

高原沟壑区农田生态系统中的肥料投入

郝明德

张俊兴 胡克昌

(中国科学院水土保持研究所·陕西杨陵·712100) (长武县综合治理站)
水利部

摘要 在黄土高原大部分地区,在近段时间内,养分供应不足是限制农业生产发展的主要问题。由于有机肥几近常数供应,难能扩大,豆科养地作物面积日益减少,难能恢复,解决本区农业生态系统中的肥料投入问题,关键措施是大幅度提高化肥施用量,合理配施氮、磷化肥,提高肥料利用率,才能最大限度地发挥土地资源利用效率,满足人们对农副产品的需求。

关键词 高原沟壑区 农田生态系统 肥料投入

Fertilizer Input to Field Eco-system of Plateau-Gully Region

Hao Mingde

*(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and
Ministry of Water Resources, 712100, Yangling, Shaanxi)*

Zhang Junxing Hu Kechang

(Comprehensive Control Station of Changwu County)

Abstract Nutrients deficiency is the main problem restricting the development of agriculture production. Increasing the amount of manure is impossible, and the area of Leguminous crops declines increasingly. The key measures to solve the problem of fertilizer input are raising chemical fertilizer application, applying nitrogen and phosphorous fertilizer at a proper ratio and increasing fertilizer use efficiency.

Key words plateau-gully region; field eco-system; fertilizer input

在黄土高原沟壑区的农业生态系统中,物质投入的主要部分是肥料,肥料投入不足限制着粮食产量的提高,为了满足人们对粮食的需求,人们只有靠扩大粮田面积来实现粮食自给,长期粮食的自给性形成了封闭性的农业生态系统。由于人口剧增和耕地面积的减少,单位耕地面积土地承载力日益加重。物质循环处于低水平上的传统农业,远远不能满足人们对农产品特别是粮食的需求。长武王东沟试验区通过增加肥料投入,特别是大幅度增加化肥投入,粮食产量大幅度增加,进而带来了农村产业结构的变化,初步建成的高效农业生态经济系统进一步得到完善。

1 农田生态系统中的有机肥投入

综观粮食生产历史,即每一阶段产量都是农田生态系统中物质能量循环水平的镜像反映。试区农业生产历史上以冬小麦、谷糜、高粱、豆类种植为主,以冬小麦为主的一年一熟制,以高粱、大豆、苜蓿为倒茬作物的轮作倒茬,农家土粪及休闲制维持农田生态系统中的养分平衡,以畜力为耕作动力。经历了没有外部能量输入,完全是自然生态农业阶段,维持数千年之久,直至1963年施用氮素化肥,1970年施用磷肥,1976年通电。这种低投入低产出的自然农业,依靠粮豆草结合和农畜结合形式的养分循环模式,全年氮磷养分输入量每 hm^2 不过75kg左右,与 $900\text{kg}/\text{hm}^2$ 的单产水平相适应,此种低水平的养分循环模式已无法满足现代农业生产上的需要。随着绿肥及豆科作物面积的减少,有机肥生产因受畜禽养殖业规模限制难能扩大,加之作物高肥品种出现,养分供需矛盾日益突出,传统农业中的养分平衡模式无法维持,农业生态系统中的养分平衡须另辟途径。

1.1 有机肥

有机肥成分完全,富含有机质,大量施用有利于保持土壤有机质含量水平,同时又为农作物提供常量和微量养分,并能有效地利用农村和城镇的生产和生活的有机废弃物,是我国传统农业的特色。但有机肥受其来源限制,难能扩大。有机肥有效养分含量低、利用率低,有机肥的数量根本无法满足农业生产的需求。

有机肥主要来源于畜禽粪便,其数量多少取决于畜禽业发展规模,而畜禽业发展则受饲料和饲草资源的制约。农区畜禽业饲料主要是玉米等秋粮作物。在人均粮食无大的增长情况下,畜禽业不可能有大的增长;畜牧业具有转化农副产品、物化剩余劳动,兼有提供动力之功能,是农业生态系统物质循环中的一个环节。“养猪为积肥”的经营方式在农区能够长期存在的道理就在这里,与现时农业发展相适应,在现阶段将持续相当长时间。被一些人推崇的“猪多、肥多、粮多”模式,只不过是植物养分在土壤—作物—动物—土壤之间的一个封闭式循环。每循环一次,养分必然有所减少。故久而久之,土壤肥力不但不会递增,而只会递减。“猪多”本身不可能是起点,它有赖于“粮多”,因为农区畜牧业饲料多为玉米等秋粮作物;而“粮多”则依赖于“肥多”,“肥”这个环节先“多”,“粮”才能“多”,进而“猪多”;要维持这个循环模式运行,尚需源源不断补充“肥”。问题的焦点和难点在于,肥源在那里。

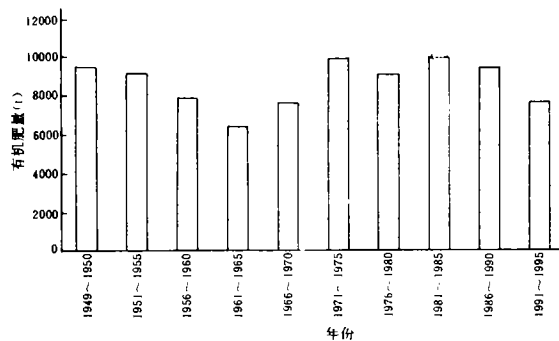


图1 王东沟试验区有机肥施用情况

笔者统计了王东沟试区自 1949 年以来有机肥施用情况(见图 1),有机肥供应量在一定水平范围内波动,平均提供有机肥 8 685t,有机肥提供的氮磷养分量每 hm^2 耕地不足 75kg,如此低的氮磷养分量是无法实现现代农业生态系统中的养分平衡,无法满足农业生产的需求。也许局部地区有机肥没有得到充分利用,但不能代替总体上有有机肥肥源不足的事实。所谓“农村有机肥来源丰富”的现象在黄土高原大部分地区是不存在的。

1.2 绿肥、豆科作物及作物秸秆

在无系统外养分投入的在 50 年代和 60 年代,农业生产系统内有 30% 农田种植豆科牧草作物及绿肥,几乎有 1/2 的粮田种在豆科槎地上,养分投入只有有机肥,施用量 $30\text{t}/\text{hm}^2$ 左右,与作物品种特性相适应,生产力较低,降水多数年份能满足需求。70 年代以前本区域粮食生产长期处于低产状况,此种封闭性农业生产系统不可能有大量的农产品输出。随着人口的增加,土地承载力的加重,豆科牧草作物、绿肥面积下降,豆科的代表作物豌豆已几近绝迹,苜蓿面积再三萎缩,从原来 10% 下降至 0.5%,豆科面积从原有 30% 下降至不足 5%,且以收获籽粒产量为目的,渐失养地之功能。豆麦轮作制已被禾本科连作所替代。尽管扩大绿肥豆科作物种植倡导者众多,但农业生产上却无响应,其原因是绿肥、苜蓿等豆科作物要以牺牲一料甚至数料粮食为代价,为目前农业生产现实所不许。加之豆科作物本身低产,经济效益甚低,对后茬粮作增产有限,增产量低于禾本科连作的效益。最重要的原因是化肥的出现。代替了土壤养分平衡的固有传统模式,使该系统中的养分循环在新的水平上达到平衡。历史上豌豆、苜蓿等豆科养地作物作为养分来源的模式已经不可能再现了。

本区域作物秸秆大部分作为饲料和燃料,部分用作工业原料,直接还田者不多。对作物秸秆直接还田或过腹还田这种养分循环模式不要期望太高。因为作物秸秆是产量的一部分,本身不可能使养分增加,仍然依靠肥料养分投入取得;随着育种技术的发展,作物的经济系数提高,秸秆的增加量有限;作物秸秆作为工业原料深加工的价值高,作物秸秆的流向是多方向的。

有机肥、豆科养地作物及作物秸秆是主要肥源、其它有机肥源种粪虽多,但是局部的、小宗的,难于改变该系统中养分匮乏的境地,现代农业生态系统中的养分平衡须另辟途径。

2 农田生态系统中的化肥投入

王东沟试区 1963 年开始施用氮肥,1970 年施用磷肥,80 年代以前化肥用量较少,由化肥提供的氮磷养分量也甚小,有机肥施用量的多少决定了粮食单产的高低。随着化肥提供的氮磷养分量增加,对粮食生产的影响越来越大。笔者统计了王东沟试验区自 1949 年以来肥料施用情况,在完全无外来养分投入的 14 年中(1949~1962 年)平均施有机肥 $22.5\text{t}/\text{hm}^2$,有机肥提供氮磷养分 $65.25\text{kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{a})$,粮食单产 $949.5\text{kg}/\text{hm}^2$;在施用有机肥和少量氮磷化肥的 19 年中(1963~1981 年),平均施化肥 70.5kg 、有机肥 24.3t 、肥料提供养分量 $805.5\text{kg}/\text{hm}^2$,粮食单产 $1261.5\text{kg}/\text{hm}^2$,1982 年以来特别是 10 年攻关以来,氮磷化肥投入量增大,满足了粮食作物对养分需求,生产实践证实了大幅度增加化肥养分投入是大幅度提高粮食产量的主导措施。

表 1 是王东沟试区自 1986 年以来化肥投入情况。“七五”化肥投入呈递增型,而“八五”则呈波动性,其原因是在特别干旱年份化肥用量有所减少,但施用总量仍较高,1993 年投入化肥量最大,比 1986 年增加 5.1 倍,其中氮投入量增加 2.8 倍,磷投入量增加 8 倍。另一显著变化是磷肥用量增加,氮磷比由 1:0.3 变化为 1:0.81~1.2,干旱年份磷肥用量较大,氮磷比在 0.8

~1.2 之间氮磷比例适宜。

表 1 王东沟试区氮磷化肥投入

kg

年份(年)	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
氮磷养分总量	18288.0	26337.5	33987.1	46076.7	59779.5	87251.7	66663.7	93722.1	80726.4	78295.9
N	14176.7	19449	24971	29428.2	29428.2	28847.5	25384.6	39465.1	26241.3	30858.8
P ₂ O ₅	4111.3	6888.5	9016.1	16648.5	26649.7	34952.1	20415.7	33062.7	31845.3	25119.0

3 王东沟试区肥料投入

图 2 是王东试区 10 年来肥料施用情况,有机肥投入总量相对稳定,所提供的氮磷养分也相对稳定,而化肥施用量变化较大,由化肥提供的氮磷养分量变化也较大,决定了氮磷供给量多少。农田生态系统中养分平衡只能依赖氮磷化肥,氮磷化肥平衡且持续性供给成为系统内养分平衡的关键,随着果树面积扩大,挂果面积逐年增多,农民经济实力增强,开始大量购进系统外油渣、羊粪等优质有机肥,这有利于系统内有机与无机养分平衡。

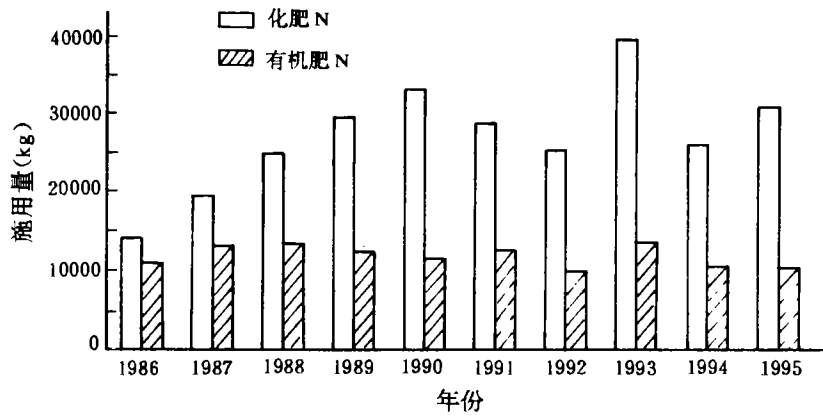


图 2 N 肥施用量图

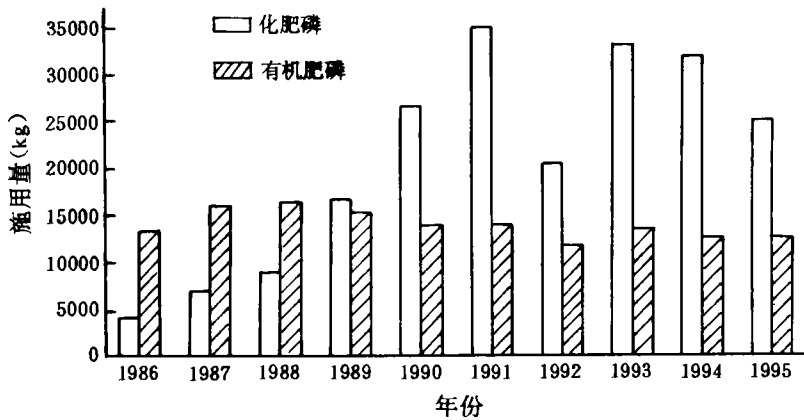


图 3 P₂O₅ 施用量图

3.1 粮食作物肥料施用变化

王东沟试区 1986 年粮食作物作面积 216.1hm² 占耕地面积 80.6%，到 1995 年降为 164.8hm²，占耕地面积 69.7%。

表 2 是王东沟试区粮食作物施肥情况，粮食作物施有机肥量占有机肥总量相对稳定，在 82.4%~95.4% 之间，施用化肥 N、P₂O₅ 量占总量比例却不断下降，氮量由 1986 年的 94.2% 下降到 1995 年的 41.8%，P₂O₅ 施用量由 80% 左右下降到 40% 左右。粮食作物氮磷化肥投入量比例下降的原因，一是肥料投入多元化，粮食面积减小，果树面积急剧扩大，由以粮食作物投入为主变化成粮食、果树经作多元投入；二是粮食作物比较效益低，远不如投入果树或其它经济作物效益高。有机肥保持相对稳定，其原因是王东沟试区果树集中在沟坡地带，距村庄较远，有机肥体积大，加之运输成本投入效益低。果农大量购买油渣、羊粪等优质有机肥则全部投入果树，未能将一部分肥料投入粮田，利润驱动影响肥料投入方向是难于用技术手段改变的，需用价格杠杆来调节方能奏效。

但可喜的一点是，粮食作物施肥水平及施用技术已被农民接受，粮食作物养分投入绝对量在王东沟试区相对稳定，有机肥提供氮磷养分量平均在 97.5kg/hm² 左右。化肥提供氮磷养分量平均在 150kg/hm² 左右。肥料投入仍有较好效益。

表 3 粮食作物有机肥投入变化

年份 (年)	有机肥施 用量(t)	占总投入 量(%)	氮肥投入		磷肥投入		平均施有机肥 (kg/hm ²)		平均施化肥 (kg/hm ²)	
			N(kg)	占总量%	P ₂ O ₅ (kg)	占总量%	N	P ₂ O ₅	N	P ₂ O ₅
1986	7874.1	93.5	13352.4	94.2	3558.5	86.6	39.3	48.0	51.0	13.5
1987	8913.7	88.4	17235.3	88.6	5311.9	77.1	44.0	53.7	64.5	19.5
1988	8921.4	86.2	21693.7	86.9	8019.2	88.9	45.9	56.1	85.5	31.5
1989	8364.1	87.7	24675.0	83.8	13048.9	78.4	45.3	55.2	103.5	54.0
1990	7686.4	87.9	26837.3	81.0	16333.9	61.3	41.4	50.7	111.0	67.5
1991	6726.7	82.5	19604.5	68.0	14554.1	41.6	43.7	53.3	97.5	72.0
1992	6512.6	90.2	17695.7	69.7	13186.7	64.6	36.0	44.1	75.0	55.5
1993	6283.9	84.3	21863.6	55.4	15540.5	47.0	38.9	47.4	103.5	73.5
1994	6455.9	82.4	14627	55.7	12456.8	39.1	45.4	55.7	79.5	67.5
1995	7362.8	95.4	12892.6	41.8	10355.2	41.2	58.2	71.1	78.0	63.0

3.2 果树肥料投入变化

试区所在的长武县是个新果区。果树是近几年发展的新产业。试区目前果树面积已达 113hm²，其中挂果面积 39hm²。表 3 是果园肥料投入情况，1988 年肥料投入量占总氮磷养分量 2.4%，到 1995 年则占试区总量的 1/3，1995 年氮肥的投入占化肥总 N 量 47.4%，磷肥总量 48.5%，近乎一半，有机肥所占比例较小，原因是果园距村庄远，有机肥体积大，运输成本高，效益低，果园施用有机肥都是从系统外购买油渣、羊粪等有机质肥。果树肥料投入成了试区肥料的重心，1992 年冬，试区农民一次购买优质有机肥金额在 10 万元以上。高投资带来高效益，1994 年仅果业一项收入占总收入 31.9%，果业纯收入占农民人均纯收入的 32.8%，凡是经营果园的农户都成了富裕户，果业成了农民创收致富的主要行业之一。

表3 果树肥料投入变化

kg

年份(年)	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
N 总量	1525.1	3182	3960	7558	466.2	15985.7	10573.9	14879.6
其中: 化肥 N	1525.1	3182	3960	5488	4170	12020	8845	14622
有机肥 N				2070	492.2	3965.7	409.4	257.6
P ₂ O ₅ 总量		1560	7964	16436	3881.4	12588.8	18263.0	12654.9
其中: 化肥 P ₂ O ₅		1560	7964	15320	3616	10778	16340	12516
有机肥 P ₂ O ₅				1116	265.4	1810.8	220.7	138.9
氮、磷养分量	1525.1	4742	11924	23994	8543.6	28574.5	28836.9	27534.5

3.3 其它作物肥料投入

经济作物主要是瓜类、蔬菜、烤烟,其肥料投入量在10%左右,烤烟是指令性计划种植,面积稳定,有机肥很少施用,施化肥氮49.5kg/hm²,P₂O₅45kg/hm²左右,肥料投入量明显不足。瓜菜肥料投入量较足。油料作物种植面积小,肥料投入量少。肥料投入量在作物之间差异较大,主要是由价格差异所产生的。

4 结论与建议

(1)黄土高原沟壑区以有机肥、豆科绿肥等养地作物轮作倒茬为主的养分平衡模式已不能满足现代社会对农副产品的需求,其原因是有机肥受畜禽养殖规模影响难能扩大,豆科绿肥受粮食面积压力不能恢复,作物秸秆利用多元化难于还田,禾本科连作已成唯一的种植方式,传统农业中的养分平衡模式已无法维持,农田生态系统中的养分平衡须另辟途径。

(2)化肥的出现打破了原有的低投入低产出的平衡模式,氮磷化肥配合使农产品产量增加,质量有所提高,连续施用化肥并未使土壤性质恶化,土壤肥力并未下降而有上升,这是由于化肥的作用不仅提高了籽粒产量,也使作物的根茬及残茬量增多的缘故,化肥氮对增加土壤氮库作用较微,化肥磷、钾对土壤磷库、钾库有明显增加作用。这说明化肥具有培肥土壤,增加土壤肥力的作用,关键是化肥的配比和施用量。

(3)农业生产的持续发展依赖于氮磷养分平衡及持续性供给,在有机肥提供氮磷养分有限的条件下,氮磷化肥的持续供给和合理施用是农业生产持续发展的保证。