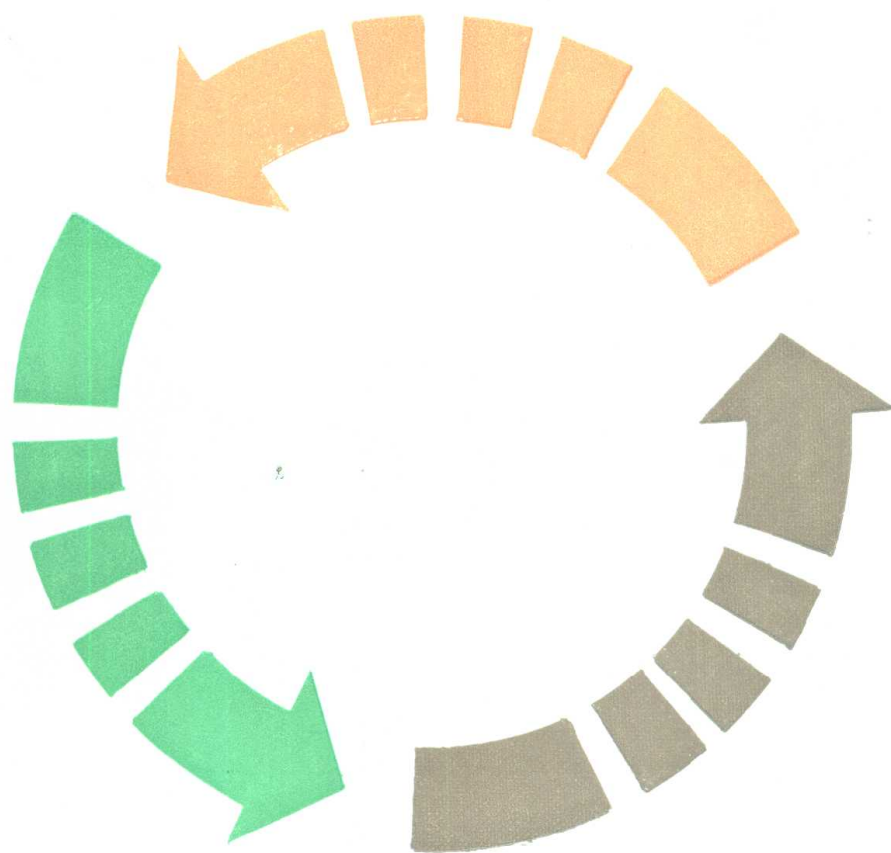


农田生态系统 能量物质交换

牛文元 周允华 张 翼 等



气象出版社

中国科学院
北京农业生态系统试验站

农田生态系统能量物质交换

牛文元 周允华 张翼 等

科学出版社

内 容 简 介

本书是中国科学院北京大屯农业生态系统试验站研究成果之一。它以农业生态系统的理论为基础,联系各个有关的自然要素和作物要素,探讨土壤-植物-大气连续系统(SPAC)中能量流和物质流的基本机制。尤其对于农田辐射各个分量的计算、作物水分消耗过程中各类农田蒸散模式的比较、田间CO₂的浓度测定与通量计算、作物干旱状况的生理生态指标、田间有机质以及养分平衡有关分量的计算、农田信息的采集与处理等,均进行了比较深入的探讨。这些成果以比较精确的和连续的田间试验为依据,是具有明确应用目标的基础性研究。

本书可供农业科技人员、农业大专院校师生、农业生态系统研究人员、实验地理学工作者、农业气象工作者和广大从事环境、生态学研究的人员参考。

农田生态系统能量物质交换

牛文元 周允华 张 翼等

责任编辑 潘根娣

气象出版社出版

(北京西郊白石桥路46号)

华勘五一七队印刷厂印刷

1987年12月第一版 1987年12月第一次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 19.5 字数: 455千字

印数: 1—3500

ISBN 7-5029-0066-7/P·0044

定价4.00元

序

值此中国科学院北京大屯农业生态系统试验站首批成果发表之际，我谨拟结合当前华北农业和水利的关键性问题，说明大屯农业生态系统试验站的第一期工作任务，由此引伸出该站的工作性质及第二期工作任务设想，最后简单地讨论该站在地理学、生态学中的作用。

华北农业和水利在目前存在着几个很棘手的重大问题。首先是水源利用已超过适当的限度，今后工农业和城市的发展又都要求巨量的水源。其次黄土高原是世界土壤侵蚀最强烈的地域，既严重影响当地农业和其它植物生产，更以大量的泥沙输入河流，使下游水库寿命短促，河道淤垫日高。黄河下游决溢危险与时俱增，尤为心腹之患。最后是华北平原有大面积排水不良的土地，盐碱化土壤分布甚广。所有这些都是人所共知的事实，其关键都在于“水”。乍看起来，似乎问题很多，疑云密布，草木皆兵，很不好办。然而，根据现有的科学知识来看，如果采取适当的措施，最大限度地利用当地降水，便有可能使一部分问题得到解决，另一部分问题比较容易解决。

上述设想的依据是一些很简单的事实。华北各地盛夏秋初，大多数年份的降水都足以使1 m以内土层充分达到田间持水量。深秋和冬季，降水很少，地上或者没有作物，或者作物停止生长，水分消耗也很少。夏末秋初积存在土层中的水分，大都可以保留至次年开春。春季降水不足，只有与秋墒加在一起，才能维持作物对水分的需要，若能维持到夏季第一次透雨，作物便不至因水分不足而减产。“春旱秋防”是华北农民早就懂得的道理，这是无可置疑的。另一个简单事实是华北土壤大半是黄土性土壤，透水性很强，渗水速度一般为0.5—1.0 mm/s，24小时高达720—1440 mm¹⁾。根据1951—1980年气象系统记录，一日最大降水量华北西部在100 mm以下，东部在100至200 mm之间，只有太行山、燕山及豫西、山东山地丘陵在200至300 mm或更多一些。24小时最大降水量可以比一日最大降水大许多，但相对于黄土性土壤的透水性仍然是不大的。在华北平原与山地丘陵交界附近的少数地方，如山西垣曲附近在1958年7月，河北内丘附近在1963年8月，河南方城附近在1975年8月，均曾发生过24小时内超过1000 mm的降水。对付这类历史上罕见的暴雨，必须另谋善策，现在所考虑的措施不足以解决此等问题。1977年7、8月间延安附近与毛乌素沙漠亦曾分别出现24小时300—400 mm的暴雨，为害也很大，也不是我们现在拟提出的办法所能防治的，但都是上百年才出现一次，而且每次所波及的范围与整个黄土高原相比，也是有限的。在全局的研究中，可以作为特殊问题另行探讨。在这里需要考虑的是瞬时暴雨强度可以大大超过一日或24小时平均强度，因而也超过黄土的瞬时透水性，不可避免会产生坡面径流。好在黄土是容易切削的土质，修筑梯田不大困难。加上修筑梯田为黄土区许多地方农民所熟悉，且有悠久的历史经验，因此可以用梯田来消除瞬时降水强度大于黄土透水性的矛盾。

1) 黄土高原综合治理方案组，1985：黄土高原综合治理分区，中国科学院西北水土保持研究所集刊，第一集，1—64页，陕西科学技术出版社。

把上述事实联系起来，将同农业生产有关因素中人力不能改变的与可以不同程度改变的区分开来，就可以帮助我们思考：为了最充分地利用当地降水来解决前述华北几个关键性问题，需要先采取哪些措施，再配合采取哪些措施，最后可以得到什么效果。直到现在，人工降水的可靠性仍然不大，实际效果不能肯定，经济上也未必合算。所以，降水基本上是难以用人力来完全改变的因素。提高它的利用率，首先要在土壤上下功夫，使降水能尽量入渗和保持在作物根系所能及的土层中。土壤表面结皮会阻碍水向土中的入渗。在一米土层内有坚实心土或犁底层会妨碍作物根系的发展，从而减少根层保持的水量。土壤发生裂缝会加速蒸发。杂草会消耗水分。土壤结构好，不但入渗性和保水性高，而且有助于防止土面结皮、心土板结、裂缝产生。这些都是在一定限度内人力可以改变的因素。如再修筑水平梯田，田边建内高10—20cm的土埂，那就可使瞬时强度很大的暴雨也全部渗入土中，大部供作物利用，不流出田外，不引起土壤侵蚀。于是大大削减输向黄河及其它华北河流的泥砂，同时多雨季节的径流也可大大削减，显著地缩小下游排水不畅地域的沼泽化，土壤盐渍化，减少下游洪水的灾害。七十年代中期，根据已有资料 and 知识作偏保守的大体计算表明：除华北平原与山地丘陵交界附近以及黄土高原上在较小范围中百年以至数百年一遇的暴雨外，可得到上文所说的一举而数利的推论。近年一些经验性的单项性的试验结果也证明这一点。

然而，大体计算只说明技术上的可能性。至于经济上是否上算，是否可能（如需要资金超过供应资金的能力，即使上算也未必可行），措施的推广是否能适应各地的社会条件，这就要比较准确地预计具体的效果和进行一系列有关的应用基础研究，而首先就是试验研究。应用基础研究有明确的目的性，所得数据要尽可能地准确，根据准确的数据求出数值规律并能在理论上加以说明。只有这样才能拟出因地因时而不同的战术，有机地将战术联系起来，成为有充分依据的战略。但由于时代条件的限制，不能事事求全，却必须从全局观点，抓紧那些“一着不慎，全盘皆输”对全局有决定意义的东西。认识这些有时也要有一个由粗到精，由浅入深，由片面到更多方面的过程。值得重视的是要清醒地知道不足之处在哪里，差距有多大，以后如何去缩小差距。关于华北降水，已有30年以上的记录，少数站记录年限比较长，研究工作也有一定的基础。但仍有不少有待进一步工作的余地。如测点密度不够大，对地形与降水分布的关系了解太少；等雨量图未按测点的代表编制，雨量计的观测误差尤其是暴雨的观测误差几乎是尚无人过问的课题，30分钟、一小时的降水测值很少，24小时降雨量也没有作全面整理分析。暴雨的形成与预报的研究，十余年以来，工作较多，但机制尚不大清楚。黄土性土质所固有的透水性测值发表的不多，测定方法也没有说明，地域差异与差异的原因未受到足够的注意。入渗率也如此。土面结皮与紧密实心土的形成和影响实验研究很少。这些缺点，在目前并不影响我们提出问题和寻求大体解决问题的方向，但如能在一定程度上弥补这些缺点，就可以进行更周密的分析和综合，为解决战术战略问题提出更翔实的基础。了解自然是改造自然所不可少的前提，但改造自然的措施还需要精细的试验研究。尽可能利用降水的可能措施之一，是以机械方法除去土面结皮和改变心土的紧实性。用什么工具、什么方法，要多少工、多少钱，能得到什么效果，能维持多久？在各种方法之中，哪种最省、最好，见效最快？这些问题不经过试验，取得必要的数字，是无法回答的。当然，即使有了肯定的答案，这种机械方法的效果也不一定能长久地维持。必须利用以

机械方法在较短的时期内产生的增产效果，来增加土壤有机质含量，改善土壤结构。

“施用有机物就行”的想法大体不错，但太简单。有机物性质各地不同，处理和施用方法也很多，没有比较严谨的试验，是不能筛选出较有效的措施，不能作出较精确的预测。施用有机肥不一定能增加土壤有机质含量，在某些条件下，甚至会带来有害的结果。在相当长的时期内，还要不断试验，精益求精。如果以机械方法打头阵行不通，就得先种根系强大足以穿透紧密心土的植物。在当前社会条件下，这比较不易推广，试验也得经过较长年限，才能得出初步的结论。为了达到最大限度地利用农田降水于作物生产，并使水不出田，消弭水力土壤侵蚀，以上措施可能是不够的。梯田的修筑和保养也同样要做不少试验。

将降水最大限度地留在土中，还要知道根系分布土层的水分通过蒸发、蒸腾、渗透等支出的机制。这决定于土壤、气候和作物。在一定土壤气候条件下，我们可以改变作物因素（作物种类、品种、密度和作物制度），使80%以上的年份，不至因水分不足而减产。为此，就必须取得确实的数据，以此为基础，求得定量的规律和计算的方法。不仅要知其然，而且要知其所以然。只有这样，才有可能预计不同地点，不同年份的降水状况和有关蒸腾、蒸发、深渗的大田土壤条件下的水分收支。经验的统计则不能达到这一目的，其用处是有限的。

有些地方80%年份的降水状况，在采取了上述措施以后，仍然不能满足作物生长的要求。隔坡梯田也可能弥补水分的不足。对此也需要用适当的试验设计来寻找具体答案。在答案为否定的地域，除了有地下水或地表水可资利用的处所以外，不应当经营农业。

最充分地利用降水，并使作物与之相适应，主要是为了增加单位面积产量。可是，如果只有不缺水一个条件，所能达到增产的结果是有限的。必须使养份的供应与之相平衡，必须考虑其它气候因素的影响，必须顾及植保问题。然后将全部所需增加代价与全部所能增加的收益相比较。如果收益大于代价，推广便不会有多大困难，否则就应当权衡全局，另作战略部署。华北土壤中所提供的氮、磷，显然不能满足高产的需要，锌、锰、钼也如此；钾及其它微量元素似无不足的征象，但在高产条件下如何，尚须进一步观察。氮、锌只能以施用肥料来补充，其它元素也许可以提高其可能性来解决。对于此类问题，国内外多采用经验性方法，进行无数试验。二十多年来，有关在土壤与根系界面间养分传输过程的知识已显著增多，基础性的试验研究，不但能事半功倍，而且可以较少的试验结果对全局作大体计算。在气候因素之中，光、温、风与降水同样是不能或不容易大规模、大尺度、长时间改变的。有些时期的光能因温度太低不能利用，这基本上是不能改变的。在此限度内，有时因水分不足而不能利用，在有水可资灌溉的地方，则可变无用为有用。在水分不缺的条件下，叶温一般不会升高到有害于作物的程度，但华北干热风的有害作用似乎不仅在于高温。对此如何防治，尚需进一步研究。大风引起籽粒脱落和倒伏，改用口紧和抗倒伏的品种是可行的对策，但得注意产量是否会较低。在平原上护田林也是可能的措施，但其利弊得失，须作更全面的分析。有时风太小，也可能削弱植物中二氧化碳的输送，从而减弱光合作用，特别是碳三作物的光合作用。如出现此种情况，似可在叶面积指数高，中午前后光很强而风速很小时，施用二氧化碳使株间浓度不低于植物以上。这是否有用，是否合算，也是有待研究的问题。在条件改

变了以后，植保问题也许会有变化，也需要研究。但小面积条件改变与大面积条件改变不同，不易期望能较早得出确切的结论。但也不能不随时留意，以免坐失时机。总之，水是所拟进行试验研究的中心问题，但必须包括一切有密切关系的问题。有了一定的结果才能看到我们需要采取什么措施，支付什么代价所能得到的效果。

如果上述工作结果综合起来得到肯定的答案，其实施必然会带来一系列变化。首先是水不出田，农田的水利土壤侵蚀就基本上勾销了。朱显谟同志根据他的研究说过：黄土高原土壤侵蚀量中农田占一半以上。如果整个黄土高原土壤侵蚀减少 $1/3$ ，黄河下游及华北其他河流含砂问题的严重性就可以大大减轻。1980至1985年由于水蚀强烈地域降水较少，黄河下游淤积仅相当于平均数的 1% 。水不出田当然也会减小河流洪峰流量，减轻排水不良地域的沼泽化、盐渍化。

海河流域是现在水源供不应求最紧张的地域，现在已无源可开，将来更难以摆脱困境。南水北调，东线旱季能调来的数量有限，而成本颇高；由三峡调水，成本问题，旱季水量问题，都比较小，却要等待到二十年以后。十多年以前，我曾做过理论计算，最大限度地利用当地降水，即使在黄土高原上 80% 年份也可以得到每公顷 8000kg 以上的产量，华北平原当然可以更高。近年来分散在各地进行的旱作试验，一般趋势证明这一推论“虽不中，亦不远”。现在海河流域水源，十分之九用于农业，十分之一用于城市和工业。灌溉用水浪费很大，有些地方用水过多，肯定会使土壤板结、通气性降低，加速反硝化作用，淋失硝态氮和钾。在有些地方还会提高地下水位，引起盐渍化。如充分利用降水，只在此基础上适时适量灌水，用水量可以减少很多，并避免种种副作用。必要时还可减少些灌溉面积。减少农业用水 30% ，不应有什么困难。这相当于现在城市与工业用水的 2.7 倍。城市与工业用水可以节约的余地也很多。工业生产流程可以为节水而改变。用水多的工业不一定要设在华北。国外一些城市绿化占城市用水的 30% 至 50% ，可以节约的幅度也不小。各有关方面都朝这一方向去做，华北需水量不一定要调水也能得到满足。

大屯农业生态系统试验站的第一阶段任务，是通过应用基础性质的试验研究解决华北的农业增产问题与缺水问题，同时也有助于解决华北泥砂问题、防洪问题、沼泽化盐渍问题。关于后面几个问题，拟在下文再作简单的说明。

黄土高原耕地约占 25% ，非耕地面积还很大。非耕地的土壤侵蚀和坡面径流如果不能得到控制，我们还不能高枕无忧，有用的土地资源也白白被浪费掉。黄土高原的天然植被一部分是草原，一部分是森林草原，大部分现在仍然有深厚的土层。寸草不留的山羊放牧，连根俱拔的采集燃料是非耕地几乎全无植物的根本原因。如能严格封育，植物都能自然滋生，人工种草植树，可以加速绿化过程，也可以选用较有价值的种类，但须有一定的技术指导，否则效果不好。封育保护是重要的条件。在目前社会经济条件下，封育很困难。如农田大幅度增产，燃料、饲料不那么短缺，封育就容易得多。大多数非耕地坡度很大，有了植被，可以削减，但不能完全消除坡面径流和土壤侵蚀。最好能再修一些水平沟、鱼鳞坑。现在有些地方种草，因水分入不敷出，干土层逐年加深，有的三、四年，有的七、八年就生长不好以至枯死，有些地方种树，经过好多年还是小老树，孤立荒坡。黄土高原原来就有不少适生于当地的植物，应当重视对它们的研究，从中找出有前途的草（树）种。国外亚热带干旱、半干旱地域有一些植物，日间气孔关闭，全赖显热

乱流扩散消除太阳辐射投入的能；晚间气孔开张，能将露水通过植物体内送到根外土壤。国内有无此类植物，国外温带有无此类植物，需要费一点力量去研究。若有所得，便可能起很大作用。草生长起来了，又枯死了，还不能认为是坏事。土壤因此变化了，枯草不除去，也还有一定期限的保土作用。经过一两个夏末秋初降水补充，表土仍能储存不少水分，再种原来植物当然不行，试种生长期较短的草本或灌木，仍然会有成功的希望。小老树得不偿失，不能再重蹈复辙。但在黄土高原坡向坡度不同差异往往很大，阳坡不行，阴坡未必失败。以农田高产为前驱，非耕地就有许多文章可做。减少非耕地2/3的径流和侵蚀是有希望的。坡面耕地与非耕地都控制住了，沟谷和谷壁的侵蚀自然减弱，可以不必多费力气。另一个问题是重力侵蚀和河岸侵蚀在黄河及华北其它河流泥砂来源中占多大比重，以后会如何变化，倒是应当重视的问题。这可通过遥感资料与地面考察，大体估计出5—10年的数量及变化趋势。尽管大规模地处处设防未必可行，但也不能胸中无数。每一集水区夏季和秋初的坡面径流被控制住了，当然能减轻，但不能消除沼泽化、盐渍化以及在过去所已产生的不利因素。排水洗盐的措施，其它改良盐渍土的措施以及不能改良的盐渍土的利用都需要试验研究。以上提到的，还有一些未提到的研究，不在大电站的工作范围，但都与大电站研究唇齿相依，大电站的工作对象对于它们具有先行性质。先行性的问题解决了，可减少其他问题的广度与难度，但对其他问题认识的增进又能反过来有助于考虑如何解决先行性的问题。互通情报、交换意见，无论对研究和实际工作都有积极意义。目前信息流通的渠道是不够完善的，以后应力图改进。

根据华北的自然和社会经济条件以及所列的问题，国民经济发展提出的要求以及已有的科技知识，大电站的第一期研究任务应当以如何最大限度地利用当地的降水为中心课题。第一性对象是农田水分收支的机制，关键性措施是改善土壤的水文性质，主要目标是提高单位面积农业产量。在概念上，以植物生产量限制因素原理（这是不完全的原理，在应用时考虑了应有的补充和修正）为指导，并区分人力不能改变和可以不同程度地改变的因素，考虑到所有因素，以便在分析基础上加以综合。由于在自然界中：（1）对一个客体施加影响往往会对某些其它客体产生影响；（2）对一个地域施加影响往往会对某些地域产生影响；（3）今天所施加的作用不但在今天有影响，而且会在明天、后天还有影响，有时是不同的影响。所以要左顾右盼，瞻前顾后，在综合指导下，进行试验和分析，又在分析的基础上综合。因为我们工作是有明确应用目的性的，不能不问社会经济因素和条件。从社会经济来看，显然行不通的措施不能列在试验研究之内。试验研究每告一段落，都应结合社会经济来衡量，或继续进行，或改变试验设计，或停止工作。工作完成以后，更需要作全面的评价。因此，在试验以前，就应当安排好取得为此目的所需要的资料。应当着重一提的是，在大电站的试验着眼于将结果推广到面上，应当力求不仅知其然，而且要知其所以然。但还得专为此布置一些试验。举例来说，温度对植物的生长、发育，似乎是了解最多的一个侧面，其实也可以说是了解很少的一个侧面。过去的知识或根据百叶箱中的测值，或根据人工气候室的测值，与田间作物所感受的温度，差值有时很小，有时很大，有时是正的，有时是负的。因此，用统计方法得出的一些指标，在一定条件下大体不差，在另一条件下就差的很远。所以，应当测定作物冠层的温度，求知它与常规测定的气温数值关系。在某些情况下，还要测定某

些器官的温度，这一方面的工作，在地理研究中特别重要，因为只有这样才能在试验站以外地域的生产和建设中发挥作用。上文已经提到要取得准确的数据，这里还应再强调一下。在田间条件下，取得准确的数字很不容易。国内外，我们自己都有很多教训。常常花了很多人力物力的观测，由于仪器及仪器使用不当，得不到有用而可靠的结果，有时甚至导致错误的论断，不但无益，而且有害。对这一点，在我国，除了自己曾经历沧桑的以外，普遍认识不足，大电站现在注意了这点，但仍然不够，还应当随时都抱着临深履薄的心情，精益求精的要求。任何一个机构，人力物力有限，既要有周到的考虑，又要求作严密的试验，那就必须在复杂的、处于辩证互相关联的实际中有所取舍，“有所不为而后所为”。所以大电站的工作是介乎Holistic approach与Reductionistic approach之间的。现在如此，将来也如此。

上面就大电站第一期的任务，说明大电站工作的基本性质方向。这应该是长期基本不变的。收集在本书发表的文章，可代表大电站已完成工作的大部分。了解了第一期工作任务，便能了解这些工作在全局中各占什么地位，如何可以联系起来，也可以了解哪些是我们薄弱和空白的环节。只可惜不能由此看到在我们条件下建成这样一个站，会遇到什么样的困难，在科技工作中经历过什么样的曲折。我们今天只是在万里长征中走了第一步。对地面以上的环境有一些初步结果，还要进一步工作。土壤环境与作物生理生态工作很少、很薄弱，尚须费很大力量，才能初具眉目。这里拟说明两点。第一点，认识客观世界是无止境的过程。例如改变土壤的水文性质是解决大电站第一期任务的钥匙。作为行动的指南至少要得出一种代价不太大的措施，其效果经过证明能维持三年而不完全消失。为此，最少也要三年，方能作出定论。此后尚须寻求更省、更好、效果更长久的办法，这至少要15—20年时间。作物生理无论哪一个侧面在实验室中都还有许多未知数，生理生态又更复杂。地面以上的环境因素也仍然存在不少问号。现在很难预计第一期任务在什么时候基本完成。第二点，有些研究在有了阶段成果以后，便可以应用于实际。如5—7年能得出可行的改进土壤水文性质的措施，其它研究，即使还不够成熟，也可以结合在一起，配套成龙，一面推广，一面再求在百尺竿头更进一步。按现在推想，由第一阶段任务转到第二阶段不会有明确的界限，中间当有十年左右的过渡期。第二阶段的具体任务，现在还看不清楚。似乎有三方面可供思考。第一，目前已考虑将田间测定大气二氧化碳通量设备的设计试制列入计划。成功以后，可得到一小时及更短时段的光合率，既能为第一阶段任务服务，同时也能为第二阶段开路。在此条件下，间套复种可能成为工作的中心。第二，农产品质量可能成为更重要的问题。第三，基因工程的进展，可能使农业生产面貌根本改变，因此为农业而进行的田间试验也必须不断往前看，及时作必要的步署，以便能适应时势，顺利转移。当务之急都是要千方百计，及早在改良土壤水文性质这一点上得出初步有用的结果。因为人口增加，城市和工业发展，黄河源溢危险日益增大，都是大势所趋，不容许不争取时间。这固然有赖于试验站工作同志的努力，但还必须有关方面的支持。对于这一点，真正理解的人很少。我费过不少唇舌，不少笔墨，而收效甚微。

在科学史上，在非常困难的环境中，也往往能孕育出卓越的成就。不过像大电站这类的工作，既有赖于个人钻研，又有赖于集体协作，特别要在协作中发扬比学赶帮的精神，相携并进。

大屯站以农业生态系统试验站为名，由中国科学院委托地理研究所代管。它的工作，除了有明确应用目的以外，还应当对生态学、地理学的发展有所贡献。生态学研究生物界与其环境的关系，地理学研究作为人类居住的地球表面，都是综合性的科学，二者的领域，很难划分。几十年来，从实际工作以至研究教学组织，交叉渗透，层出不穷，但又不能在二者之间加上等号。融汇贯通是必然的趋势，完全符合科学分工愈细，综合愈重要的客观要求，但仍须经历很长的过程，不宜拔苗助长，也不宜于疆界的划分。第二次世界大战以来，两门科学都有显著的发展，但在客观上，近十几年间都出现了危机。生态学被称为消极的科学、悲观的科学，学术水平低。地理学处境显然不比生态学好，原因之一可能是要做好综合性工作难度很大。全局由局部组成。研究全局需要了解局部。有些局部性的东西了解不多，影响不大，有些具有重要意义以至决定性意义，就必须有充分的了解。要将这些贯穿起来，了解深度不能参差太大，时间单位、地域单位更需要大体一致，尤其要懂得彼此之间的关系。“正确的部署来源于正确的决心，正确的决心来源于正确的判断，正确的判断来源于周到和必要的侦察，和对于各种侦察材料的联贯起来的思索”。综合研究，首先用一切可能和必要的手段，取得材料，然后加以去粗取精，去伪存真、由此及彼，由表及里的思索，最后作出判断。在综合指导之下的侦察是工作的起点。在生态学、地理学中，应当将地域考察、遥感与试验三种手段结合起来。地域考察是生态与地理研究的传统方法。因为在一地停留时间很短，季节变化、多年变化看不到，可以得到的常规记录和文献记载，多嫌过于粗略，口头访问，也往往不具体、不完全。还有许多现象也是不可能在考察中取得的。试验则可以弥补考察之不足。如能在试验中注意到如何将结果推到一定地域的方法，效用更大。遥感资料可以大大扩充考察或试验的视野，但也只有与这两种方法相结合，才能起作用。三种方法不能互相脱离，相辅相成，才能使生态学、地理学面貌一新。其中，试验是最薄弱的一环。所以现在有必要抓紧这一环。

黄秉维

1986.9

前 言

能量是物质运动和物质状态发生变化的根本动力，没有能量便不会有物质的运动，而物质运动的同时也伴随着能量的交换。地理环境中各种自然地理现象的发生和变化，主要由太阳辐射能的差异、转化和输送所引起。因此，要了解自然地理现象的形成、发展和变化的过程，要了解岩石圈、水圈、大气圈和生物圈几个圈层之间的相互作用及其内在联系，就必须研究它们之间的物质迁移和能量积累、消耗、转化与输送的过程以及过程进行的机制，研究产生这些过程的条件，外因和内因，过程进行的速度、强度，并预测可能出现的结果。在人类活动施加的各种影响下，它可以加速或减缓某些自然地理过程进行的速度和强度。在特定条件下，甚至可以改变某些自然地理过程进行的方向，这更增加了研究工作的难度。

以往的地理研究工作，大多是静态的和定性的描述，常常不能给出动态的变化过程和定量的结论。因此，许多对生产建设有重大意义的课题往往不能给出满意的结果，不少研究成果难以在实际中应用，研究工作的水平也难以提高。近年来，随着研究工作的逐步深入和新的测试仪器与新的技术手段的采用，地理工作者开始探索自然地理现象的动态变化，对其进行观测和定量计算，尤其是开始注意了从物质运动的表观现象研究逐步转向能量交换及其内在联系的研究。北京大屯农业生态系统试验站的研究工作就是这样做的，这是一个好兆头。他们重视研究作物与周围环境间的物质与能量交换，重视从物质迁移和能量转化的角度来研究土壤-植物-大气连续系统的结构、状态、发展和变化。他们按照科研课题的总体设计，布署了周密的田间试验，注意了新技术的应用，完成了大型农田数据采集系统，运用微型计算机实时地对农田环境信息进行采集、存贮和处理，因而积累了作物不同发育阶段与环境间相互关系的大量资料，为研究作物与环境间的物质、能量交换提供了基础数据。近两年来，他们研究了农田生态系统中的太阳辐射状况和冬小麦田的热量收支；模拟了不同几何结构的植物冠层对太阳辐射的透过率；通过光合有效辐射和紫外辐射的研究，推算了北京地区每月逐时的最大紫外和光合有效辐射通量密度值；运用“阻力法”对农田蒸散进行了计算；采用Monin-Obukhov相似理论方法计算了大气近地面层中热量、动量、 CO_2 和氨态氮的湍流垂直输送通量；此外，还讨论了冬小麦对水分供应的生理反映。本书是这些研究成果的体现。我们期望有更多的地理工作者开展物质迁移和能量转化的研究，也期望能看到更多的这方面的研究成果。

中国科学院地理研究所在六十年代初期就进行了热量平衡、水分平衡和农田小气候的研究，进行了太阳辐射及其能量转换的研究，进行了水面蒸发与农田蒸散以及作物耗水量的研究。由于大江大河的整治与水土保持工作的需要，长期进行了河床动态变化与流水地貌的研究。因环境保护工作的需要，还开展了地表化学物质迁移和转化的研究。中国科学院地理研究所还建立了山东省禹城综合试验站和北京大屯农业生态系统试验站，前者着重研究农田水分循环和水分平衡，后者着重研究影响农作物产量的环境因素

及其改善途径。此外,本所还正在进行水资源的调节与利用,以及四水(降水、地表水、土壤水、地下水)转化机制的研究。研究热量平衡的实质是弄清地表面(包括水面与植物冠层面)太阳辐射能的收支、输送、转化以及伴随着的物质运动状况。蒸发是热量平衡和水平衡中的一个分量,也是水分循环中必不可少的一个过程,它是水分迁移和能量转换中最重要的一环。上述情况表明,在二十多年前中国科学院地理研究所就注意开展物质迁移和能量转化的研究。但由于种种原因,我们在这方面的成果不是很多的,研究工作的进展也不是很显著的。尤其对物质迁移和能量转化过程与机制的研究,在理论上的贡献还很少。我们应该总结经验,找出教训,以利再战。

回顾以往,二十多年前中国科学院地理研究所所确定的这些研究方向是正确的,对推动地理学的发展,推动地理学的理论研究起过有益的作用。目前本所准备加强地表物质迁移和能量转化的研究,计划从四个方面着手进行研究:一是研究地理环境中水循环过程及其机制;二是研究流水地貌中固体物质迁移及其地貌塑造过程;三是研究地理环境中化学物质的迁移和转化;四是研究土壤-植物-大气系统中的物质迁移和能量转换。选择以上四个方面进行研究是基于以下考虑:第一,这些工作是中国科学院地理研究所过去和现在一直进行研究的领域,测试仪器与设备、实验技术与方法,都有一定的基础,尤其是有一批愿意献身基础研究业务素质较好的人才。第二,它们是对学科发展有普遍指导意义和带动意义的一些研究领域,有利于推动现代自然地理学及其分支学科理论研究工作的开展。第三,这些基础研究都有明显的应用前景,研究成果可以较快地应用到生产建设中去。

水是地理环境中最活跃的因素,它是许多自然地理现象和地理过程发生的原因和动力。例如前面提到的地貌形态的塑造过程,水就是重要的外营力之一。在流水作用下所发生的坡面侵蚀与沟谷侵蚀以及泥沙等固体的物质搬运和堆积,改变着原有的地貌形态,塑造出新的地貌形态与河床形态。水也是化学物质迁移最重要的载体之一。在植物的光合作用和生长发育过程中,水是不可缺少的物质。鉴于水在地理环境中的重要作用,二十多年来中国科学院地理研究所对“水”的研究给予了很大的重视,前面列举的六十年代以来本所进行过的工作,就是很好的说明。目前本所拟进行的四个基础研究课题,也同样和水有着密切的关系。所以,把水在地理环境中的作用作为本所的主要研究内容之一是可行的,也是恰当的。

国家经济振兴和社会发展,提出了许多与水有关的紧迫问题。例如,黄土高原的土壤侵蚀,使黄河下游河床日益淤高,严重威胁着黄河的行洪安全,成为“四化”建设的心腹之患,需要地理工作者进行研究。对于黄土高原不同水土流失区的侵蚀方式(水蚀、风蚀、重力侵蚀)、侵蚀机理、侵蚀量、产沙部位和产沙机理,应进行深入的研究。暴雨径流,入渗条件和黄土特征等环境因素对侵蚀和产沙的影响,也要作出明确的回答。当前,自然侵蚀和人类活动对侵蚀影响的程度,看法不一。治坡与治沟,生物措施与工程措施的治理效果,也众说纷纭,更需要做出确切的评价。黄河下游泥沙的搬运、堆积,河床演变,河型发展与转化等水沙运行的边界条件以及与中游侵蚀的关系,黄河河口三角洲的演变与海域条件的关系等研究,地貌学与河流动力学相结合,将有助于研究工作的深入,有助于搞清多沙河流的动力过程。这类例子还可以举出一些,如解决黄河以北平原地区水资源亏缺的对策问题,黄淮海平原二千多万亩盐碱土的改良

问题等。举出这些例子，主要是想说明，地理学在“水”字上大有用武之地，象黄土高原土壤侵蚀这类问题，也只有从物质迁移和能量转化入手进行深入研究，才能得到较好的结果。

由牛文元、周允华、张翼等编的《农田生态系统能量物质交换》一书，系这方面研究的第一步成果，我们将在此基础上继续深入。书中各文作者除注有星号者(另注说明)以外，其余均系中国科学院北京大屯农业生态系统试验站研究人员。

左大康

1986.10

目 录

序.....	黄秉维 (I)
前言.....	左大康 (Ⅱ)

第一部分 研究综述

中国科学院北京大屯农业生态系统试验站研究工作概述.....	胡朝炳 何淑云 (1)
农田生态系统研究试验设计.....	牛文元 周允华 张 翼 (7)

第二部分 作物-能量关系

引言.....	牛文元 周允华 (11)
冬小麦田的辐射能量收支.....	周允华 赵文广 董 颜 (13)
冬小麦田净余辐射和总辐射的关系.....	周允华 陆魁东 (25)
北京地区大气长波辐射的测量.....	赵文广 周允华 董 颜 (37)
华北平原冬小麦田热量收支研究.....	董振国 (49)
从透过率推算植冠层几何结构参数 (I) 直接辐射透过率的模拟计算.....	
.....	项月琴 周允华 (57)
从透过率推算植冠层几何结构参数 (Ⅱ) 总辐射透过率的模拟计算.....	
.....	项月琴 周允华 (68)

第三部分 太阳辐射分光研究

引言.....	牛文元 周允华 (80)
北京地区冬小麦生长期间的光合有效辐射 (PAR)	
.....	董 颜 周允华 赵文广 (82)
北京地区紫外辐射和光合有效辐射的计算.....	周允华 项月琴 (91)
北京地区太阳直接辐射的光量子通量密度.....	周允华 项月琴 (103)
光量子、光照度与总辐射的关系.....	董振国 (115)

第四部分 农田水分蒸散研究

引言.....	牛文元 (123)
用彭曼-蒙蒂斯方法测算农田水分散失.....	卢振民 张 翼 牛文元 (125)
不同灌溉条件下农田水热通量差异实验研究.....	
.....	卢振民 牛文元 张 翼 王淑清 许雪平 (138)

农田水分散失类型划分与计算方法.....	卢振民 (146)
利用冠层温度-蒸散模型计算农田水分散失.....	张鸿儒 卢振民 牛文元 (156)
一种田间波文比测定装置.....	林 幸 张霭琛 陈家宜 (165)

第五部分 大气表面层中物质、热量和动量的垂直输送

引言.....	牛文元 张 翼 (170)
农田生态系统中二氧化碳流的研究.....	于沪宁 (171)
冬小麦田间二氧化碳浓度和梯度的一般特征.....	
.....	陈家宜 于沪宁 麻益民 林 幸 刘树华 (180)
麦田大气表面层中通量-廓线关系的适用性研究.....	张 翼 牛文元 卢振民 (188)
麦田近地层大气中湍流垂直输送的特征.....	张 翼 卢振民 牛文元 李建京 (199)
田间条件下土壤氨态氮挥发损失的测定.....	何 平 马 翔 (213)
不同类型林网的防风效应.....	张 翼 卫 林 (217)

第六部分 土壤环境与作物生理指标

引言.....	牛文元 (230)
华北平原农田土壤有机质含量与作物产量关系的初步研究.....	胡朝炳 (232)
冬小麦各主要生育期根际微生物及根系生理活性的变化.....	
.....	段俊英 戴祥鹏 何秀良 (241)
小麦冠层温度与水分亏缺的关系.....	王 宏 杨春虹 刘瑞文 黄秀华 (249)
小麦气孔阻力与水分利用效率.....	王 宏 (254)
田间小麦叶片游离脯氨酸含量对干旱的响应.....	
.....	杨春虹 王 宏 黄秀华 刘瑞文 (262)

第七部分 农田环境的监测和预报

引言.....	牛文元 (268)
微计算机农田生态数据采集与处理系统.....	杜懋林 牛文元 (270)
蒙特卡洛模拟对于温度系列的预测——农业管理决策系统研究之一.....	
.....	牛文元 王 瑜 杨咏梅 王 军 (280)

THE STUDY OF ENERGY TRANSFER AND MATTER EXCHANGE IN AGRO-ECOSYSTEMS

Contents

Preface.....	Huang Bingwei (I)
Foreword.....	Zuo Dakang (K)

Part I General

A General Survey of Experimental Station of Agro-ecosystems (ESAE), Chinese Academy of Sciences, Datun, Beijing.....	Hu Chaobing and He Shuyun (1)
The Design of Field Experiment ESAE, Chinese Academy of Sciences, Datun, Beijing.....	Niu Wenyuan, Zhou Yunhua and Zhang Yi (7)

Part II The Relationship between Crop and Solar Radiation

Introduction.....	Niu Wenyuan and Zhou Yunhua (11)
Radiation Budget in the Winter Wheat Field.....	Zhou Yunhua, Zhao Wenguang and Dong Yan (13)
The Relationship between Net Radiation and Global Radiation in Winter Wheat Field.....	Zhou Yunhua and Liu Kuidong (25)
The Measurement of Atmospheric Longwave Radiation in Beijing.....	Zhao Wenguang, Zhou Yunhua and Dong Yan (37)
Study on the Energy Budgets of the Winter Wheat Fields in the North- China Plain.....	Dong Zhengguo (49)
To Estimate the Geometrical Parameters of a Canopy from the Transmis- sion of Light, I. A Simulating Calculation from the Transmission of Di- rect Sunlight.....	Xiang Yueqin and Zhou Yunhua (57)
To Estimate the Geometrical Parameters of a Canopy from the Transmis-	

sion of Light, I. A Simulating Calculation from Transmission of Global Radiation.....Xiang Yueqin and Zhou Yunhua (68)

Part II Study on Spectrum of Solar Radiation

Introduction.....Niu wenyuan and Zhou Yunhua (80)
 Photosyntheically Active Radiation (PAR) During the Growing Season
 of WinterWheat in Beijing.....
Dong Yan, Zhou Yunhua and Zhao Wenguang (82)
 The Calculation of the UV Radiation and the Photosynthetically
 Active Radiation (PAR)Zhou Yunhua and Xiang Yueqin (91)
 The Flux Density of photons of Direct Solar Radiation in Beijing.....
Zhou Yunhua and Xiang Yueqin (103)
 The Relationship between Photons, Illuminance and Solar Radiation...
Dong Zhenguo (115)

Part IV Water Consumption of Cropfield

Introduction.....Niu Wenyuan (123)
 The Study and Analysis about Penman-Monteith Model used for Water
 Transfer Calculation in the Farm Field.....
Lu Zhenmin, Zhang Yi and Niu Wenyuan (125)
 An Experimental Study of Water Vapour and Sensible Heat Transfer
 at Different Irrigated Field.....
Lu Zhenmin, Niu Wenyuan, Zhang Yi, and Wang Shuqing (138)
 The Division of Water Transfer Forms in the Field and Corresponding
 Calculation MethodsLu Zhenmin (146)
 Use of Canopy Temperature-Evapotranspiration Model to Calculate
 Field Evapotranspiration.....
Zhang Hongru, Lu Zhenmin and Niu Wenyuan (156)
 A Farm Field Device to Measure Bowen Ratio.....
Lin Xing, Zhang Aishen and Chen Jiayi (165)

Part V The Vertical Transfer of Mass, Heat and Moment in the Atmosphere Near the Ground

Introduction.....Niu Wenyuan and Zhang Yi (170)
 The Research on the CO₂ Flux in the field Ecological System.....
 Yu Huning (171)