广东省60年水稻肥料利用率综述

董稳军[1,2]，黄 旭[2]，郑华平[1,3]，徐培智[1,2]，张仁陟[1]
(1.甘肃农业大学资源与环境学院，甘肃 兰州 730070；2.广东省农科院土壤肥料研究所，广东 广州 510640；
3.甘肃省科学技术厅，甘肃 兰州 730030)

摘 要：通过系统整理分析60年来广东省在水稻肥料利用率上的研究文献，结果表明，广东省氮、磷、钾肥利用率的均值分别为32.56%、23.17%和44.46%，随着施肥量的增加，氮、磷、钾的肥料利用率呈下降趋势。其中氮肥和磷肥利用率在1949—1980年、1980—2000年和2000—2010年3个阶段均呈"高—低—高"趋势变化，但钾肥利用率1980—2000年间为47.69%，高于2000—2010年的39.98%。不同施肥技术下氮肥利用率差异较大，控释肥技术为47.20%，配方施肥技术为36.65%，常规施肥技术为26.18%，从产量和肥料利用率层面来考虑，控释肥技术是目前最优的施肥技术。

关键词：肥料利用率；施肥；广东省；水稻
中图分类号：S511.062 **文献标识码**：A **文章编号**：1004-874X(2012)07-0076-04

Review on fertilizer use efficiency of Guangdong over the past sixty year

DONG Wen-jun[1,2], HUANG Xu[2], ZHENG Hua-ping[1,3], XU Pei-zhi[1,2], ZHANG Ren-zhi[1]
(1.*College of Resources and Environmen, GanSu Agricultural University, Lanzhou* 730070, *China*;
2.*Soil and Fertilizer Institute, Guangdong Academy of Agri-Sciences, Guangzhou* 510640, *China*;
3.*Department of Science and Technology of Gansu Province, Lanzhou* 730000, *China*)

Abstract: The results of fertilizer use efficiency during the past 60 years were systematically settled and analyzed. The results showed that: in Guangdong Province, the averages fertilizer utilization of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) were 32.56%, 23.17% and 44.46%, respectively. The fertilizer utilization about nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) was respectively decreased with the increase of the amount of fertilizer application. The utilization of N and P fertilizer showed a tendency of high - low - high in three stages from 1949 to 1980, 1980 to 2000, and 2000 to 2010 years. However, the utilization of K fertilizer from 1980 to 2000 (47.69%) was higher than that from 2000 to 2010 (39.98%). In addition, the nitrogen use efficiency (NUE) of different fertilization technologies was different. The NUE of controlled release fertilizer technology, soil testing and formulated fertilization and conventional fertilization were 47.20%, 36.65% and 26.18%, respectively. Taking yield and fertilizer use efficiency into account, controlled release fertilizer technology is the optimal technology at present.

Key words: fertilizer use efficiency; apply fertilizer; Guangdong province; rice

随着人口的增加和耕地的减少，我国粮食安全与资源消耗和环境保护的矛盾日益尖锐[1]。化肥是农业生产的物质基础，肥料投入占农业全部投入物资的1/2[2]，农业生产由于有了化学肥料，才能提供和基本满足人口膨胀及其他行业需求的粮食[3]，肥料特别是化肥的合理施用，在确保我国粮食的现实安全和持续安全中都发挥着重要作用[4]。

由于肥料的增产作用显著和经济效益的诱惑以及保证粮食安全的需要，致使农业生产过量施用化肥，导致投入到农田的化肥有明显的递增趋势[3]，带来的后果是肥料资源的浪费和环境污染，肥料利用率(肥料养分回收率)低。通过合理施肥来提高肥料利用率，有效发挥化肥在农业生产的重要作用，减少污染和浪费，已成为当今肥料科学的重大研究课题[5-7]。

广东省地处热带、亚热带，高温多雨，虽然有利于养分的运转，但肥料养分的挥发损失及淋溶流失较大，肥料利用率较低。因此前人在降低氮素损失和提高氮肥利用率方面做了大量工作。据《化肥使用手册》(1982)记载，广东省一般氮、磷、钾肥的利用率分别为30%~50%、10%~25%和40%~60%[8]。随着时代的发展和技术的进步，不同时期肥料类型、肥料用量、施肥技术以及肥料利用率都发生了明显变化。因此，通过系统整理60多年来前人在广东省开展的水稻肥料利用率的研究结果，探讨肥料利用率的历史变迁状况以及不同肥料用量和施肥技术下肥料利用率的变化量，为合理评价我省当前的肥料利用率以及制定合理的化肥用量和最优的施肥技术提供一些启示。

1 资料来源及整理方法

1.1 数据来源

为了系统分析广东省60多年来田间试验条件下水稻的肥料利用效率，我们收集了1949—2010年与广东省水稻肥料利用率相关的大田试验文献[9-34]，共计26篇。以此作为样本对氮、磷、钾肥料利用率进行分析整理，共计181个，其中氮(N)为100个、磷(P_2O_5)为43个、钾(K_2O)为38个；涉及全省各地。由于1965年以前未查到相应文献，所

收稿日期：2011-12-14
作者简介：董稳军(1984-)，男，在读硕士生，E-mail: dongwenjun706@163.com
通讯作者：徐培智(1963-)，男，研究员，E-mail: pzxu007@163.com

万方数据

以样本数相对较少。

1.2 计算参数

国内外有许多表征肥料利用效率的参数，如作物的偏生产率、作物的生产效率[12]等，目前国内比较通用的是肥料利用率，即肥料养分回收率，如氮肥利用率(Apparent recovery efficiency of applied N,REN)，其反映了作物对施入土壤中的肥料氮的回收效率，即 $RE_N=(U-U_0)/F$，式中 U 为施肥后作物收获时地上部的吸氮总量，U_0 为未施 N 肥时作物收获期地上部的吸氮总量，F 代表化肥氮的投入量(磷肥、钾肥利用率类推)。为能够统一，本文所选取的文献都为已有文献中肥料利用率的结果，并且统一转化为 N、P_2O_5、K_2O 的利用率来表示。

所涉及到的氮、磷、钾施肥量均为施用 N、P_2O_5、K_2O 的量。

2 结果与分析

2.1 广东省 60 多年来水稻肥料利用率概况

所有查阅到的结果汇总如表 1 所示。从表 1 可以看出，广东省 60 多年来水稻氮、磷、钾肥利用率均值分别为 32.56%、23.17% 和 44.46%，变异范围分别为 10.40%~74.60%、0.70%~60.00%、3.94%~88.96%。由于不同试验方法、试验地点、施肥量和年代的肥料利用率变异比较大，因此样本的标准误较高。同时每季每 667 m^2 氮肥用量范围为4.24~21.60 kg，磷肥为 2.54~12.00 kg，钾肥为 1.35~12.00 kg。

为了进一步了解肥料利用率的样本分布频率，将肥料利用率划分为 9 个等级，计算每个等级下氮、磷、钾利用率的百分比(图 1)。从分布频率(图 1)来看，氮肥利用率在

表 1 水稻试验结果样本数、利用率和分布区域

肥料	样本数	施肥量 (kg/667m²·季)	肥料利用率(%) 平均值	变幅	变异系数	样本分布
氮	100	4.24~21.60	32.56±11.11	10.40~74.60	34.12	广州、增城、从化、番禺、开平、台山、
磷	43	2.35~12.00	23.17±17.84	0.70~60.00	76.99	新兴、惠阳、惠来、兴宁、翁源、阳山、
钾	38	4.54~12.00	44.46±20.23	3.94~88.96	45.50	徐闻、吴川、信宜、东江流域

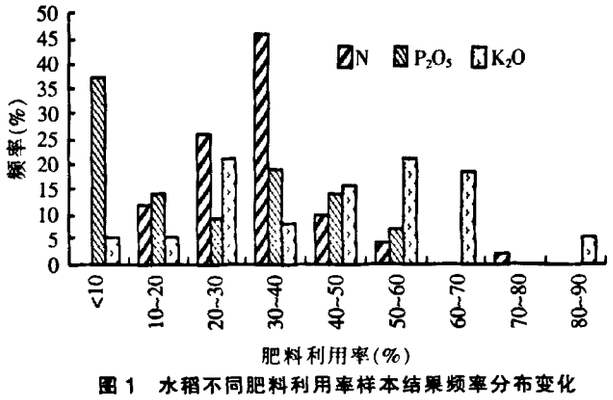


图 1 水稻不同肥料利用率样本结果频率分布变化

30%~40%之间分布频率最高、为 46%，经分析其中 24%来源于 2000—2010 年间的试验结果；磷肥利用率小于 10%分布频率最高，为 37%，其中 23.3%来源于 1980—2000 年间的试验结果。钾肥利用率处于 50%~60%之间分布频率最高，为 22%，都来源于 1980 年以后的试验结果。除钾肥利用率外，氮肥和磷肥利用率处于其他区间的样本数相对较少。

2.2 广东省肥料利用率的历史变迁

根据所得文献资料分析发现，1949—1980 年间[3-6,9]主要研究不同肥料品种(单质肥料)、不同施肥方法对肥料利用率的影响；1980—2000 年间[7-13]则以复合(混)肥和配方肥施肥技术研究为主；2000—2010 年间[14-27]以控释肥和专用肥施肥技术研究为主，这与我国(我省)的肥料发展历程吻合。受所得资料限制，无法对每一年的情况进行分析。为了便于说明，我们按这种施肥技术明显发生变化的时期为节点，将广东省 60 多年来肥料利用率的变迁划分为 1949—1980 年、1980—2000 年、2000—2010 年 3 个阶段进行探讨。

2.2.1 *氮肥利用率的历史变迁* 从表 2 可以看出，3 个阶段氮肥利用率总体呈“高—低—高”趋势变化，1949—1980 年间为 32.33%，1980—2000 年间为 27.86%，2000—2010 年间为 35.52%。与表 1 中所得资料氮肥利用率均值 32.56%相比较，2000—2010 年间的氮肥利用率明显有所提高。3 个阶段变异范围分别为 18.70%~38.10%、13.80%~40.00%、10.40%~74.60%。其中 2000—2010 年间最小值为 10.40%，最大值为 74.60%，并且标准误相对较高，变异最大。同时每季每 667 m^2 产量呈现总体持续上升趋势，3 个阶段分别为 291.25、336.31、397.11 kg，变异范围分别为 282.50~300.00、239.35~415.10、273.30~560.60 kg。其中每季每 667 m^2 产量最高值为 2000—2010 年间的 560.60 kg。施肥量 1980—2000 年间和 2000—2010 年间相差不大，但均高于 1949—1980 年间的施肥量。

表 2 不同时期氮肥料利用率、施肥量和产量变化

时期	施肥量 (kg/667m²·季)	氮肥利用率(%) 平均值	变幅	变异系数	产量(kg/667m²·季) 平均值	变幅	变异系数
1949—1980	9.73	32.33±5.53	18.70~38.10	17.09	291.25±12.37	282.50~300.00	4.24
1980—2000	10.07	27.86±7.22	13.80~40.00	25.91	336.31±52.54	239.35~415.10	15.62
2000—2010	10.09	35.52±12.86	10.40~74.60	36.20	397.11±75.52	273.30~560.60	19.02

万方数据

2.2.2 *磷肥利用率的历史变迁* 表3列出了不同年间磷肥利用率的数值，总体与氮肥利用率趋势相似，也呈"高—低—高"趋势变化。1949—1980年间均值为20.22%，1980—2000年间为11.43%，2000—2010年间为30.91%。与表1中所得资料磷肥利用率均值23.17%相比较，2000—2010年有了很大提高。施磷量1980—2000年间高于2000—2010年间。由于1949—1980年间查到的关于磷肥利用率的文献较少，仅1965年《双季稻磷肥肥效、后效及经济用量研究》[9]一文提到每季每667 m^2施磷量在1.8~2.4 kg，故并未列入表3中。

表3 不同时期磷肥利用率、施肥量变化

时期	施肥量 (kg/667m^2·季)	磷肥利用率(%)		
		平均值	变幅	变异系数
1949—1980		20.22±17.32	7.97~32.46	85.66
1980—2000	4.56	11.43±11.83	0.70~38.50	103.54
2000—2010	4.20	30.91±17.37	2.78~60.00	56.18

2.2.3 *钾肥利用率的历史变迁* 根据相关研究表明，广东省施用钾肥起步较晚，文献资料中没有查到1980年以前有关钾肥利用率的大田试验结果。从表4可以看出，钾肥利用率1980—2000年间高于2000—2010年间，分别为47.69%和39.98%。与表1中所得资料钾肥利用率均值44.46%相比较，2000—2010年间略有下降。变异范围分别为23.62%~65.10%、-6.76%~88.96%。同时可看出，2000—2010年间施钾量远高于1980—2000年间施钾量，分别为7.97 kg和5.31 kg。这也是1980—2000年间钾肥利用率高于2000—2010年间钾肥利用率的主要原因。

表4 不同时期钾肥利用率和施肥量变化

时期	施肥量 (kg/667m^2·季)	钾肥利用率(%)			
		平均值	标准误	变幅	变异系数
1980—2000	5.31	47.69	14.46	23.62~65.10	30.33
2000—2010	7.97	39.98	25.23	-6.76~88.96	63.11

2.3 不同施肥量下肥料利用率的变化

施肥量的多少对肥料利用率的变化有着直接的影响。从表5可以看出，随着N、P_2O_5、K_2O施用量的增加，其肥料利用率均呈下降趋势。这也与王激清等[35]的研究结果相吻合。当每季每667 m^2施N量小于8 kg时，其利用率为34.62%；当其大于12 kg时，N肥利用率则下降到25.06%；施N量在8~12 kg间的样本数最多，占总样本的84.52%，说明广东省水稻肥料试验研究中每季每667 m^2施氮量以8~12 kg为主，在此条件下其氮肥利用率为32.95%。

表5 不同施肥量下的水稻肥料利用率

肥料	施肥量 (kg/667m^2·季)	肥料利用率(%)		
		平均值	变幅	变异系数
N	<8	34.62±13.46	18.70~51.20	38.87
	8~12	32.95±10.70	10.40~74.60	32.48
	>12	25.06±7.05	16.93~39.89	28.14
P_2O_5	<3	25.19±15.34	5.82~53.6	60.89
	3~5	24.42±20.41	0.70~60.00	83.60
	>5	10.58±15.67	0.70~48.80	148.15
K_2O	<6.5	55.99±16.95	23.62~88.96	30.28
	6.5~9.5	37.56±19.91	4.60~69.50	53.01
	>9.5	34.16±15.12	3.94~50.10	44.26

三者中磷的施用量最低，每季每667 m^2施P_2O_5量小于3 kg时，利用率为25.19%，当大于5 kg时，利用率则下降至10.58%，下降幅度较大；施P_2O_5量3~5 kg间的样本数最多，占总样本数的40.90%，说明在相关试验研究中每季每667 m^2施P_2O_5量以3~5 kg为主，在此条件下其磷肥利用率为24.42%。

每季每667 m^2施K_2O量小于6.5 kg时，钾肥利用率达到55.99%，但是随施用量的增加，降幅较大；当大于9.5 kg时，利用率下降至34.16%。由于不同的试验在不同的地点、不同的年度和不同的施肥技术下进行，因此得出的利用率变异较大。

2.4 不同施肥技术下肥料利用率的变化

施肥技术是影响产量和肥料利用率的又一关键要素，一直以来都是农业科技工作者研究的重点。尤其是"氮调"施肥技术的成功试验示范，奠定了定量施肥技术的基础[13]。随着研究的深入，控释肥技术使肥料的定量施用有了新的突破，据徐培智等[23]报道，当控释BB肥每667 m^2用量为7.2 kg时，氮素利用率达到51.2%，而同等条件下常规施肥氮素利用率仅为33.8%。表6列出了不同时期广东省具有代表性的几种施肥技术的氮肥利用率，从表6可以看出，控释肥技术下氮肥利用率最高，为47.2%。常规施肥下氮肥利用率最低，为26.28%。不同的施肥技术下氮肥利用率从大到小依次为控释肥技术、三控施肥技术、配方施肥技术、"氮调法"施肥技术、常规施肥技术。另外经分析，控释肥技术下磷、钾肥利用率分别为47.6%、61.8%，均高于配方施肥技术下磷、钾肥利用率21.2%、53.8%。由于"氮调法"施肥技术和三控施肥技术主要针对的是氮肥的施用，没有相应的磷肥和钾肥利用率的结果，故而不再对这两种技术下磷肥和钾肥的利用率进行讨论。

表6 不同施肥技术下的氮肥利用率

施肥技术	氮肥利用率(%)		
	平均值	变幅	变异系数
氮调法	34.80±2.12	33.30~36.30	6.09
配方施肥	36.65±7.95	25.90~46.15	21.68
控释肥	47.20±10.76	32.50~74.60	22.80
三控施肥	39.95±4.31	36.90~43.00	10.79
常规施肥	26.18±7.16	16.93~39.20	27.35

3 结语

通过系统整理分析广东省60多年来田间试验条件下水稻的肥料利用率，结果显示，氮磷钾肥料利用率均值分别为32.56%、23.17%、44.46%。这一结果高于我国水稻肥氮肥利用率均值28.3%，磷肥利用率均值13.1%，钾肥利

万方数据

用率均值32.4%[11]。

不同年间肥料利用率的变化规律，磷肥利用率和氮肥利用率均在1949—1980年间、1980—2000年间和2000—2010年间这3个阶段呈现"高—低—高"的变化规律。钾肥利用率只得到1980年以后的试验结果，并且1980—2000年间钾肥利用率略高于2000—2010年间的钾肥利用率。2000—2010年间施钾量远高于1980—2000年间施钾量可能是造成这一结果的主要原因。

不同施肥技术直接影响肥料利用率的高低，从1981年的"氮调法"施肥技术发展到现在的控释肥技术、配方施肥技术，不论是产量还是肥料利用率都有很大的提高。从整理的结果来看，控释肥技术是目前最优的施肥技术。从产量和肥料利用率层面来考虑，应大力推广控释肥技术。

参考文献：

[1] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.

[2] 赵秉强,张福锁,廖宗文,等.我国新型肥料发展战略研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(5):536-545.

[3] 曲均峰.化肥施用与土壤环境安全效应的研究[J].磷肥与复肥,2010,25(1):10-12.

[4] 王兴仁,张福锁,张卫峰.我国粮食安全形势和肥料效应的时空转变[J].磷肥与复肥,2010,25(4):1-4.

[5] 闫湘.我国化肥利用现状与养分资源高效利用研究[D].北京：中国农业科学院,2008.

[6] 王宪法.肥料利用率研究的回顾和再探讨[J].华中农业大学学报,1999,28:105-109.

[7] 曹进.合理施用化肥提高肥料利用率[J].农业科技与信息,2006(11):22.

[8] 广东省农业科学院土壤肥料研究所.化肥使用手册[M].广东科技出版社,1982:57-58.

[9] 广东省农业科学院土化系化肥组.双季稻磷肥肥效、后效及经济用量研究[J].广东农业科学,1965(1):35-40.

[10] 开平县革委会农林水办公室.碳铵粒肥显大效[J].广东农业科学,1977(3):39.

[11] 广东省农科院土肥所肥料组.氮肥深施的增产效果、供肥特点及其深施技术的关系[J].广东农业科学,1976(2):42-47.

[12] 谭允阳,陈天生,向天常.杂交早稻氮肥的合理使用[J].广东农业科学,1979(3):21-26.

[13] 黄继茂.早造大面积水稻"氮调"中间试验总结[J].广东农业科学,1982(6):1-5.

[14] 周修冲,谭允阳,陈天生.肥料长期定位试验研究初报[J].土壤肥料,1984(3):20-21.

[15] 梁孝衍.广东使用氮化肥的效益分析[J].土壤肥料,1986(3):13-16.

[16] 周修冲,谭允阳,陈天生.双季稻田连续施用化肥的效应[J].土壤肥料,1988(5):1-4.

[17] 谭允阳,董金花,刘剑辉,等.连续施复(混)合肥对水稻产量及土壤养分影响的研究[J].土壤肥料,1990(5):22-24.

[18] 周修冲,徐培智,姚建武,等.双季稻田不同肥料连续配施效应试验[J].广东农业科学,1994(5):26-29.

[19] 汤建东,叶细养,饶国良,等.土壤肥力长期定位试验研究初报[J].土壤与环境,1998(2):113-116.

[20] 卢维盛,李华兴,刘远金,等.不同耕作方法对抛秧水稻生长和氮素利用的影响[J].华南农业大学学报,2001,22(4):8-10.

[21] 汤建东,叶细养,饶国良,等.广东省稻田肥料施用现状及其合理性评估[J].土壤与环境,2002,11(3):311-314.

[22] 毛小云,廖宗文,杜建军,等.施用控释肥对N淋失及水稻产量的影响研究初报[J].华南农业大学学报,2002,23(3):91.

[23] 徐培智,张发宝,唐拴虎,等.水稻专用长效控释BB肥应用效果初报[J].广东农业科学,2002(1):30-32.

[24] 唐拴虎,郑惠典,张发宝,等.控释肥料养分释放规律及对水稻生长发育效应的研究[J].华南农业大学学报,2003,24(14):9-14.

[25] 唐拴,谢春生,孙小文,等.水稻施用控释肥料生长效应研究[J].中国农学通报,2004,20(1):149-151.

[26] 张莽,黄小红,谢晓丽,等.施肥技术对土壤肥力和肥料利用率的影响[J].广东农业科学,2005(2):46-49.

[27] 李方敏,樊小林,陈文东.控释肥对水稻产量和氮肥利用效率的影响[J].物营养与肥料学报,2005,11(4):494-500.

[28] 陈建生,徐培智,唐拴虎等.一次基施水稻控释肥技术的养分利用率及增产效果[J].应用生态学报,2005,16(10):1868-1871.

[29] 钟旭华,黄农荣,Roland J B.不同时期施氮对华南双季杂交稻产量及氮素吸收和氮肥利用率的影响[J].杂交水稻,2007,22(4):62-66.

[30] 黄旭,谢晓丽,徐培智,等.测土配方施肥对水稻植株生长及产量的影响[J].广东农业科学,2008(5):47-50.

[31] 唐申炎,陈育成,陈运灿,等.阳山县晚稻测土配方施肥肥效试验[J].广东农业科学,2009(4):66-69.

[32] 田卡,钟旭华,黄农荣."三控"施肥技术对水稻生长发育和氮素吸收利用的影响[J].中国农学通报,2010,26(16):150-157.

[33] 黄旭,唐拴虎,徐培智,等.不同种类缓/控释肥料对水稻产量及养分利用率的影响[J].广东农业科学,2010(8):95-105.

[34] 张水清,钟旭华,黄农荣.稻草覆盖还田对水稻氮素吸收和氮肥利用率的影响[J].中国生态农业学报,2010,18(3):611-616.

[35] 王激清,马文奇,江荣凤,等.我国肥料利用率的现状及调控措施[A].首届全国测土配方施肥技术研讨会论文集[C].2006.

万方数据