

# 黄土区氮磷钾化肥肥效研究进展

彭 琳

(中国科学院水土保持研究所·陕西杨陵·712100)  
水利部

黄土区氮磷钾化肥肥效研究开始于本世纪30年代,据史进元调查,1933~1935年英国博内门肥料公司干事屠启澍将化肥引入黄土区,化肥研究至今63年中,经历了三起二落,三起是:1933~1941年、1953~1965年与1979~1995年,二落是:1942~1952年与1966~1978年。现分三个时期进行论述。

## 1 建国前至建国初期氮磷钾化肥肥效研究进展——肯定氮肥肥效

建国前至建国初期1933~1952年为氮磷钾化肥肥效研究第1时期。其前期1933~1941年为化肥研究发展期,当时正值黄土区特别是关中地区遭受严重旱灾之后,当地政府和人民十分重视发展农业生产,大力发展水利,引进化肥,创办农业学校。1935~1946年何文骥屠启澍在陕西省泾惠灌区连续进行了10年15季棉作物施肥试验。1936年西北农林专科学校农艺组农场进行了棉花、小麦氮磷钾三要素试验与棉花氮磷配合方式与施用量试验以及小麦硫酸铵施用量及施用时期试验。该校管超于同年在蔬菜园艺场还进行了茄子肥料三要素试验。1936~1940年前农林部中央农业实验所组织进行了第一次全国性化肥肥效试验,在全国14个省68个地点的小麦、棉花、玉米、谷子、水稻、油菜等作物上进行了156个试验,其中:在黄土区山西省的太谷、寿阳2县进行小麦、棉花、谷子化肥试验7个,在陕西省的武功、泾阳、三原、华县等4县进行小麦、棉花、谷子、玉米化肥试验16个,共计在黄土区6县进行化肥试验23个,试验结果表明,施用氮肥增产显著和极显著试验16个,则氮肥需要度为69.57%,施用磷肥增产和减产极显著各1个,余皆不显著,施用钾肥增产或减产各只1~4kg,差异均未达到显著标准。1941年张乃凤在全国化肥试验总结《地力之测定》一文中认为黄土区土壤“氮素养分相当缺乏,磷素与钾素养分相当丰富。”还认为“玉米、小米(谷子)需要氮肥较棉花和小麦为多。”在黄土区进行的试验结果与此结论相符,小麦肥料试验9个,施氮增产极显著6个,则小麦对氮肥的需要度为66.67%,棉花肥料试验8个,施氮增产极显著4个,则需要度为50.00%,谷子、玉米对氮肥的需要度均达到100%。张乃凤在《地力之测定》一文中对黄土区土壤养分的论述,在当时及其以后相当长时间内对黄土区化肥肥效研究与施用起着重要作用。稍后,李国桢(1948)在《陕西小麦》一书中也得出相同论断,他根据金陵大学泾阳西北农事试验场(灌溉区)及陕西省农业改进所大荔农场(旱地)进行的化肥不同用量试验结果指出:“本省土壤栽培小麦以氮肥最缺乏,磷肥次之,钾肥不感缺乏,施用磷肥适可而止,氮肥在旱地亦不宜施用过多,免致得不偿失,钾肥可不必施用”。在该试验中,灌区亩施N2~4kg,亩产小麦120.0~148.5kg,较对照110.0kg增产9.09%~35.0%,旱地分别为81.16~

① 收稿日期:1995-06-10

83.66kg、71.67kg,增产13.24%~16.73%。1939年前农林部中央农业实验所与陕西省合作,在泾阳进行的肥料试验结果表明,亩施N 2~4kg可增产棉花21.0~44.1kg,则每公斤N增产棉花10.5~11.0kg,武功试验每公斤N只增产棉花6.90kg。因此认为“灌溉与氮肥间有显著之反连应,以施用氮而不灌溉之产量最佳。”对磷肥肥效则认为“施磷与不施磷无显著之差别,可见武功土壤中磷质并不缺乏,此点与以往实验结果至为符合。”由于当时研究者一致认为黄土区土壤“氮素养分相当缺乏,”最需氮肥,因而前农林部中央农业实验所对“我国各省氮磷化学肥料需要量之估计”中,对黄土区的山西、陕西2省估计了氮肥需要量,未估计磷肥与钾肥的需要量。1946年泾阳开始购进化肥,1947年泾阳、三原、高陵在主要棉花产区大田施用硝酸铵化肥79 983kg(合79.98t)。当时有些试验结果证明磷肥与钾肥肥效明显,但未受到研究者重视,例如,泾阳灌区与大荔旱地的小麦肥料试验,施磷处理较对照增产12.13%~15.22%,平均为13.93%,每公斤 $P_2O_5$ 增产小麦2.74~7.50kg,平均为4.35kg。与施用氮肥肥效相近,施氮处理较对照平均增产16.13%,每公斤N增产小麦5.02kg。还有茄子三要素肥料试验的钾肥效果也十分显著,施钾处理的茄子果实重量较不施钾处理高32.80%~36.13%,单施钾肥较无肥对照增产33.44%,较施氮处理增产16.28%。作者在结论中指出,“钾质肥料为茄子最感需要之肥料,用之能使株体强壮,果数增加,果实肥大。氮质肥料对于茄子占三要素中之次要地位,对于株之发育较为重要。”可惜这些重要结论未能受到当时及其后的一些研究者重视,以致磷肥特别是钾肥研究长期停滞不前,从而阻碍了这两种肥料在农业生产中广泛应用。这一时期氮磷钾化肥研究的主要成就是肯定了氮肥在黄土区施用的效果,指出黄土区土壤普遍缺氮,急需补充氮肥。有些地区农田开始施用氮素化肥。但广大农村仍施用农家肥而未用化肥。

此期的后期(1941~1952年)为氮磷钾化肥肥效研究停滞期,由于战争连绵不断,社会动荡不安,以致黄土区化肥肥效研究日渐减少,发展停滞。

## 2 建国初期至全国科学大会氮磷钾化肥肥效研究进展——肯定磷肥

### 肥效

建国初期至全国科学大会(1953~1978年)为氮磷钾化肥肥效研究第2时期,此期前13年(1953~1965年)为研究发展期,后12年(1966~1978年)为研究停滞期。

针对以往关于黄土区磷肥肥效试验结果以及对土壤磷素的论述,从1953年开始,黄土区各地广泛开展了磷肥肥效试验研究。但试验结果“非常混乱”,除少数试验施用磷肥增产外,大多数不增产,甚至减产,使磷肥研究陷入困境。

在此期间,笔者与彭祥林在中国科学院土壤研究所黄土试验站进行了以研究磷肥肥效为主的化肥田间试验,设计54个处理,共216个小区。1953年开始,1958年中止,持续进行了5年定位试验。根据5年田间试验结果与土壤植物分析资料,对黄土区土壤肥效作了肯定结论。在本试验中,小麦施用磷肥的增产率每年均随用量增加而增加,而且施用年限愈长,增产率亦愈大。经济效益也很明显,每亩施 $P_2O_5$ 1、2、4、8kg,平均增产小麦33.93kg、52.14kg、75.50kg、90.31kg,则每公斤 $P_2O_5$ 可增产小麦33.93kg、26.07kg、18.88kg、11.29kg。因而明确指出:在黄土区土壤上“施用过磷酸钙是有效的,而且是必要的。”还针对当时为防止过磷酸钙被“石灰固结”而作成粒状施用的作法明确指出,“作为提高磷肥利用率而把过磷酸钙作成粒状施用是没有必要的。”这与谢建昌用苜蓿及鸡脚草为供试植物来研究黄土性土壤对磷及钾的供应力所得的结论相一致,他认为,“在黄土性土壤中,磷肥以粒状施入是不必要的,甚至是不适宜的”。这些研究结果和结论为磷

肥推广应用提供了科学依据,也促进了磷肥研究工作深入开展。此后,磷肥研究十分活跃,对磷肥的施用条件与施用方法进行广泛研究。

## 2.1 土壤供磷能力与作物需肥特性

黎耀辉(1963、1965)研究表明,在黄土区土壤上采用 Olsen 法测定有效磷、硝化力法测定有效氮能较好地反映土壤氮磷供应状况,并提出有效磷含量和有效氮的比值作为合理施用磷肥的指标,土壤有效磷( $P_2O_5$ )含量小于 10mg/kg,施用磷肥有稳定效果,10~20mg/kg 效果不稳定,大于 20mg/kg 则施用磷肥难于生效。如将土壤有效氮的影响考虑进去,则为 N/P 比值大于 3,施用磷肥有稳定增产效果,小于 1 则难于生效,1~3 效果不稳定。陶勤南(1963)提出植株体内  $CaO/P_2O_5$  比值大于 2、N/ $P_2O_5$  比值大于 3 可作为“喜磷作物”的指标,这类作物在缺磷土壤上施用磷肥效果较高,而且肥效稳定。大部分豆科作物以及油菜、荞麦均为“喜磷作物”。

## 2.2 不同形态磷肥肥效及磷肥与氮肥有机肥配合施用效果

黎耀辉(1963b)研究结果表明,磷酸一钙形态磷肥(过磷酸钙等)肥效最高,磷酸二钙形态磷肥(如沉淀磷酸钙)的肥效与过磷酸钙相近或稍差(相当于过磷酸钙肥效的 80%),磷酸三钙形态磷肥(如磷灰土粉等)在石灰性土壤施用不显肥效。热制磷肥中的钙镁磷肥与沉淀磷酸钙的肥效相近(相当于过磷酸钙肥效的 78%),热制磷肥的碱熔磷肥在玉米上施用相当于过磷酸钙肥效的 94%,热制磷肥中的脱氟磷肥在小麦上施用相当于过磷酸钙肥效的 51%。并认为所有热制磷肥的成本均较低,又可消耗硫酸,在本区土壤上有应用前途。

磷肥与氮肥或有机肥配合施用,并非均能提高磷肥肥效,从当时各地田间试验资料分析,连应多不明显。只有在氮磷具缺土壤上,磷肥与氮肥配施方可提高磷肥肥效,并有连应效果。例如,陕西省土壤肥料研究所于 1962 年在该院农场进行小麦化肥试验结果表明,单施氮肥处理小麦亩产 105.75kg,较对照 62.65kg 增产 43.10kg,单施磷肥 68.25kg,较对照增产 5.60kg,磷肥与氮肥配施为 133.25kg,较对照增产 70.60kg,较氮磷单施增产之和(48.70kg)还高 21.9kg,即 45.63%,磷肥与有机肥配施交互效应不明显。

当时还认为给豆科作物和绿肥施用磷肥,增进豆科作物和绿肥对氮的吸收,用作绿肥或进行轮作,从而达到“以磷增氮”之目的。陶勤南认为“以磷增氮是一项合理利用磷肥的有效措施,不仅给磷肥的应用提出了新的途径,也对开辟氮源有一定作用”。

## 2.3 磷肥施用与环境条件

陕西省土壤肥料研究所田间试验结果表明,磷肥肥效与离村距离成正比,在村边地施磷无效,小麦产量为对照 99.1%,距村 200m 施磷增产 8.94%,与氮配施,较对照增产 1.13 倍,较单施磷肥也增产将近 1 倍,彭祥林等研究结果表明,距村远的土壤全磷与有效磷含量均低于距村近的土壤,全磷(P)含量为 675mg/kg,有机磷为 183mg/kg;Ca-P 为 417mg/kg、Al-P 为 16mg/kg 分别较近村地低 12.57%、7.58%、17.59%、42.86%,远村地有效磷和水溶磷未测出,近村地分别为 12mg/kg 和 4kg/kg。

## 2.4 磷肥施用方法

磷在土壤中扩散距离是合理施用磷肥的基础,张钟先于 1962 年采用放射性同位素示踪法研究了黄土区几种土壤中磷素的扩散过程,结果表明,磷在土壤中扩散移动范围很小,即使在田间持水量条件下,一般只能扩散到距磷源 2~3cm 处,只有质地疏松的黄绵土可扩散至 4cm 处,且其中有 80%左右截留在 0.3cm 范围内,10~15 天就基本达到平衡。林成谷(1964)研究结果也表明,颗粒磷肥中的有效磷多集中在颗粒周围 0.5cm 以内,只有颗粒较大者磷酸才能扩散移动到 1

~3cm 以外。因此,磷肥集中施于根际附近较好。

此期在氮素化肥研究方面,笔者等(1985)对黄土丘陵区坡地耕种土壤施用矿质氮肥的研究结果表明,坡耕地施用氮肥,肥效极显著,氮肥无论是单施还是与磷钾配施,均分别较不施氮处理小麦产量高 1~3 倍,每公斤 N 增产小麦 12~19kg,与台塬区、灌溉区肥效相近,经济效益明显,从而肯定了氮素化肥在坡耕地施用的效果。笔者等于 1955~1958 年对氯化铵肥效的研究结果表明,氯化铵与硫酸铵的肥效相近,一般为 0.95~1.17,少数达到 1.55~2.81。陕西省土壤肥料研究所(1963b)试验结果也表明,氯化铵和硫酸铵具有同等肥效,还可提高谷类作物籽粒淀粉含量,“因此,在硫酸铵供应不足的情况下,可以用一部分氯化铵满足农业生产的需要,施用技术与硫酸铵相似,但在烟草、薯类、荞麦等作物上不宜施用。”

这一时期主要成就是肯定了磷肥在黄土区施用的效果,修正了以往对磷肥的认识,还提出了合理施用磷肥的指标、条件与方法。从而使磷肥在黄土区农业生产中开始广泛应用。1957~1978 年 21 年间陕西省共施用磷肥(按  $P_2O_5$  计)15.75 万 t。施用量逐年增加,1957 年前磷肥很少施用,1957~1963 年每年施用 0.12~0.198 万 t,平均为 0.170 万 t,1964~1972 年每年施用 0.360~0.502 万 t,平均为 0.435 万 t,1973~1978 年每年施用 1.431~2.623 万 t,平均为 1.774 万 t。此期氮肥施用增加更快,例如,陕西省 1950 年只施用氮肥(按 N 计)0.010 万 t,1960 年为 1.197 万 t,1970 年为 8.232 万 t,1978 年为 221 823t,为 1950 年的 2217 倍,1953~1978 年共施用氮肥 156.36 万 t。

1966~1978 年由于社会动荡,一些化肥田间试验与实验室研究工作被迫中止,黄土区各地氮磷钾化肥研究再度陷入停滞期,只有少数土壤肥料科技人员在极端困难条件下开展少量研究工作。

### 3 改革开放后氮磷钾化肥肥效研究进展——肯定钾肥肥效

1979 年至今为氮磷钾化肥肥效研究第 3 时期。建国前后一些研究者对黄土区土壤施用钾肥均持否定意见。张乃凤(1941)、李国桢(1948)认为黄土性土壤“钾素养分相当丰富”,“钾肥可不必施用”。于天仁(1950)根据土壤代换性钾测定结果认为,黄土性土壤“因其在干燥的气候环境下,土体中碱土金属及碱金属均未滤失,……其代换性盐基含量仍极高,该项土壤之钾质养分,如予以适当休地时间,当无缺乏之虞。”谢建昌(1958)研究表明,“黄土性土壤含可供植物利用的钾很多,钾肥的施用未使产量增加。”

70 年代中期,钾肥开始在苹果上表现肥效,冯思坤(1989)于 1974~1984 年在黄土区南缘进行了 11 年苹果施钾试验,使用钾肥(硫酸钾)平均每年每株产量为 66.57kg。较未施钾肥对照 55.86kg 增产 19.17%。从各年来看,低产年钾肥增产率高,丰产年增产率低,1983 年为低产年,对照苹果株产 36.60kg,施钾处理为 60.40kg,较对照增产 65.03%;1984 年为高产年,对照与施钾处理分别为 148.00kg 和 161.05kg,施钾只增 8.82%。嗣后,范德纯、杨鉴昉于 1979~1989 年对不同土壤不同作物进行钾肥肥效试验,试验结果表明,供试的 32 种作物(包括农作物 18 种、蔬菜 10 种、绿肥 4 种)对钾敏感度各不相同,对钾高度敏感的作物有:烟草、西瓜、谷子、小麦、番茄、大辣椒、芹菜、线辣椒、一串红、葱。田间试验也证明,番茄、大辣椒、芹菜施钾效果明显,还可提高其品质,如:施钾的大辣椒、线辣椒 Vc 含量较对照增加 8.1%~105.8%,番茄和西瓜果实含糖量分别提高 13.7% 和 10.2%,而且不同土壤施钾的肥效差异也很大,试验结果表明,榆林滩地的砂土和大荔的细砂土施用钾肥增产极显著,周至的淤砂土和绥德的黄绵土施钾效果显著,兴平和武功

的塋土和铜川的黑垆土施钾效果较差。这一时期各地常有钾肥增产结果出现。笔者等(1986)在旱地进行小麦化肥试验,发现在施用氮磷的基础上施用钾肥处理(NPK)小麦亩产 186.5kg,较对照(NP)162.5kg 增产 14.77%,王祖训(1982)在同仁县良种场灌淤土上进行春小麦化肥试验,也出现相似资料,NPK 处理春小麦亩产 437.8kg,较对照(NP)336.7kg 增产 30.03%,徐福利等(1989)在米脂黄绵土上进行玉米施用钾肥试验结果表明,在 7 组试验中,有 3 组施钾处理(NPK)较对照(NP)增产 16.40%~27.24%,肥效明显,另 4 组只增产 2.28%~3.98%,肥效不显著。

在钾肥肥效初步肯定后,一些科技工作者对钾肥适宜用量展开了研究,闫安强(1993)、侯高礼(1994)对灌溉区水地小麦、玉米施钾量进行试验结果表明,小麦亩施  $K_2O$ (施用钾肥为硫酸钾) 2.5、5.0、7.5、10.0、12.5kg,亩产分别为 356、396、404、436、400kg,分别较不施  $K_2O$  的对照 296kg 增产 20.27%、33.78%、36.49%、47.30%和 35.17%。产量以亩施  $K_2O$  10kg 为最高。玉米亩施硫酸钾 5、10、15、20kg(约含  $K_2O$  2.5、5.0、7.5、10.0kg),亩产分别为:427.77、473.53、506.26、456.03kg,产量以亩施硫酸钾 15kg(含  $K_2O$  约 7.5kg)为最高,通过回归分析,最大利润施量为 10.06kg(含  $K_2O$  约 5kg)。杨进荣(1995)对丘陵区旱地梯田马铃薯施钾进行试验结果表明,亩施  $K_2O$  7、14、21、28kg,单施条件下,马铃薯亩产分别为 840、1 060、1 000、960kg,较不施钾的对照 896kg 增产-6.25%、18.30%、11.61%、和 7.14%,与氮配施的产量分别为 1 340、1 468、1 420、1420kg,较单施 N 13.8kg 的对照 1 140kg 分别增产 17.54%、28.77%、24.56%、24.56%。不论是单施还是与氮配施,施  $K_2O$  处理的增产量与增产率均以亩施  $K_2O$  14kg 为最高。经回归分析,经济最佳施肥量为 9.71kg,略高于水地。

其次,为了合理施用钾肥,一些科技工作者对土壤供钾能力进行了深入研究。周建斌(1992)研究结果表明, $N_2P_2$ (每亩每季施尿素 15kg+每年施  $P_2O_5$  10kg)处理 1990 年土壤供钾强度  $AR^{\circ}$  为 0.000 62,较 8 年前 1982 年 0.001 00 下降 38.0%,而  $N_2M_3$ (每亩季施尿素 15kg+每年施厩肥 10t)处理则由 1982 年 0.001 2 上升至 1990 年 0.002 4,较 8 年前增加了 1 倍。土壤供钾容量( $\Delta K$ )亦呈相同趋势, $N_2P_2$  处理 1990 年为 1.60mmol/kg,较 1982 年 2.90mmol/kg 下降 44.83%,而  $N_2M_3$  处理分别为 3.60mmol/kg 和 2.50mmol/kg,增长 44.00%。土壤钾素缓冲能力(PBC<sup>\*</sup>)则相反, $N_2P_2$  处理 1990 年为 100,较 1982 年增长 20.48%, $N_2M_3$  处理相应为 65 和 127,下降 48.82%。因此,在连续长期施用氮磷化肥条件下,为维持并提高土壤供钾容量与强度,保持长期施用氮磷化肥肥效,必须配施足量有机肥与钾肥。

此期在氮磷化肥研究方面的进展主要是取得一批长期定位化肥试验结果,这些试验分布在不同土地类型区,有平原灌溉区的水地,也有黄土台塬区的旱地,还有沟壑丘陵区的地。

在旱地长期持续施用化肥,氮肥磷肥单施的增产率不如配施,干旱年增产量不如丰水年。由党廷辉、彭琳(1995)在渭北旱塬地区进行的试验资料可以证实,在 1984~1993 年定位试验所取得 9 年试验结果中,磷肥单施有 4 年增产(增产率在 5%以上),3 年减产(减产率超过 5%),2 年平产(产量增减不超过 5%);氮肥单施有 5 年增产,平产与减产各 2 年。氮肥与磷肥配施则年年增产,增产率为 20.22%~174.97%,平均为 94.57%,同时其增产量与降水量密切相关,降水多则增产量高,例如,1992 年为干旱年(年降水量为 358.7mm),NP 处理小麦亩产 95.8kg,只较对照增产 28.8kg/亩;1986 年为平水年(年降水量 503.6mm),NP 处理亩产 243.5kg,较对照增产 104.0kg;1989 年为丰水年(年降水量 784.3mm),NP 处理亩产 368.3kg,较对照增产 174.1kg。并且 P 处理的小麦产量与降水量呈显著正相关。化肥与有机肥配合施用还可使作物高产稳产,周广业与丁宁平(1991)在陇东旱塬进行的田间试验资料表明, $N_3M_3$ (每亩年施 N6kg+土粪 6t)

处理 1985 年和 1986 年玉米亩产超过 500kg (548.8~562.3kg), 较同年对照增产 23.15%~25.41%, 较本处理开始第一年(1979 年)276.9kg 增产 98.19%~103.07%。小麦也呈相同趋势, 1982~1984 年  $N_3M_3$  处理亩产 334.0~358.4kg, 较同年对照增产 21.94%~38.22%, 较本处理小麦种植第一年(1981 年)172.0kg 增产 94.19%~108.37%。

在水地化肥与有机肥配合长期施用可保持土壤养分平衡, 作物高产稳产。高宗(1992)于 1980~1990 年在杨陵水地进行试验结果表明,  $N_8P_4M_{10}$  (每亩施  $N_8kg + P_4kg +$  土粪 10t) 小麦平均(1980~1990 年 10 年平均值, 下同)亩产为 336.9kg, 玉米 483.4kg, 全年共产粮 820.3kg。较不施肥对照 337.0kg 增产 143.4%, 较单施化肥( $N_8P_4$ )处理 714.6kg 增产 14.79%, 较单施土粪( $M_{10}$ )处理 645.5kg 增产 27.08%。并且土壤养分变化明显, 对照(不施肥)速效磷明显下降, 年均下降 3mg/kg, NP 处理速效钾下降迅速, 年降低量约 12~13mg/kg, 而亩施土粪 10t( $M_{10}$ )处理可使土壤速效磷年均增加 8~20mg/kg, 速效钾年均增加 8mg/kg。周建斌、李昌纬(1993)于 1982~1990 年在关中水地上进行的试验也得类似结果, 也是化肥与厩肥配施产量最高。根据试验资料计算, 1982~1990 年小麦+玉米全年平均产量顺序为:  $NM > NP > M > N > P, CK$ 。氮素化肥与厩肥(每季亩施尿素 7.5~22.5kg+每年亩施厩肥 2.5~10t)配施处理(NM)小麦+玉米全年平均总产为 667~771kg, 平均为 731kg (标准差为 28.9kg,  $n=9$ ); 氮磷化肥(每季亩施尿素 7.5~22.5kg+每年亩施  $P_2O_5$  5~10kg)配施处理(N)为 513~678kg, 平均为 604kg (标准差为 64.7kg,  $n=6$ ); 单施厩肥(每年施厩肥 2.5~10.0t)处理为 422~675kg, 平均为 542kg。单施氮肥(每季亩施尿素 7.5~22.5kg)处理为 345~385kg, 平均为 371kg, 单施磷肥(每年亩施  $P_2O_5$  5~10kg)处理为 227~252kg, 平均为 240kg, 与对照产量 249kg 相近。氮肥与有机肥配施(NM)较对照增产 448kg, 不仅较氮磷化肥配施增产(35kg)高 26.20%, 还较厩肥、氮肥单施增产之和( $122+293=415kg$ )高 7.95%, 而且单位氮肥增产量也以配施为高, 氮肥与厩肥配施(NM)每 kg 尿素增产小麦 9.60~33.60kg 或玉米 10.89~36.00kg, 氮肥与磷肥配施(NP)则分别增产 8.18~19.07kg 或 8.09~19.60kg, 而单施氮肥(N)只增产小麦 2.45~5.47kg 或玉米 3.56~7.33kg。同时, 厩肥与氮肥配施还可提高单位厩肥增产量,  $NM_1$  (每年亩施厩肥 2.5t+每季亩施尿素 7.5~22.5kg)处理, 每吨厩肥增产粮食(小麦+玉米)128.8~136.4kg, 超过吨肥担(100kg)粮, 平均为 133.1kg, 较等量厩肥(2.5t)单施增产 69.2kg 高近 1 倍(92.24%)。  $NM_2$  (每年亩施厩肥 5t+每季亩施尿素 7.5~22.5kg)处理为 68.4~78.6kg, 平均为 73.7kg, 较等量厩肥(5t)单施增产 56.2kg 高 31.14%。长期施用厩肥可显著提高土壤中有有机质、全氮、全磷、碱解氮和有效磷含量, 厩肥用量愈大, 施用年限愈长, 土壤中有有机质与全氮含量增加亦愈多。

在黄土丘陵区旱坡地的试验结果与灌区水浇地、旱塬旱作地相同, 化肥与有机肥配施肥效高于单施。赵更生(1993)于 1983~1990 年在陕北安塞县旱坡地进行的试验结果表明, 化肥与有机肥(每年亩施  $N_3.50kg + P_2O_5$  1.75kg+有机肥 500kg)配施处理(MNP)谷子年均(4 年平均, 下同)亩产 126.8kg, 氮肥与有机肥(每年亩施  $N_3.50kg +$  有机肥 500kg)配施处理(MN)为 101.6kg, 氮磷化肥(每年亩施  $N_3.5kg + P_2O_5$  1.75kg)配施处理(NP)为 95.1kg, 单施有机肥(M)、磷肥(F)、氮肥(N)分别为 64.6kg、58.8kg、和 49.1kg, 不施肥对照(CK)为 47.1kg。则化肥与有机肥配施增产率最高(169.21%), 其次是氮肥与有机肥或磷肥配施, 增产率为 115.71%和 101.91%, 各类肥料单施只增产 4.25%~37.15%, 糜子、荞麦产量亦呈相同趋势, 而且增产率更高, 糜子配施增产 347.15%~455.44%, 单施只增产 2.59%~154.40%, 荞麦配施增产 367.53%~547.42%, 单施增产 110.31%~170.62%。

这一时期主要成就是肯定了钾肥在黄土区的肥效,同时建立了长期定位试验并取得初步研究结果。80年代以来,钾肥开始大面积应用并不断扩大,1985年黄土高原地区钾肥( $K_2O$ 、下同)施用量达23 311t,至1990年增至39 926t,增加了16 615t,年均3 323t。

根据黄土区土壤养分含量、作物对各类化肥的反映,对耕地需要氮磷钾的程度进行粗略估计,黄土区土壤氮素含量绝大多数不丰,为保持农业生产持续增长,几乎所有耕作土壤都需补给氮肥,缺磷土壤分布比较分散,虽然近年磷肥施用较多,但有机肥用量相对减少,需要补充磷肥的耕地面积将不少于1/2,黄土区钾素含量丰富,只有局部土壤常因氮磷肥施用过多而钾素相对不足,或者栽培需钾较多、对钾敏感的作物、蔬菜、果树需要补充钾肥,需要施钾耕地面积将不超过1/5。

#### 参考文献 46 篇略

(上接第60页)

- 16 席承藩. 土壤分类学. 北京农业出版社, 1994
- 17 贾恒义. 中国古代引浑灌溉的研究. 农业考古, 1984, (1)
- 18 贾恒义. 土壤资源. 见: 黄土高原杏子河流域自然资源与水土保持. 陕西科学技术出版社, 1986
- 19 贾恒义. 黄土区非代换性钾与土壤发育的关系. 土壤学报, 1988, 25(4)
- 20 贾恒义. 北京引浑灌溉初步研究. 农业考古, 1989, (1)
- 21 贾恒义. 黑垆土非代换性钾剖面分布特征的研究. 水土保持通报, 1990, 10(3)
- 22 贾恒义. 接土非代换性钾剖面分布模型与系统分类. 水土保持通报, 1994, 14(3)
- 23 贾恒义. 黄土高原蒿属植化学元素特征. 西北植物学报, 1995, (2)
- 24 贾恒义等. 黄土高原黑垆土地区土壤矿物元素的地化学特征. 地理科学
- 25 贾恒义等. 堆垫旱耕人为土的地球化学特征. 土壤学报
- 26 贾恒义. 中国古代人为土的形成. 农业考古
- 27 贾恒义. 黄土高原灌溉土的初步研究. 水土保持通报
- 28 贾恒义. 黄土高原土壤钾素迁移富集与土壤生态环境. 1995 西北农业大学 60 校庆论文集
- 29 贾恒义. 黄土地层古土壤非代换性钾与古气候波动
- 30 赵景波. 西北黄土区第四纪土壤与环境. 陕西科学技术出版社, 1994
- 31 龚子同. 面向 21 世纪的土壤地理学. 土壤学进展, 23(1)