

中国化肥利用率的区域分异

陈同斌¹, 曾希柏², 胡清秀³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所环境修复室, 北京 100101;

2. 中国农业科学院土壤肥料研究所, 北京 100081;

3. 中国农业科学院农业自然资源和农业区划研究所, 北京 100081)

摘要: 据全国各县近 10 年的化肥施用量和粮食产量数据, 并从不同年份单位播种面积粮食产量和肥料施用量的变化, 求出相应不施肥产量和通过施肥可能达到的最高产量, 并以上述结果为基础计算出该地区化肥利用率。研究表明: 当前我国化肥施用的地区差异明显, 施用量较集中范围是 180~270 kg/hm² 和 90~180 kg/hm², 部分地区的化肥施用已经过量; 单位化肥的粮食产出率主要集中在 10~30 kg/kg, 化肥利用率大多集中在 15%~35%, 且与化肥施用量有关。按地区统计, 高施肥量区化肥施用明显过量, 平均达 339 kg/hm², 是全国平均用量 (262 kg/hm²) 的 1.29 倍; 中施肥量区单位面积化肥平均施用量为 252 kg/hm², 略低于全国平均水平; 低施肥量区则仅为 178 kg/hm², 是全国平均的 67.8%; 我国单位化肥的生产效率及化肥利用率均以低施肥量区最高, 分别为 17.5 kg/kg 和 39.8%; 中施肥量区为 13.7 和 36。

关 键 词: 中国; 化肥; 利用率; 化肥生产效率; GIS; 区域差异

中图分类号: S17

提高化肥的利用效率, 对农业的可持续发展和环境保护等均具有十分重要的意义。当前我国化肥的利用率低、对环境影响较大, 这些问题已引起有关部门的重视^[1-6]。但是, 目前有关化肥利用率的结果基本上是来自 2 种渠道: 一是直接来自田间试验的结果, 二是根据全国化肥施用量估算而得。前者的试验区域和范围有限, 难免有以偏概全之嫌, 且其数据大多是几年前的结果; 而后者则又过于粗糙, 无法说明不同地区的实际情况。如何正确评价当前我国不同地区化肥的利用效率, 对化肥的合理施用、不同地区化肥的合理分配, 对我国农业施肥和化肥的生产、销售具有巨大的指导意义。但到目前为止, 尚无人对化肥利用率的区域差异进行系统研究。本研究中, 根据近年来我国不同地区单位播种面积化肥施用量和粮食产量等的变化, 并参照各地区田间试验结果, 应用地理信息系统软件, 研究不同地区的化肥利用率。

1 材料与方法

1.1 数据来源

研究中采用 1990~1998 年我国不同地区 (分县) 化肥年施用总量、粮食作物播种面积、粮食作物产量、作物总播种面积等有关数据。上述数据主要来源于国家统计局、《中国

收稿日期: 2001-12-16; 修订日期: 2002-06-26

基金项目: 国家“九五”攻关项目(96-013-01-04) [Foundation Item: The Key Project of the Ninth Five-Year Plan, No. 96-013-01-04]

作者简介: 陈同斌 (1963-), 男, 博士, 研究员。主要从事植物修复、土壤环境保护和废弃物资源化研究。

Email: chentb@igsnrr.ac.cn

分县农村统计年鉴》、1991~1999 年全国及有关省(市、区) 1991~1999 年统计年鉴等。

1.2 数据的预处理

应用 MapInfo 绘制有关专题地图时, 首先将现有数据与 MapInfo 中的地理编码一一对应, 联结到 MapInfo 数据表中。利用 MapInfo 的有关功能, 将字段名相同的县级单元的相应数据加入 MapInfo 数据表中, 但对少数名称变更的县, 则在了解其名称变更的基础上, 将数据输入到 MapInfo 数据表中。将全部数据与 MapInfo 数据表联结好后进行计算。

1.3 预备计算

根据现有数据资料, 首先求出不同地区单位播种面积化肥施用量和单位播种面积的作物产量, 再根据所得结果求出化肥的产出效率, 即: 化肥产出效率 (kg/kg) = 单位播种面积粮食产量 (kg/hm^2) / 单位播种面积化肥施用量 (kg/hm^2)

根据预备计算得出某一地区(县)作物的不施肥产量、最高产量及最高产量施肥量, 这 3 个指标计算的具体步骤为:

(1) 根据 1990~1998 年 9 年中单位播种面积化肥施用量和单位播种面积粮食产量的变化, 为保证计算时有足够的数据点, 我们选用地区(或地级市)行政建制为单元, 将其中施肥量差异较小的 3~5 个县作为一组, 计算二者的回归方程式。根据前人的大量研究结果^[7-10, 14], 化肥施用量与粮食产量间的效应曲线符合报酬递减率, 即满足下述抛物线方程:

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$$

式中: Y 为粮食单产 kg/hm^2 、 X 为单位播种面积化肥施用量 kg/hm^2 。

(2) 根据所求得回归方程(肥料效应函数), 求出相应地区的对照产量(不施肥时产量 b_0)、最高产量(现有条件下通过施肥可达到的最高产量)及达到最高产量时相应施肥量;

(3) 根据参与计算范围内各县的实际施肥及产量变化情况, 在求得各组中所有县施肥量和粮食产量平均值的基础上, 计算各县的实际施肥量与粮食产量和平均值的距离, 并以此为依据, 对上述 3 组数据进行重新计算;

(4) 参照 1990 年以来有关论文结果^[11, 12], 再对相应地区的上述数据进行校正, 将所得结果作为最终结果输入 MapInfo 数据库, 作为有关计算及作图的依据。

1.4 化肥利用率的计算

本研究中化肥利用率的计算是在前述不施肥产量、最高产量及最高产量施肥量 3 个参数计算的基础上, 参照肥料利用率计算的差值法^[7, 8]进行的, 具体步骤为:

(1) 计算施肥产量: 将各县 1997、1998 二年产量的平均值作为当前产量, 以当前产量减去前述计算所得的不施肥产量, 即为施肥产量(肥料效应);

(2) 计算当前施肥水平下的养分吸收量: 首先, 假定粮食作物仅包括水稻、小麦和玉米 3 类, 分别计算 3 类作物占粮食总产量的百分数, 并以此作为每种作物占粮食作物播种面积百分数之依据; 其次, 按有关结果计算获得相应施肥产量时的秸秆产量^[7-9], 即水稻产量 $\times 0.9$ 、小麦产量 $\times 1.1$ 、玉米产量 $\times 1.2$; 再次, 按水稻稻谷中平均含 N 1.18%、P 0.29%、K 0.35%, 稻草中含 N 0.91%、P 0.13%、K 1.89%, 小麦籽粒中含 N 2.05%、P 0.36%、K 0.52%, 麦秸含 N 0.65%、P 0.08%、K 1.05%, 玉米籽粒中含 N 1.56%、P 0.31%、K 0.57%, 玉米秸含 N 0.92%、P 0.15%、K 1.18%, 计算相应的粮食作物吸收的氮磷钾总量。

(3) 计算化肥利用率: 以上述计算所得的粮食作物吸收的氮磷钾总量除以化肥总施用量, 再乘以 100。利用该方法所求得不同地区的化肥利用率, 虽然与前述二种方法所求得的结果相比, 其精确度较低, 但从计算所得结果来看, 基本上能够反映我国不同地区化肥利用率的实际情况, 因而具有一定的实际意义和参考价值。

1.5 化肥用量的分区计算

根据不同地区化肥施用现状, 参照陈同斌等人的有关结果^[11, 12], 将我国化肥施用情况

表 1 中国三大区域基本情况统计

Tab. 1 Summary of crop production in different regions of China

地 区	县		总播种面积		粮食播种面积		粮食总产量		粮食单产 (kg/hm ²)
	个数	%	× 10 ³ hm ²	%	× 10 ³ hm ²	%	× 10 ³ hm ²	%	
全 国	2356	100	153245	100	112525	100	54045	100	4802.9
高施肥量区	674	28.6	46791	30.5	34600	30.7	18586	34.4	5371.5
中施肥量区	973	41.3	72190	47.1	50259	44.7	24825	45.9	4939.4
低施肥量区	709	30.1	34264	22.4	27665	24.6	10634	19.7	3843.9

分成三个区: 高施肥量区 (单位播种面积平均施肥量大于 300kg/hm²)、中施肥量区 (单位播种面积平均施肥量在 200~300kg/hm²) 和低施肥量区 (单位播种面积平均施肥量小于 200kg/hm²)。高施肥量区包括辽宁、河北、北京、天津、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、海南等 11 省 (市、区); 中施肥量区包括河南、湖南、湖北、江西、安徽、四川、广西、吉林、甘肃、新疆等 10 省 (市、区); 低施肥量区包括山西、陕西、宁夏、青海、内蒙古、云南、贵州、黑龙江、西藏等 9 省 (市、区) (表 1、图 1)。

2 结果与分析

2.1 不同地区化肥施用现状

根据 1997、1998 年的结果可以绘制我国不同地区单位播种面积化肥施用量图 (图 2)。从图 2 可以发现, 不同地区单位播种面积化肥的施用很不平衡。其中大部分县的施肥量在 90~180 kg/hm² 和 180~270kg/hm² 范围, 其县级行政单位数分别为 578 个和 636 个。化肥施用量最高的区域主要在福建、广东、广西沿海地区以及黄淮海地区、陕西泾河和渭河流域、甘肃西北部等; 而内蒙古东北部, 四川西部, 广西和贵州接壤地区等则其施用量大多在 90kg/hm² 以下。

对我国 3 个化肥施用量区的统计结果表明 (表 2), 高施肥量区的播种面积仅全国的 30.5%, 但化肥总施用量接近全国的 40%; 而播种面积占全国 22.4% 的低施肥量区, 其化肥施用量仅全国的 15.2%。高施肥量区单位面积化肥施用量比全国平均水平高 29.50%, 中施肥量区接近全国平均水平, 而低施肥量区则比全国平均水平低 32.2%。这说明我国化肥施用量的地区差异很大。对照表 1 和表 2 发现, 不同地区单位播种面积的化肥施用量与其粮食生产水平基本一致。

2.2 不同地区单位化肥的粮食生产效率

根据 1997、1998 二年的单位面积化肥施用量及其相应的粮食产量, 计算出化肥的粮食产出效率, 并在 MapInfo 软件支持下绘制出了“中国不同地区单位化肥产出效率图” (图 3)。从图 3 可以看出, 我国不同地区单位化肥的粮食产出效率主要在 10~30 kg/kg 范围, 该范围内的县级行政单元数占总数的 69.1%。将图 3 中结果与前面单位面积化肥施用量进行比较可以发现: 我国施肥量较高的高施肥量区, 单位化肥的粮食产出效率较低, 大多在 20 kg/kg 以下; 而施肥量居中的中施肥量区, 单位化肥的粮食产出效率也相对较高, 大多集中在 20~40 kg/kg 范围内; 施肥量较低的低施肥量区, 单位化肥的粮食产出效率最高, 大多超过 40 kg/kg。

对 3 个化肥施用量区的粮食产出效率的比较表明 (表 3), 我国高施肥量区粮食生产所占的比例大于播种面积比例, 说明其生产力水平相对较高。3 个化肥施用量区比较: 化肥的粮食产出效率以低施肥量区最高, 每施用 1 kg 化肥可生产 17.5 kg 粮食; 中施肥量区亦和全国水平十分接近, 而高施肥量区则低于全国水平 13.0 %。低施肥量区比全国平均



图 1 中国施用化肥的粮食增产效果分区

Fig. 1 China's regional planning of response of grain yield to fertilizer

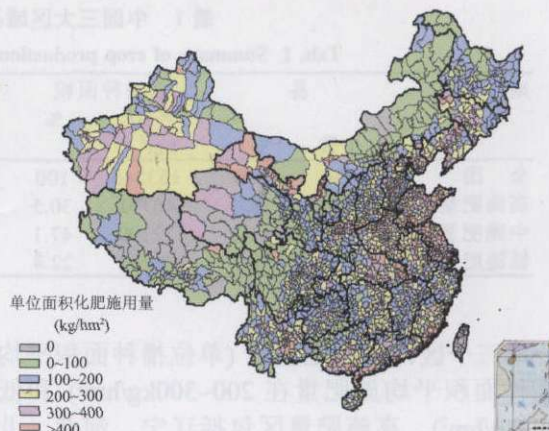


图 2 中国各县单位面积化肥用量

Fig. 2 Fertilizer application rates in each county of China

表 2 1997~1998 年中国不同化肥施用量区情况

Tab. 2 Summary of fertilizer applications in different regions of China

地 区	总施用量 $\times 10^3 \text{t}$	单位播种面积 施用量 (kg/hm^2)	平均施肥量* (kg/hm^2)	最高施肥量 (kg/hm^2)
全 国	40145	100	262.0	238.5
高施肥量区	15874	39.5	339.2	329.2
中施肥量区	18189	45.3	252.0	231.1
低施肥量区	6082	15.2	177.5	171.1

* 平均施用量为按各县化肥施用量的平均数计算。

水平高 29.9 %。按各县结果平均比较 3 个化肥施用量区的粮食产出效率, 亦以低施肥量区最高, 每施用 1 kg 化肥可生产 15.4 kg 粮食; 中施肥量区为 13.6 kg, 略低于全国平均水平; 高施肥量区则仅 9.5 kg, 远低于全国平均水平。3 个化肥施用量区化肥的最大产出效率比较, 同样以低施肥量区最高, 达 653.4 kg, 中施肥量区居中, 为 322.3 kg; 高施肥量区则仅 94.5 kg。

上述结果说明, 我国不同地区单位化肥的粮食生产量差异较大, 这与单位面积化肥施用量的变化趋势一致; 即单位播种面积的化肥施用量越大, 则生产的粮食量就较少。

2.3 不同地区化肥利用率

通过计算可求得我国不同地区化肥的利用率, 并绘制出“中国不同地区化肥利用率图”。从图中结果来看, 我国当前化肥的利用率不高, 大多在 35% 以下, 其行政单元数占总数的 72.13%。不同地区比较, 大于 35%

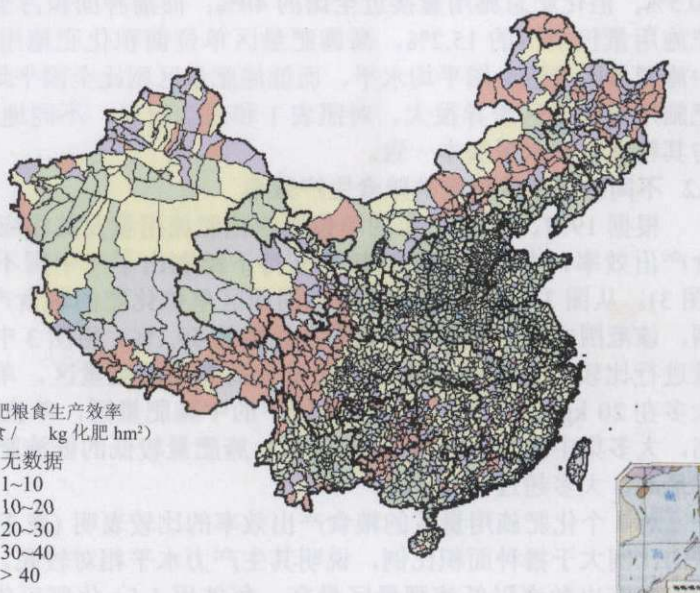


图 3 中国各县化肥的粮食生产效率

Fig. 3 Productivity of fertilizer in each county of China

的县主要集中低施肥量区; 高施肥量区的化肥利用率一般均在 25% 以下; 中施肥量区则较集中在 25~35% 范围内。

表 3 中国三个化肥施用量区化肥的粮食产出效率

Tab. 3 Summary of grain yield increment by fertilizers in different regions of China

地 区	粮食总产量 × 10 ⁴ t	%	按总量平均* (kg/kg)	按各县平均 (kg/kg)	最大产出效率 (kg/kg)
全 国	54045	100	13.46	14.87	653.37
高施肥量区	18585	34.39	11.71	9.52	94.45
中施肥量区	24825	45.93	13.65	13.56	322.32
低施肥量区	10634	19.68	17.48	15.44	653.37

对上述三大区 * 按粮食总产量和总化肥施用量计算所得。

域相关结果的统计 (表 4), 不论是以哪种方法计算, 三大区域化肥利用率的变化与化肥施用量、单位化肥的粮食生产量等大致相同的趋势, 即高施肥量区最低、中施肥量区居中、低施肥量区最高。三大区域化肥利用率差值达 10% 左右。

2.4 不同地区的化肥施用平衡

根据前述方法求得粮食单产最高时的化肥的施用量, 减去 1997、1998 二年平均化肥施用量后, 即得到我国不同地区化肥施用的平衡状况, 将二者之差小于 -15kg/hm² 以上的地区视为化肥施用过量地区, -15kg/hm² 到 15kg/hm² 的地区视为施用量基本平衡区, >15kg/hm² 的地区为可增加施肥量地区, 并在此基础上绘制出 “中国不同地区化肥施用量增长趋势示意图” (图 5)。从图 5 可以看出, 在目前的生产水平下, 我国有 11.9% 的县化肥总体施用水平已经过量; 14.6% 的县化肥施用已基本满足作物需要; 而将近 3/4 的县则化肥施用还有一定的增加余地。

上述我国不同地区化肥的施用平衡趋势比较, 化肥施用过量地区主要分布在高施肥量区, 据计算, 该地区化肥平均单位面积施用量增加幅度仅 8.70kg/hm²; 中施肥量区单位面积化肥施用量则尚有少量余地, 平均单位面积施用量增加幅度为 47.63kg/hm²; 低施肥量区则化肥施用尚未达到作物的最大需要量, 单位面积施用量的增加幅度可达 59.84kg/hm²。这种结果说明在我国化肥的宏观管理上, 今后主要应向中施肥量区和低施肥量区转移。

表 4 中国 1991~1999 年三个化肥施用量区化肥利用率比较

Tab. 4 Summary of fertilizer application rates in different regions of China

地 区	化肥利用率 (%)	
	按地区计算结果 ¹⁾	按县平均 ²⁾
全 国	34.17	31.34
高施肥量区	27.39	26.14
中施肥量区	36.04	33.19
低施肥量区	39.83	34.81

1) 即按各地区粮食总产量和总化肥施用量等结果, 参照 1.4 的方法计算所得。

2) 为各区域每个县化肥利用率的算术平均值。

3 讨论

3.1 关于化肥利用率计算及其存在的问题

通常认为, 肥料利用率是指作物对肥料养分利用的百分数^[7], 或者是作物对肥料养分的回收率^[7]。它是指施入农田的养分中, 被当季作物吸收到体内的比例。在通常情况下, 被作物吸收的养分量是通过同位素示踪或差减法计算而得, 因此, 目前比较公认的计算肥料利用率的方法是同位素示踪法和差值法。

示踪法是将已知养分数量的同位素示踪肥料施入土壤, 待作物成熟后测定其所吸收的同位素养分的数量, 并以此计算肥料的利用率。以氮肥为例, 其计算公式为:

$$R_N = (W_1 \times C_1 \times A_1 \times W_2 \times C_2 \times A_2) \times 100\% \quad (3-1)$$

式中: R_N 为氮肥利用率 (%); W_1 、 W_2 分别为植株干重和施入 ¹⁵N 标记的氮肥量; C_1 、 C_2 分别为植株和肥料中的含氮量; A_1 、 A_2 分别为植株和标记肥料的 ¹⁵N 原子百分超。

差值法则是将施肥区作物吸收的养分量与不施肥区作物吸收的养分量之差, 作为作

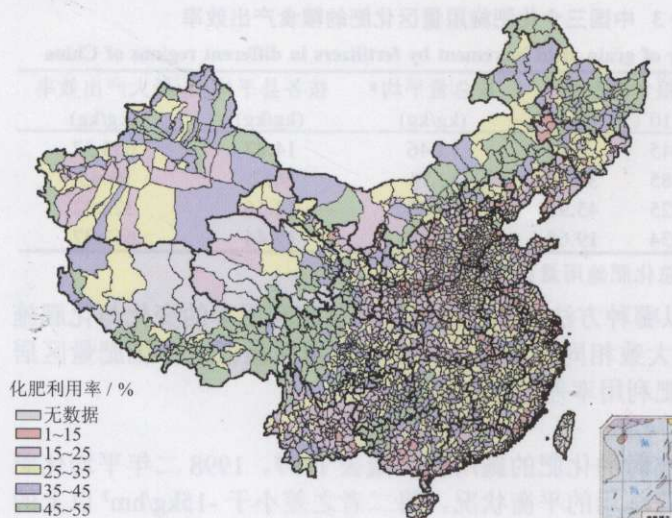


图 4 中国各县化肥利用率

Fig.4 Fertilizer application rates in each county of China

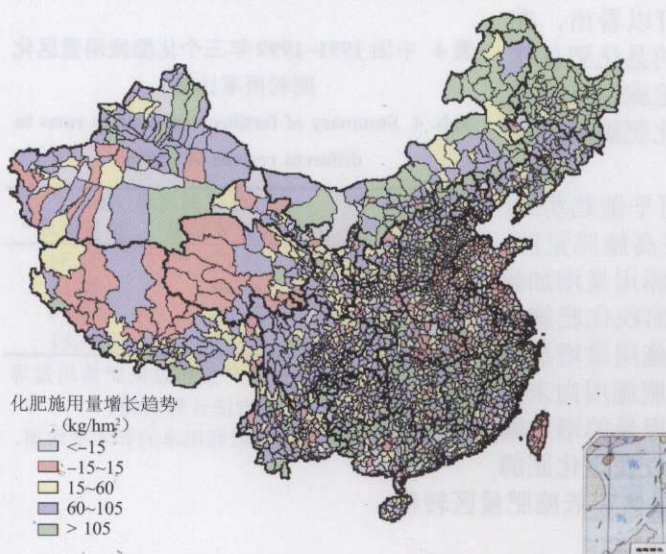


图 5 中国各县化肥用量增长趋势

Fig.5 Increment in fertilizer application rates in each county of China

物从所施肥料中吸收的养分量,并据此计算肥料利用率;计算公式为:

$$R = [(U_1 - U_0) / W \times C] \times 100\% \quad (3-2)$$

式中: R 为肥料利用率 (%); U_1 和 U_0 分别为施肥区和不施肥区作物吸收的养分量 (kg/hm^2); W 为肥料施用量 kg/hm^2 ; C 为肥料中的养分含量。

国内外许多学者^[1, 7, 8, 18-20]曾采用上述 2 种方法求算或测定作物对氮、磷、钾肥的利用率,但由这 2 种方法所求得的肥料利用率,通常是在具体的土壤、施肥量及作物种植水平、作物种类等条件下的特定结果,只能代表在特定条件下的养分利用状况。对一个特定的范围来说,由于耕作施肥水平、作物类型、土壤肥力等状况均存在较大的差异,因此,利用上述二种方法求得的肥料利用率不太可能代表整个地区。同样,要在一个地区的每一块土地中均利用上述方法来测定肥料的利用率是不可能的。况且,即使是在特定农田中,化肥的利用率也会因为施肥量、气候条件、灌溉、作物类型和品种等条件和人为因素的变化而改变,因此,要了解一个地区化肥利用率的整体状况是十分困难的。所以,目前还没有不同区域化肥利用率的数据。

本研究从化肥利用率的定义出发,利用已有研究成果和资料,根据作物产量、作物类型及比例、肥料施用量、作物籽粒和秸秆中养分含量、籽粒与秸秆比例等数据,并参照前人的研究结果,以县级行政单元为依据,计算了我国不同地区化肥的总利用率。从本研究的所得结果来看,与我国各地区的化肥利用率的点上试验结果大致相近(表 5)。说明这些点上的资料也能大致反映全国的情况。

3.2 有关化肥利用率的试验点和区域研究比较

对国内外近年的有关化肥利用率研究结果(表 5)与本研究成果比较表明,虽然其结果基本接近,但本研究中所求得的化肥利用率结果要稍低于有关学者的结果。分析其原因主要有:表 5 中所列出的前人的研究结果大多系 90 年代初期甚至 80 年代所得,当时的施肥量比目前要低;本研究与前人的研究所采用的方法与研究对象不同。

需要说明的是,由于本研究中所应用的数据为化肥总施用量,其中氮磷钾化肥的施

用比例因地区不同而有一定出入, 这一点我们在计算时虽有所考虑, 但由于部分地区相关数据不全等原因, 因此, 所获得的化肥利用率实际上是所有化肥的总利用率的平均值。其次, 不同作物的施肥量实际上是有所差异的, 但由于统计结果中为分作物进行相应统计, 所以实际上粮食作物单位面积施肥量结果系单位播种面积施肥量的平均值。

表 5 不同来源化肥利用率结果比较 (%)

Tab. 5 Comparison of fertilizer application rates from different sources

资料来源	氮 肥	磷 肥	钾 肥	总利用率*
本研究 (全国平均值)				34.2
李庆逵等 ^[1]	30~35	10~20	35~50	/
林葆等 ^[2-5,7,8]	30~60	10~25	50~60	27.8~52.6
陈同斌等 ^[11]	35.0	19.5	47.5	33.0
Peoples等 ^[15]	23.8~46.5	/	/	/
De Datta ^[16,17]	42.5	21.6	48.9	38.3
Hignett等 ^[18-23]	40~60	10~20	50~60	29.1~50.3

* 国内研究结果系根据氮:磷:钾 = 1:0.31:0.15 的比例计算而得。国外研究结果系根据产量及施肥量、作物吸收量等结果计算所得。

4 结论

本研究中分高、中、低施肥量对我国不同地区的施肥进行了分区比较。研究结果表明, 不同化肥施用量地区单位播种面积化肥施用量、粮食单产等均存在较大差异, 其中单位播种面积化肥施用量以高施肥量区最高, 达 339.3 kg/hm², 中施肥量区次之为 252.0 kg/hm², 低施肥量区则仅 177.5 kg/hm²; 三大区域粮食单产以高施肥量区最高达 5371.5 kg/hm², 中施肥量区次之为 4939.4 kg/hm², 低施肥量区则仅 3843.9 kg/hm²。从施肥量结果来看, 高施肥量地区的化肥施用量明显较高, 并可能对环境带来一定影响。

不同区域的单位化肥粮食产出效率比较研究表明, 高施肥量区每 kg 化肥生产粮食量仅 11.7 kg, 中施肥量区为 13.7 kg, 低施肥量区则达到 17.5 kg。三大区域化肥利用率亦存在较大差异, 其中高施肥量区为 26.1%, 中施肥量区为 33.2%, 低施肥量区则达到 34.8%, 即施肥量愈大则化肥利用率愈低。对不同地区化肥施用现状进行分析, 我国目前有 11.9% 的县化肥施用已经过量, 14.6% 的县化肥施用量基本能满足作物生长需要, 而将近 3/4 的县则化肥施用还有一定的增长余地。

参考文献 (References)

- [1] Li Qingkui. Fertilizer Problems in Agricultural Sustainable Development in China. Nanchang: Jiangxi Science and Technology Press, 1998. [李庆逵编. 中国农业持续发展中的肥料问题. 南昌: 江西科学技术出版社, 1998.]
- [2] Lin Bao. Some problems in production and utilization of China's chemical fertilizers and their strategies. *Phosphorus and Compound Fertilizers*, 1997, 12(2): 1-6. [林葆. 当前我国化肥的若干问题 and 对策. 磷肥与复肥, 1997, 12(2): 1-6.]
- [3] Wu Hongye. Discussion on improvement of fertilizer use efficiency in China. *Phosphorus and Compound Fertilizers*, 1999, 14(1): 6-12. [伍宏业. 论提高我国化肥利用率. 磷肥与复肥, 1999, 14(1): 6-12.]
- [4] Biological Department of CAS. Key problem and proposal on China's chemical fertilizers. *Science and Technology Review*, 1997, (9): 35-36. [中国科学院生物学部. 我国化肥面临的突出问题及建议. 科技导报, 1997, (9): 35-36.]
- [5] Xu Xiucheng. What can the chemical industry do to improve fertilizer use efficiency? *Phosphorus and Compound Fertilizers*, 1999, 14(3): 6-11. [许秀成. 提高化肥利用率化工部门能干什么. 磷肥与复肥, 1999, 14(3): 6-11.]
- [6] Wu Zhijie. Problems in production and utilization of China's chemical fertilizers and the strategy. *Science and Technology Review*, 1997, (9): 37-39. [武志杰. 我国化肥生产应用中的问题及对策. 科技导报, 1997, (9): 37-39.]
- [7] Sun Xi (ed.). *Agricultural Encyclopedia of China-Agrochemistry*. Beijing: China Agricultural Press. 1996, 79. [孙羲 主. 编. 中国农业百科全书 -- 农业化学卷. 北京: 农业出版社, 1996, 79.]
- [8] Soil and Fertilizer Institute of Chinese Academy of Agricultural Science (ed.). *Fertilizers in China*. Shanghai: Shanghai

- Science and Technology Press, 1994. 199-315, 431-482. [中国农业科学院土壤肥料研究所主编. 中国肥料. 上海: 上海科学技术出版社, 1994. 199-315, 431-482.]
- [9] Agricultural Technology Center of China. Resources of Organic Fertilizers in China. Beijing: China Agricultural Press, 1999. 121-139. [全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料资源. 北京: 农业出版社, 1999. 121-139.]
- [10] Agricultural Technology Center of China. Nutrient Annals of Organic Fertilizers in China. Beijing: China Agricultural Press, 1999, 53-63. [全国农业技术推广服务中心. 中国有机肥料养分志. 北京: 农业出版社, 1999, 53-63.]
- [11] Chen Tongbin, Chen Shiqing, Xu Hongtao *et al.* Simulation study on rations of nitrogen, phosphorus and potassium fertilizers required in the crop production in China. *Acta Geographica Sinica*, 1998, **53**(1): 32-41. [陈同斌, 陈世庆, 徐鸿涛等. 我国农用化肥氮磷钾需求比例的研究, 地理学报, 1998, **53**(1): 32-41.]
- [12] Lin Zhonghui, Chen Tongbin, Zhou Lixiang. Characteristics of the chemical fertilizers consumed and their optimum regional allocation in China. *Resource Science*, 1998, **20**(5): 26-31. [林忠辉, 陈同斌, 周立祥. 中国不同区域化肥资源利用特征与合理配置. 资源科学, 1998, **20**(5): 26-31.]
- [13] International Fertilizer Industry Association. World Fertilizer User Handbook. Beijing: China Agricultural Press. 1999, 1-84. [国际肥料工业协会. 世界肥料使用手册. 北京: 农业出版社, 1999, 1-84.]
- [14] Li Rengang. Fertilizer Response Functions. Beijing: China Agricultural Press, 1987, 1-87. [李仁岗. 肥料效应函数. 北京: 农业出版社, 1987, 1-87.]
- [15] Peoples M. B., Freney J. R., Mosier A. R. Minimizing gaseous losses of nitrogen. In: Peter E. Bacon. Nitrogen Fertilization in the Environment. New York, 1995, 565-602.
- [16] De Datta S. K. Advances in soil fertility research and nitrogen fertilizer management for lowland rice. In: Efficiency of Nitrogen Fertilizers for Rice. Philippines: IRRI, 1987.
- [17] De Datta. Detecting Mineral Nutrient Deficiencies in Tropical and Temperate Crops. Westview Press Inc., 1989.
- [18] Hignett T. P. Fertilizer Manual. Developments in Plant and Soil Sciences. 1985. 15:3-48.
- [19] Potash and Phosphate Institute of Canada, Soil and Fertilizer Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences. Proceedings of the Third International Symposium on Maximum Yield Research. Beijing: Second Printing Plant, 1992.
- [20] Simpson K. Fertilizers and Manures. London: Longman Publisher, 1986.

Utilization Efficiency of Chemical Fertilizers among Different Counties of China

CHEN Tongbin¹, ZENG Xibo², HU Qingxiu³

(1. *Inst. of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;*

2. Inst. of Soil and Fertilizer, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

3. Inst. of Agri-natural Resources & Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: According to the grain yield response to fertilizers, China's fertilizer application rate can be classified into 3 typical regions: (1) the maximum fertilizer input region including 11 Eastern provinces (ER region); (2) the middle fertilizer input region covering mainly 10 Middle provinces (including Xinjiang and Gansu) (MR region); and (3) the low fertilizer input region consisting of 9 Western provinces (WR region). The average fertilizer application rate per ha cultivated land (sowing area) in 674 counties of ER region was 329 kg/ha, the average rate in the 973 counties of MR region was 231 kg/ha and that in the 709 counties of WR region was 231 kg/ha (Fig.1). The maximum application rate in some counties of China was found to be as high as 2,241 kg/ha which was nearly 10 folds of the average of whole China, i.e., 238 kg/ha. According to the response of grain yield to fertilizers, there were 11.9% excessive-fertilized counties which should reduce their fertilizer application rate and 14.6% counties which were not necessary to increase fertilizer application rate in China.

Key words: chemical fertilizer; fertilizer utilization efficiency (FUE); consumption; grain production; regional difference; China