再起代换反应，连绵轮替，无时或已。例如土液中之钙，代换土中之钾，因淋透而完成其反应了，但土液中他种盐基达相当的浓度时，钙之位置，转瞬间又见易主了。这种交互代换现象，即不在淋透状况下，也是有的，并且在一种代换反应未达完成以前，也可发生；只看这种盐基的代换力和浓度是什么情形罢了。实际上土壤的淋透状态，断不能持久。而植物的吸收，施肥和土壤管理之不善，可溶成分固定后溶度之变化，都足以影响于代换作用的进行，使交互的代换反应，有时入于间断之势。

2. 盐基代换作用直接受质量作用的支配 盐基代换作用进行之速度，比例于溶液之浓度。所以前述Anderegg氏所定几个公式，确有应用的价值。除出因溶液容易，利用最初接触时间以行代换作用者外，凡溶度小溶解难之物质，差不多没有代换作用可见。例如施碳酸钙或碳酸镁之不易游离土中盐基，即其一例。

(四) 盐基代换作用对于各方面之影响

1. 代换性盐基对于土中磷酸盐含量之影响 据Way氏最初的发见, 酸基是和盐基代换作用无关的, 但是后来研究, 知道间接的影响, 却也很大。因代换性盐基种类不同, 而土液中磷酸基之浓度亦异。如代换性盐基为钙, 则与磷酸基结合成磷酸钙。土中磷酸离子浓度, 是时即视磷酸钙之溶度而定 [$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 溶度最小, $\text{CaH}_4(\text{PO}_4)_2$ 溶度最大, $\text{Ca}_2\text{H}_2(\text{PO}_4)_2$ 介于二者之间]。如代换性盐基为钠, 则磷酸盐溶解后, 立可与钠化合, 生成可溶性之 Na_3PO_4 , 因之磷酸离子的浓度, 也就比上者为高了。

2. 代换性盐基对于一般酸离子固定之影响 酸离子大多易结成可溶性物, 固定甚难。酸基中惟有脩酸、枸橼酸、酒石酸、硫酸、磷酸等数种有钙盐基固定的希望。但溶液如作酸性或其浓度小于钙盐化合物之浓度者, 此种已固定的化合物, 仍有还原之可能。

3. 代换性盐基相互的影响 McIntire氏根据10余年研究之经验, 称钙肥可防土中碳酸镁盐之损失, 而镁肥亦可防土中碳酸钙盐的损失。所以相互防止的理由, 是因加入之物, 可以代土中原存的矿盐, 行盐基代换作用。土中原有之可换性盐基, 因之就可免于流失了。但是所加入之肥料, 应为可溶态, 施用之数量, 亦应适中。如所施之钙或镁, 为重碳酸盐, 则效力亦弱, 因入土中后, 容易变为碳酸盐。又如多施石灰, 则镁质难可保存, 但土中原存之钙盐, 未免损失, 因生成 $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 33\text{H}_2\text{O}$ 之可溶性复盐故也。还有一点, 应该加以注意; 就是加镁虽足以防钙之流失, 却不足以增土中有效性钙之存量。作物需要着钙时, 仍当施用钙肥。镁亦如此。切不可把防止损失和供给需量, 混为一谈, 更不可对于钙、镁的重要, 加以歧视。在土壤学上常称钙与镁为活性盐基 (active bases, 意为有代换盐基中和酸性之效), 两者相互存在的比例, 对于各种作物, 皆有一定。其差约在 $\text{CaO} : \text{MgO} = 1 : 1 \rightarrow 7 : 1$ 之间, 比例不适当或是单独一种存在时, 都有害处。

4. 盐基代换作用对于施肥之关系 施肥所以增加肥料成分, 人都知道, 可是因盐基代换作用而施肥所得的额外利益, 人还不不大知道。这些额外利益, 可以列举如下: (1) 增加土中养分的效率, 是肥料中盐基和土壤中盐基代换的结果。土中盐基, 原来不能为作物利用的, 经此作用, 即变为可给态了。(2) 固定肥料成分, 使免损失, 也是盐基代换作用的效力。普通一次施与之肥料量, 常过于作物之需量。使剩余肥料固定在土中者, 为盐基代换作用; 使所固定之肥料成分及时供给于作物者, 也是盐基代换作用。这样看来, 谋施肥的经济者, 不可不注意于盐基代换作用, 是毫无疑议的了!

当施用人造肥料或碳酸镁、碳酸钙等肥料时, 应知道以下两点: ① 肥料之浓度; ② 土中氢离子之浓度。先就①说: 稀薄溶液不能起盐基代换作用, 理论上固是不错, 实际上却应同时顾及时间的限制。譬如有数种肥料, 含钾、铵量都是在 5% 以下, 施入土中, 从浓度上着想, 敢决其不起代换作用。但实际上不然, 此种肥料与土液初接触之一刹那间, 钾、铵离子弥散未远, 局部浓度必增, 因之盐基代换作用也就在此一刹那间发生了, 所以配合肥料时, 与其顾虑某种肥料量太少, 还不如审察土壤的盐基代换力和作物吸收力为施量的节制, 反更合于施肥的经济。就②说: 石灰中和酸性, 减低土壤之 pH 度, 亦属代换反应, 惟氢离子浓度一减, 土液之溶解力亦随之而减, 前述钙、镁之互相防护作用, 此亦一重要之理由。

5. 代换性盐基对于土壤物理性质之影响 代换性盐基之种类不同, 影响于土壤理性者亦异。如粘土富钙, 则土粒可呈团粒组织, 空气流通佳良, 积水易于排泄。所以致此者, 因钙离子具团结作用 (flocculation) 使土粒由胶溶体入于胶凝体, 性质随之而有变化。但钾、钠等一价离子所负电量, 不及钙、镁为多, 换言之, 即中和土粒电荷之力较钙、镁为小, 故团结土粒之力, 不若其分化土粒之力 (dispersion, 使固体胶质归于胶溶体者谓之分化) 为强。设代换性物之大部为氢离子时, 则其对于土粒之影响, 介于钾、钠及钙、镁之间。

Bonyoncos氏谓土壤及土壤胶质之浸湿热, 受代换性盐基之影响甚著。虽因土壤胶质之性质, 过于安定 (有加热至 230°C 或加强酸处理而不改变其浸湿热者), 未克就各种盐基之影响, 一一测定, 但略可推测之如下: ①土壤胶质与各种盐基结合生成各种之新化合物, 浸湿热当然各异。②土壤胶质脱水时, 其表面变为平滑, 对于水之受力大减, 因而减其浸湿热, 反之, 在水化时, 表面常变粗大多孔, 吸水量多而浸湿热大。故某种电解物有若何影响, 只须见它对于胶质表面有怎样的作用, 与胶质实体, 是无关的。

自大体看起来, 凡含二价盐基多量的土壤, 必有良好的理性, 亦必善于利用肥料, 英国著名土壤学家Daniel Halls说得好: “良土非他, 即拥有多量代换性盐基之土壤而已”。盐基代换作用一切的影响, 都被这句话包括了。

6. 代土性盐基与酸性土之关系 诱成酸性土的原因很多, 而酸性土的特征是一致的, 大凡土壤因各种原因而损失其可换性盐基者, 常有H代其位置, 土液中氢离子浓度之大小, 即视此种H原子之多少和所成化合物之电离度而定。氢离子浓度愈高, 代换性盐基量愈少; 但是代换性盐基能添入多少, 氢离子浓度亦便减了多少 (指化学当量而言)。所以氢离子浓度的大小, 亦即盐基未饱和度 (base unsaturation) 之表示。明乎此, 则酸性土与代换性盐基之关系亦可不言自喻。至于加石灰以减土之酸性, 更不言而可知其为代换作用的结果。酸性土之害点, 自化学方面论之, 有如下举: ①氢离子浓度过强, 足使土中铝质游离, 为害植物。②缺代换性盐基, 则土中不可给态之养分不易变成可给态, 更不能免肥料成分之流失。③腐殖质 (有机质之有效部分, 含代换性盐基) 中之代换性盐基, 设全为氢离子所代, 则可为水溶性物而流失。④多量之氢离子可使土粒分散度加大, 胶溶体之量增多, 遂致通气不良, 理性劣变。

7. 盐基代换作用对于碱性土之影响 什么是碱性土? 一般的定义是: “富有可溶性盐类的土壤, 其类盐浓度足以防害作物的生长者, 便属于碱性土”。就此定义看来, 似乎改良碱土一事, 只须把过量的可溶性盐除去了, 便算达到目的。但经验上是否如此呢? 施行上法不得结果, 甚且使碱害变本加厉的所在都是。碱土的真正性质, 可见还有为我们所不能了解的地方了。能够助我们了解的, 仍只有盐基代换作用方面的研究。

平常中性土内代换性盐基, 大半为钙质, 前文曾提过的, 依盐基代换作用说, 凡入于土液中的盐基, 只要不是钙本身, 都可立刻占本代换性钙一部或全部的位置。然则碱土中既富钠盐, 其钠质必早占有代换性钙的位置无疑了, 当此种代换作用达于平衡时, 可溶性钠盐亦得固定于土液中, 不过因碱盐浓度大小不同, 代换作用程度有差异, 在碱性轻的土壤内, 仍旧有代换性钙的踪迹。至于被游离的钙, 遇白碱结成可溶性钙盐而流失, 遇黑碱则生成碳酸钙, 积存土内, 很少有存于土液中的; 多量存于土液中的便是可溶性钠盐。所以总括上面所说, 碱土一共富有两种状态的钠质: 一种是可溶性钠盐中的钠, 其存量因灌溉排水等情形而

表4

土壤胶质	胶 质 成 分 百 分 率												中和胶质 负电所需 Methylene blue之量	
	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	CaO (%)	MgO (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	SO ₃ (%)	Mol, SiO ₂ , Mol, Al ₂ O ₃ , + Fe ₂ O ₃	pH4.4 时之钙量	中性时 之钙量	milli- equiv
壤 土	52.57	16.49	10.70	0.21	2.20	5.67	1.97	1.02	0.26	0.11	3.82	0.722	0.947	0.770
粘 土	52.05	22.52	8.12	0.04	1.36	2.52	1.89	0.21	0.64	0.20	3.18	0.690	0.796	0.678
细 壤 土	45.93	21.72	8.94	0.07	1.19	2.01	2.28	0.21	0.46	0.21	2.82	0.554	0.671	0.536
细壤土之心土	41.14	29.26	12.73	0.03	0.53	1.07	1.35	0.42	0.08	0.20	1.89	0.236	0.331	0.220
细砂质壤土之心土	39.25	33.51	11.24	0.01	0.30	0.44	0.49	0.25	0.23	0.05	1.63	0.171	0.207	0.153
粘土之心土	15.86	34.38	22.67	0.07	0.21	0.29	0.27	0.33	0.26	—	0.55	—	0.164	0.019

表5

土壤类别	土壤中各代换性盐基之百分率											代换性物全体之组成成分				
	钙	镁	钾	钠	铝	铁	锰	钙	镁	钾	钠	铝	铁	锰	钙	锰
中性或微 碱性土	1	0.436	0.073	0.053	0.028	—	—	71.7	20.1	4.3	3.9	—	—	—	—	—
	2	0.250	0.051	0.046	0.045	—	—	63.1	21.2	6.1	9.6	—	—	—	—	—
	3	0.635	0.176	0.037	0.062	—	—	63.5	29.3	1.8	5.4	—	—	—	—	—
碱性土	1	—	—	0.084	0.091	—	—	—	—	35.0	65.0	—	—	—	—	—
	2	—	—	0.143	0.137	—	—	—	—	39.6	60.4	—	—	—	—	—
	3	—	—	0.031	0.570	—	—	—	—	3.1	96.9	—	—	—	—	—
酸性土	1	0.053	0.024	0.002	0.008	0.025	—	0.018	29.9	23.0	—	3.45	31.2	—	11.5	—
	2	0.021	0.011	0.009	0.019	0.010	0.009	0.049	13.8	12.5	2.78	11.1	15.2	7.0	37.53	—
	3	0.037	0.014	0.007	0.027	0.003	0.001	0.047	24.7	15.1	2.75	16.4	4.11	1.37	35.65	—