水田土壤肥力现状及变化规律分析

——以湖北省为例*

王伟妮[1]　鲁剑巍[1†]　鲁明星[2]　戴志刚[2]　李小坤[1]

（1 华中农业大学资源与环境学院，武汉　430070）

（2 湖北省土壤肥料工作站，武汉　430070）

摘　要　2005～2009 年测土配方施肥项目获取了大量数据，本文通过对湖北省 2008 年所获取的水田土壤养分数据进行抽样研究，系统分析鄂东、江汉平原、鄂东南、鄂东北、鄂中、鄂西北和鄂西南 7 个稻区的土壤肥力现状，并将其与第二次土壤普查时的数据进行比较，探讨水田土壤养分的变化规律及原因。结果表明，目前湖北省水稻土有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量及 pH 平均值分别为 26.1 g kg^{-1}、124.2 mg kg^{-1}、13.1 mg kg^{-1}、89.1 mg kg^{-1} 和 6.3，主要分布范围分别为 10～40 g kg^{-1}、>90 mg kg^{-1}、5～40 mg kg^{-1}、50～150 mg kg^{-1} 和 5.0～7.5。各养分元素在不同稻区的分布均存在一定的差异，从全省来看，有机质含量具有东、南高，西、北低的分布特征；碱解氮具有西、南高，东、北低的特征；速效钾和 pH 具有西、北高，东、南低的特征；而有效磷没有表现出明显的区域分布规律。与第二次土壤普查相比，由于长期施用氮、磷肥和肥料用量不断增加以及秸秆还田面积和数量的增加，一方面促进了水稻土有机质、碱解氮和有效磷含量的提高，另一方面也加速了土壤的酸化；而钾肥用量的不足及高产水稻品种对钾素的大量吸收，也导致了土壤速效钾含量的下降。可见，在湖北省目前的稻区农业生产中，增加钾肥用量，合理调整氮、磷、钾肥的比例，并在进行秸秆还田的同时适当配施石灰，是实现水稻土肥力提高和防止土壤酸化的有效途径。本研究还说明，充分利用测土配方施肥项目的资料对土壤养分数据进行系统研究，可以获得对区域性土壤肥力现状及变化的全面认识。

关键词　湖北省；水稻土；肥力现状；肥力变化；不同稻区

中图分类号　S155.2+92；S158　　**文献标识码**　A

土壤是历史的自然体，是主要的农业生产资料，它在自然与人为的综合作用下，处于不断的变化与更新之中[1]。土壤质量是全球生物圈可持续发展的重要因素之一，亦是农业发展、土壤管理和土地利用的可持续评估、判断准则[2]。土壤养分状况是耕作土壤质量变化最基本的表征和核心研究内容，与作物生产、粮食安全、生态环境及人类健康密切相关。在农业生产中，不同的土地利用方式、施肥管理措施和耕作方式均影响着土壤变化的方向和程度；而基于土壤母质、地形、气候、生物等因素的不同，不同区域土壤的养分状况也存在较大差异。了解土壤肥力的现状、变化及不同区域之间的差异，对于充分利用土地资源及制定合理的施肥方案，以实现作物的优质生产和环境友好有重要作用。

20 世纪 80 年代起，中国开展了大规模的第二次土壤普查工作，摸清了全国的土壤养分状况，并建立了相应的土壤养分丰缺指标体系，为农业的综合开发和结构调整提供了科学依据[3]。但是，第二次土壤普查已过去近 30 年，随着农业生产水平的不断提高、作物高产品种的广泛应用、肥料用量的持续增长、种植制度及耕作措施的不断变化，土壤养分状况已经发生了很大变化，过去的土壤养分丰缺指标体系已不能适应现代化农业生产的需求[4]。近几年，许多学者提出了土壤肥力质量变化的问题，而对于土壤养分时空变异的研究也已成为一个热点[2, 5-6]。但是，目前全国各省（市、自治区）不同土地利用方式下的土壤养分状况到底处在何种水平，与第二次土壤普查相比，变化幅度到底有多

* 国家“十一五”科技支撑计划重点项目（2008BADA4B08，2006BAD25B01）、国家测土配方施肥项目资助

† 通讯作者，E-mail：lujianwei@mail.hzau.edu.cn

作者简介：王伟妮（1984—），女，山东潍坊人，博士研究生，主要从事现代施肥技术方面的研究。Tel：027－87288589；E-mail：i_happy18@webmail.hzau.edu.cn

收稿日期：2010－11－04；收到修改稿日期：2011－02－19

大,现在仍不能得出比较全面、系统的结论。

国家实施测土配方施肥项目已有 5 年时间,其间采集了大量土壤样品,并对土壤养分进行了测定分析,但目前这些数据还没得到充分利用。若对这些土壤养分数据进行系统的统计分析,是否可以明确我国目前的土壤养分状况,了解与第二次土壤普查相比的变化幅度?在提出这个问题的基础上,本研究选择受人为活动影响最大的水稻土作为研究对象,以湖北省为例,通过对 2008 年测土配方施肥项目所获取的土壤养分数据进行抽样研究,比较分析了全省不同稻区土壤的肥力现状,并将其与第二次土壤普查数据相比较,了解水田土壤养分的变化规律及变化原因。希望一方面可以为湖北省水稻生产的合理施肥及土壤培肥提供理论基础,另一方面可以为当前生产条件下土壤养分丰缺指标体系的建立提供一定的参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

湖北省位于长江中游,洞庭湖以北,东经 108°21′~116°07′,北纬 29°25′~33°20′。东西长约 740 km,南北宽约 470 km,总面积 18.59 万 km^2,占全国总面积的 1.94%。全省地势西高东低,西、北、东三面环山,中间低平,略呈向南敞开的马蹄形层状分布地形。在总面积中,山地占 56%,丘陵占 24%,平原湖区占 20%。长江、汉江横贯全省,加上亚热带湿润气候,形成境内密布的水网,素有“千湖之省”、“鱼米之乡”之称。水稻一直是湖北省种植面积最大、总产最多的粮食作物,全省水稻播种面积占粮食总播种面积的 50%以上,产量占 70%,商品量占 80%,是仅次于湖南和江西的第三大水稻大省[7]。据第二次全国土壤普查资料,湖北省土壤共划分为 14 个土类[8],其中水稻土作为一个独立的土类,有与其他土壤不同的形成条件、形成过程和土壤特征特性。

湖北地处南北过渡地带,属亚热带季风气候,光照充足,热量丰富,雨量充沛,雨热同季。全省年平均气温 15~17℃,年平均日照时数 1 200~2 200 h,年平均降雨量 750~1 600 mm。因东西经度相差八度,南北纬度相差四度,加之复杂多样的地貌类型,对气候要素产生了明显的再分配作用,使得全省东西、南北气候均有较大差异。根据湖北省种植业区划,全省划分为 7 个稻区[9]:鄂东丘陵岗地双季稻区、江汉平原双季稻区、鄂东南低山丘陵双季稻区、鄂东北低山丘陵单双季稻区、鄂中丘陵岗地单季稻区、鄂西北山地单季稻区和鄂西南山地单季稻区,各稻区内分别辖有 11、18、6、4、12、10 和 14 个行政县(市、区)。

1.2 样品采集与分析

1.2.1 土壤样品采集与抽取方法 参照测土配方施肥技术规程[10],湖北省测土配方施肥项目在 2005~2009 年期间采集了大量土壤样品。本研究利用 2008 年所采集的水稻土样品,在综合考虑各县(市、区)的水田面积、轮作制度、土壤类型、肥力等级及地形等因素的基础上,确定了土壤样品的抽取数目,其中每个县(市、区)的抽样数为 30~200 份不等,共抽取 6 530 份。

1.2.2 土壤样品分析方法 6 530 份土壤样品中测定了有机质、碱解氮、有效磷、速效钾和 pH 的样本数分别为 6 450、6 450、6 530、6 370 和 6 434 个,其中土壤有机质用外加热重铬酸钾容量法,碱解氮用 1.0 mol L^{-1} NaOH 扩散法,有效磷用 0.5 mol L^{-1} $NaHCO_3$ 浸提-钼锑抗比色法,速效钾用 1.0 mol L^{-1} NH_4OAc 浸提-火焰光度法,pH 用电位法进行测定[11]。

1.3 数据统计分析

由于样本数较多,容易受各方面影响出现离群值,为提高数据的准确度,本研究采用拉依达法(3 倍方差法)来检测离群值[5,12],并将其剔除,其中针对有机质、碱解氮、有效磷、速效钾和 pH 数据剔除的离群值分别为 69、61、105、151 和 4 个。

剔除离群值后,运用 SPSS 和 Excel 软件对土壤养分数据进行统计分析,得出全省水稻土肥力的基本情况。为了方便与第二次土壤普查时的土壤肥力状况相比较,本研究按照湖北省第二次土壤普查制定的养分分级标准(1),将有机质、碱解氮、有效磷、速效钾和 pH 进行分级。

2 结果与讨论

2.1 水稻土有机质含量现状和变化分析

有机质直接影响土壤的物理、化学及生物性质,是衡量土壤肥力高低的重要指标,也是农业可持续发展的重要因素[13]。表 1 可见,湖北省水稻土有机质含量变幅为 7.0~57.3 g kg^{-1},平均为 26.1 g kg^{-1},变异系数为 35.4%,属中等变异。7 个稻区中,鄂东北有机质含量显著低于其余 6 个稻区,分析原因可能是因为该稻区位于大别山区,土壤母质为花岗片麻岩,质地主要为砂土(1),有机质含量

本就较低;而且该稻区经济条件较为落后,作物施肥水平较低,稻田中有机肥的施用及秸秆还田均未引起重视。总体来说,湖北省水稻土有机质呈自南向北、自东向西逐渐降低的趋势;且双季稻区高于单季稻区。这可能是因为双季稻区的耕作制度一般为稻 - 稻连作或稻 - 稻 - 油轮作,土壤淹水嫌气时间较长,有利于有机质积累;而单季稻区一般为稻 - 油或稻 - 麦等水旱轮作的方式,有利于有机质矿化[14]。Witt 等[15]也研究发现,水稻连作两年土壤有机碳可增加 10%,水稻 - 玉米轮作则变化不大。

表 1　湖北省不同稻区水稻土养分含量的描述性统计

Table 1　Descriptive statistics of nutrients contents in paddy soils in different rice regions in Hubei Province

稻区 Rice region	指标 Index	有机质 Organic matter (g kg^{-1})	碱解氮 Alkalystic N (mg kg^{-1})	有效磷 Available P (mg kg^{-1})	速效钾 Available K (mg kg^{-1})	pH
鄂东 E'dong	变幅 Range	9.0 ~ 57.3	43.0 ~ 233.0	1.2 ~ 46.3	17.8 ~ 218.0	4.5 ~ 7.9
	均值 Mean	27.4 a	125.6 ab	14.5 b	77.0 e	6.0 d
	变异系数 CV (%)	32.8	28.0	62.2	46.9	11.8
	样本数 Number of samples	2 386	2 312	2 360	2 261	2 340
江汉平原 Jianghan Pingyuan	变幅 Range	9.1 ~ 56.5	30.0 ~ 216.7	1.1 ~ 43.3	20.8 ~ 222.0	4.2 ~ 8.5
	均值 Mean	26.9 ab	124.3 ab	12.0 bc	95.7 bc	6.8 b
	变异系数 CV (%)	31.7	29.3	61.9	43.1	11.5
	样本数 Number of samples	1 381	1 409	1 428	1 440	1 432
鄂东南 E'dongnan	变幅 Range	10.0 ~ 52.2	21.0 ~ 217.0	1.5 ~ 26.0	28.0 ~ 180.0	4.0 ~ 7.8
	均值 Mean	27.4 a	123.2 ab	9.8 c	80.5 de	6.0 d
	变异系数 CV (%)	38.9	25.6	43.7	48.9	16.2
	样本数 Number of samples	670	633	682	585	683
鄂东北 E'dongbei	变幅 Range	12.5 ~ 24.0	57.0 ~ 108.0	10.5 ~ 27.8	17.0 ~ 110.0	5.3 ~ 7.2
	均值 Mean	17.8 d	85.9 c	17.4 a	68.2 e	5.9 d
	变异系数 CV (%)	23.6	22.7	32.0	52.2	10.1
	样本数 Number of samples	100	98	97	98	100
鄂中 E'zhong	变幅 Range	7.0 ~ 44.9	31.5 ~ 204.0	3.0 ~ 46.2	18.0 ~ 243.0	4.8 ~ 8.0
	均值 Mean	23.3 c	120.8 b	12.8 b	104.4 ab	6.3 c
	变异系数 CV (%)	34.8	28.6	64.1	39.4	11.2
	样本数 Number of samples	1 138	1 199	1 161	1 100	1 146
鄂西北 E'xibei	变幅 Range	7.7 ~ 55.3	50.0 ~ 196.0	4.7 ~ 28.5	36.0 ~ 230.0	6.1 ~ 8.3
	均值 Mean	24.0 bc	124.0 ab	12.8 b	116.2 a	7.1 a
	变异系数 CV (%)	55.2	33.9	56.7	44.8	9.9
	样本数 Number of samples	262	255	270	282	279
鄂西南 E'xinan	变幅 Range	11.0 ~ 48.1	43.0 ~ 214.0	1.0 ~ 37.8	30.0 ~ 170.0	4.3 ~ 8.1
	均值 Mean	25.6 abc	135.7 a	13.8 b	90.2 cd	5.8 d
	变异系数 CV (%)	34.8	27.9	64.2	44.2	18.2
	样本数 Number of samples	444	483	427	453	450
全省 Hubei Province	变幅 Range	7.0 ~ 57.3	21.0 ~ 233.0	1.0 ~ 46.3	17.0 ~ 243.0	4.0 ~ 8.5
	均值 Mean	26.1	124.2	13.1	89.1	6.3
	变异系数 CV (%)	35.4	28.8	62.2	46.4	13.9
	样本数 Number of samples	6 381	6 389	6 425	6 219	6 430

注:同列中不同的字母表示在 5% 水平上差异显著 Note: Different letters in the same column mean significant differences at 5% level

从土壤有机质含量的分布情况来看（表2），7个稻区均未出现有机质含量低于6 g kg^{-1}的样本，在6～10 g kg^{-1}之间的样本数也很少，基本均分布在10～40 g kg^{-1}之间。除鄂东南有机质在2级水平、鄂东北在4级水平所占比例最大，其余稻区均在3级水平所占比例最大。与第二次普查一致的是，目前的有机质含量也主要处于3级水平，其次是4级和2级水平。与第二次普查不同的是，目前有机质含量在2级水平所占比例上升了7.2个百分点，在1级、3级、4级和6级水平所占比例则分别下降了1.4、4.3、0.9和0.5个百分点，说明与20世纪80年代初期相比，湖北省目前的水稻土有机质含量有所提高。

表2 湖北省不同稻区水稻土有机质含量的分布情况

Table 2 Distribution of organic matter contents in paddy soils in different rice regions in Hubei Province（%）

稻区 Rice region	有机质 Organic matter（g kg^{-1}）					
	> 40	30～40	20～30	10～20	6～10	≤ 6
	1级 Grade 1	2级 Grade 2	3级 Grade 3	4级 Grade 4	5级 Grade 5	6级 Grade 6
鄂东 E'dong	6.7	29.3	39.3	23.8	0.8	0
江汉平原 Jianghan Pingyuan	6.5	26.8	44.2	21.7	0.7	0
鄂东南 E'dongnan	10.4	32.8	29.9	25.4	1.5	0
鄂东北 E'dongbei	0	0	40.0	60.0	0	0
鄂中 E'zhong	1.8	18.4	45.6	28.1	6.1	0
鄂西北 E'xibei	15.4	7.7	34.6	30.8	11.5	0
鄂西南 E'xinan	6.8	20.5	43.2	29.5	0	0
全省 Hubei Province	6.4	25.3	40.5	25.6	2.2	0
全省（二普）Hubei Province（Second soil survey）1)	7.8	18.1	44.8	26.5	2.2	0.5

1）参照《湖北土壤》（根据第二次土壤普查资料编著）Cited from "Hubei Soil"（Data of the second national soil survey）

2.2 水稻土碱解氮含量现状和变化分析

碱解氮能够较灵敏地反映土壤氮素动态和供氮水平，其在土壤中的含量与后作产量及吸氮量高度相关[16]。表1中，湖北省水稻土碱解氮含量变幅在21.0～233.0 mg kg^{-1}之间，平均值为124.2 mg kg^{-1}，变异系数为28.8%，属中等变异。与有机质的分布情况一样，7个稻区的碱解氮含量也表现为鄂东北最低，其原因可能也是由砂质的土壤和较低的施肥水平引起的。而从全省来看，碱解氮含量具有西、南高，东、北低的分布特征。

由表3可见，7个稻区的碱解氮含量均主要分布在>90 mg kg^{-1}区间，且除鄂东北外，其余稻区均有20%以上的样本碱解氮含量>150 mg kg^{-1}。从全省来看，目前的碱解氮含量在3级水平所占比例最大，其次是在2级和1级水平。与第二次普查相比，目前碱解氮在1级和2级水平所占比例分别提高了8.1和3.7个百分点，在3级、4级、5级和6级水平所占比例则分别下降了0.5、8.7、2.5和0.1个百分点，说明碱解氮含量也有所提升。此外，鉴于各稻区碱解氮在1级水平所占比例均较大，笔者认为可以将湖北省水稻土碱解氮含量的分级标准划分成：>200 mg kg^{-1}（1级）、150～200 mg kg^{-1}（2级）、120～150 mg kg^{-1}（3级）、90～120 mg kg^{-1}（4级）、60～90 mg kg^{-1}（5级）和≤60 mg kg^{-1}（6级）。之前，已有许多文献[2, 17]将>200 mg kg^{-1}作为碱解氮的1级（高量）水平进行分级。按此标准划分后，全省碱解氮在1～6级水平所占比例分别为2.3%、20.3%、28.3%、33.9%、12.1%和3.1%。

2.3 水稻土有效磷含量现状和变化分析

有效磷是当季作物从土壤中主要吸收的磷，在一定程度上可以反映土壤磷素的供应水平[18]。土壤有效磷浓度受多种因素影响，不同区域、不同土壤类型及不同耕作方式下的有效磷含量差异很大[19-20]。从表1也可看出，全省有效磷含量的变异系数高达62.2%，明显高于其他土壤养分的变异系数。全省有效磷含量平均值为13.1 mg kg^{-1}，不同稻区间差异显著。其中，鄂东北的有效磷含量显著高于其余6个稻区，这说明该稻区虽属砂质土壤，但由于磷易被固定在土壤中，且当有效磷含量低于60 mg kg^{-1}时不易产生淋溶流失[19]；此外，由于该稻区作物产量水平较低，被作物带走的磷较少，因此即使施肥水平较低，该稻区的有效磷含量仍然较高。

表 3　湖北省不同稻区水稻土碱解氮含量的分布情况

Table 3　Distribution of alkalystic N contents in paddy soils in different rice regions in Hubei Province (%)

稻区 Rice region	碱解氮 Alkalystic N (mg kg^{-1})					
	>150	120~150	90~120	60~90	30~60	≤30
	1 级 Grade 1	2 级 Grade 2	3 级 Grade 3	4 级 Grade 4	5 级 Grade 5	6 级 Grade 6
鄂东 E'dong	23.8	25.4	39.5	9.2	2.2	0
江汉平原 Jianghan Pingyuan	22.3	29.5	29.5	15.8	2.2	0.7
鄂东南 E'dongnan	20.0	30.9	40.0	7.3	0	1.8
鄂东北 E'dongbei	0	0	55.6	33.3	11.1	0
鄂中 E'zhong	20.4	29.6	32.4	13.9	3.7	0
鄂西北 E'xibei	27.3	22.7	22.7	22.7	4.5	0
鄂西南 E'xinan	29.5	38.6	22.7	4.5	4.5	0
全省 Hubei Province	22.6	28.3	33.9	12.1	2.7	0.4
全省(二普) Hubei Province (Second soil survey)[1)]	14.5	24.6	34.4	20.8	5.2	0.5

1) 来源于对湖北省 49 个县(市、区)土壤志(根据第二次土壤普查资料编著)中资料的统计汇总 Cited from Soil Records of the 49 counties in Hubei Province (Data of the second national soil survey)

表 4 显示,除鄂东北有效磷含量主要分布在 10~40 mg kg^{-1},其余稻区均主要分布在 5~20 mg kg^{-1}。鄂东、江汉平原、鄂东南、鄂东北、鄂中、鄂西北和鄂西南稻区有效磷含量 <10 mg kg^{-1}(缺磷)的比例分别为 41.1%、47.6%、58.9%、0、45.7%、44.4% 和 38.1%,说明除鄂东北外,其余稻区均有 1/2 左右的水稻土处于缺磷状态。与第二次普查相比,目前水稻土有效磷含量在 1 级、2 级、3 级和 4 级水平所占比例分别提高了 1.2、11.7、27.7 和 2.2 个百分点,在 5 级和 6 级水平则分别下降了 26.7 和 16.0 个百分点。此外,目前水稻土缺磷比例约占 44.5%,明显低于第二次普查时的 85.0%。以上结果均说明与 20 世纪 80 年代初期相比,湖北省目前的水稻土供磷能力得到了较大幅度的提升。这与全国耕地有效磷的变化趋势是一致的,例如与 1980 年相比,2000 年全国耕地有效磷含量增加了 6~8 mg kg^{-1},年均增加 11%,缺磷的耕地面积也从 78% 下降至 50%[21]。产生这一变化的原因主要是因为,随着近些年对农业投入的不断加大,肥料用量的不断增加,土壤磷含量发生了明显变化。

表 4　湖北省不同稻区水稻土有效磷含量的分布情况

Table 4　Distribution of available P contents in paddy soils in different rice regions in Hubei Province (%)

稻区 Rice region	有效磷 Available P (mg kg^{-1})					
	>40	20~40	10~20	5~10	3~5	≤3
	1 级 Grade 1	2 级 Grade 2	3 级 Grade 3	4 级 Grade 4	5 级 Grade 5	6 级 Grade 6
鄂东 E'dong	2.5	19.1	37.3	34.3	5.1	1.7
江汉平原 Jianghan Pingyuan	0.7	13.3	38.5	35.0	7.7	4.9
鄂东南 E'dongnan	0	2.9	38.2	50.0	7.4	1.5
鄂东北 E'dongbei	0	30.0	70.0	0	0	0
鄂中 E'zhong	2.6	9.5	42.2	36.2	7.8	1.7
鄂西北 E'xibei	0	22.2	33.3	37.0	7.4	0
鄂西南 E'xinan	0	19.0	42.9	26.2	4.8	7.1
全省 Hubei Province	1.6	14.7	39.3	35.4	6.4	2.7
全省(二普) Hubei Province (Second soil survey)[1)]	0.4	3.0	11.6	33.2	33.1	18.7

1) 参照《湖北土壤》(根据第二次土壤普查资料编著) Cited from "Hubei Soil" (Data of the second national soil survey)

2.4 水稻土速效钾含量现状和变化分析

速效钾含量是衡量土壤钾素供应能力的主要指标[18]。表 1 中,水稻土速效钾含量变幅在 17.0 ~ 243.0 mg kg^{-1}之间,平均值为 89.1 mg kg^{-1}。据资料统计,湖北省第二次土壤普查时水稻土速效钾含量平均值为 99 mg kg^{-1},1989 年为 92 mg kg^{-1}[22]。可见,目前的速效钾含量较第二次普查时降低了 10.0%,较 1989 年降低了 3.2%。不同稻区间的速效钾含量差异显著,表现为鄂西北 > 鄂中 > 江汉平原 > 鄂西南 > 鄂东南 > 鄂东 > 鄂东北,从全省看,具有西、北高,东、南低的分布特征。速效钾含量除与土壤地带性分布有直接联系,与土壤母质来源也密切相关。一般来说,鄂西北由红砂岩发育的土壤、鄂中由 Q_3母质发育的土壤以及江汉平原由汉江冲积物发育的土壤供钾能力均较强,而鄂西南由 Q_3母质或砂页岩发育的土壤、鄂东南及鄂东由花岗片麻岩发育的土壤供钾能力均较弱[22]。此外,质地也是决定土壤速效钾含量的主要因素,质地黏重的土壤其速效钾含量一般高于质地轻的土壤[22],因而在土壤质地主要为砂土的鄂东北速效钾含量相对最低。

表 5 表明,除鄂西北速效钾含量在 2 级水平比例最大,其余稻区均在 3 级水平比例最大。鄂东、江汉平原、鄂东南、鄂东北、鄂中、鄂西北和鄂西南稻区速效钾含量 > 100 mg kg^{-1}的比例分别为 24.8%、40.3%、30.5%、20.0%、50.0%、60.7% 和 33.4%,可见除了鄂中和鄂西北,其余稻区速效钾处于较丰水平的土壤样本数均未超过 1/2,说明湖北省水稻土速效钾并不丰富。与第二次普查相比,目前速效钾在 1 级、2 级和 4 级水平所占比例分别下降了 5.9、3.5 和 0.3 个百分点,在 3 级水平所占比例则上升了 9.7 个百分点。说明与 20 世纪 80 年代初期相比,目前的水稻土速效钾含量下降了,这主要是因农业生产方式的改变造成的,例如:随着复种指数的提高及高产品种的推广应用,作物产量提高了,从土壤中带走的钾素增加了;此外,多年来重氮磷肥轻钾肥、重化肥轻有机肥的施肥习惯加剧了作物对土壤钾的消耗,使钾素得不到有效补给而产生了亏缺[22]。

表 5 湖北省不同稻区水稻土速效钾含量的分布情况

Table 5 Distribution of available K contents in paddy soils in different rice regions in Hubei Province (%)

稻区 Rice region	速效钾 Available K (mg kg^{-1})			
	> 150	100 ~ 150	50 ~ 100	≤ 50
	1 级 Grade 1	2 级 Grade 2	3 级 Grade 3	4 级 Grade 4
鄂东 E'dong	4.0	20.8	48.7	26.5
江汉平原 Jianghan Pingyuan	10.4	29.9	49.3	10.4
鄂东南 E'dongnan	6.8	23.7	42.4	27.1
鄂东北 E'dongbei	0	20.0	50.0	30.0
鄂中 E'zhong	15.5	34.5	43.6	6.4
鄂西北 E'xibei	28.6	32.1	25.0	14.3
鄂西南 E'xinan	6.7	26.7	55.6	11.1
全省 Hubei Province	9.0	26.6	46.7	17.7
全省(二普) Hubei Province (Second soil survey) 1)	14.9	30.1	37.0	18.0

1) 参照《湖北土壤》(根据第二次土壤普查资料编著) Cited from "Hubei Soil" (Data of the second national soil survey)

2.5 水稻土 pH 现状和变化分析

pH 是土壤肥力的重要影响因子之一,其变化直接影响土壤营养元素的存在状态和有效性,也影响土壤肥力形成和土壤质量的演变过程[23]。表 1 显示,湖北省水稻土 pH 变幅在 4.0 ~ 8.5 之间,平均为 6.3。pH 的变异系数较低,仅为 13.9%。不同稻区间的土壤 pH 表现为鄂西北 > 江汉平原 > 鄂中 > 鄂东 ≈ 鄂东南 > 鄂东北 > 鄂西南,其中前 3 个稻区间差异显著,且均显著高于后 4 个稻区,这与湖北省土壤 pH 的地域性分布是一致的(1)。而且从全省来看,pH 具有与速效钾相似的分布特征。

根据第二次土壤普查资料(1),pH 值 1 级为碱

(1) 湖北省土壤普查办公室. 湖北土壤. 1990

性,2 级为微碱性,3 级为中性,4 级为微酸性,5 级以下为酸性。由表 6 可见,7 个稻区的土壤 pH 均未出现 >8.5 的样本,即目前湖北省水田不存在碱性土壤。此外,江汉平原和鄂西北均是中性土壤(pH 6.5 ~7.5)所占比例最大;而其余 5 个稻区均是微酸性土壤(pH 5.5 ~6.5)所占比例最大,且均有 2/3 以上的土壤处于酸性或微酸性水平(pH <6.5)。与第二次普查相比,目前 pH 在 1 级和 2 级水平所占比例分别下降了 0.2 和 16.6 个百分点,在 3 级、4 级、5 级和 6 级水平所占比例则分别上升了 7.6、4.4、0.4 和 4.3 个百分点。目前 pH <6.5 的比例为 63.0%,而第二次普查时为 53.9%。以上结果充分说明与 20 世纪 80 年代初期相比,湖北省目前的水稻土 pH 下降了,这可能与该地区水田土壤施用的氮肥种类主要为尿素、碳酸氢铵及氯化铵有关[24-25]。

表 6　湖北省不同稻区水稻土 pH 的分布情况

Table 6　Distribution of pH in paddy soils in different rice regions in Hubei Province (%)

稻区 Rice region	pH					
	>8.5	7.5 ~8.5	6.5 ~7.5	5.5 ~6.5	5.0 ~5.5	≤ 5.0
	1 级 Grade 1	2 级 Grade 2	3 级 Grade 3	4 级 Grade 4	5 级 Grade 5	6 级 Grade 6
鄂东 E'dong	0	2.6	18.8	47.9	22.6	8.1
江汉平原 Jianghan Pingyuan	0	16.1	50.3	27.3	5.6	0.7
鄂东南 E'dongnan	0	8.8	16.2	38.2	19.1	17.6
鄂东北 E'dongbei	0	0	20.0	60.0	20.0	0
鄂中 E'zhong	0	7.8	27.0	48.7	15.7	0.9
鄂西北 E'xibei	0	32.1	42.9	25.0	0	0
鄂西南 E'xinan	0	6.7	20.0	26.7	20.0	26.7
全省 Hubei Province	0	8.7	28.2	40.0	16.0	7.0
全省(二普) Hubei Province (Second soil survey) 1)	0.2	25.3	20.6	35.6	15.6	2.7

1) 参照《湖北土壤》(根据第二次土壤普查资料编著) Cited from "Hubei Soil" (Data of the second national soil survey)

2.6　水稻土各养分元素间的相关性分析

土壤各养分之间的相关关系对于分析土壤肥力有重要意义,可作为土壤肥力的观测和评价指标,同时对指导合理施肥也具有重要作用[17]。对 0 ~20 cm 土层养分的相关分析发现(表 7),有机质、碱解氮、有效磷和速效钾间均存在显著或极显著的正相关关系,说明土壤各养分因子的提高是相互促进的。其中,有机质与碱解氮间的相关系数相对最高,这是因为碱解氮包括无机的矿物氮和部分有机质中易分解的、比较简单的有机态氮,是铵态氮、硝态氮、氨基酸、酰胺和易水解的蛋白质氮的总和[26],因此碱解氮含量与有机质的含量和质量密切相关。土壤有效磷来自于土壤有机磷的矿化和无机磷的释放[27],而有机磷总量又与有机质的积累密切相关[20],因此,有机质与有效磷间的相关系数也相对较高。

表 7　水稻土各养分元素间的相关性分析

Table 7　Statistical correlation analysis among different nutrients in paddy soil

项目 Item	有机质 Organic matter	碱解氮 Alkalystic N	有效磷 Available P	速效钾 Available K
有机质 Organic matter	1.000			
碱解氮 Alkalystic N	0.433**	1.000		
有效磷 Available P	0.135**	0.069*	1.000	
速效钾 Available K	0.087**	0.077*	0.109**	1.000

注:* 和 ** 分别表示在 5% 和 1% 水平上差异显著 Note: * and ** denotes significant differences at 5% and 1% level, respectively

2.7 水稻土肥力变化的原因分析

第二次土壤普查至今,农业生产中的施肥措施发生了很大变化,这可能是导致土壤养分性状发生变化的主要原因。从不同时期的化肥用量来看,1979 年湖北省的化肥消费总量为 44.0 万 t,1995 年升至 228.4 万 t,2005 年继续上升至 285.8 万 t[28]。1990 年,湖北省水稻生产中氮(N)、磷(P_2O_5)、钾(K_2O)肥投入比例为 1∶0.34∶0.08[29],2003 ~ 2004 年为 1∶0.40∶0.33[7]。2007 ~ 2008 年,笔者通过在湖北省布置的 79 个田间试验的结果,得出水稻在平衡施肥条件下对 N、P_2O_5、K_2O 吸收量的比例约为1∶0.47∶1.58(表 8)。由此可见,与过去相比,化肥的投入量有很大幅度提高,且磷、钾肥所占比例也均有所提高,但从水稻对养分的需求比例来看,磷、钾肥所占比例仍然偏低,尤其是钾肥用量明显不足。这说明目前施肥中仍存在一些问题,主要表现在氮肥用量偏高、氮磷钾比例不合理以及钾肥用量不足等方面[7]。这势必造成了水田土壤钾素的亏缺,而且氮肥过量投入也加速了土壤酸化[30]。

随着高产品种的大面积推广应用,作物产量水平已较第二次普查时有了大幅度提高,其对养分的吸收也有了很大变化,故土壤肥力的变化也被作物吸收量所影响。通过分析 2007 ~ 2008 年在湖北省布置的 79 个田间试验的结果发现(表 8),在水稻秸秆不还田的条件下,早、中、晚稻收获后的土壤氮素均可产生盈余,盈余量大概为 N 12.9 ~ 50.2 kg hm^{-2};而土壤钾素在 3 种水稻收获后均会产生严重亏缺,亏缺量大概为 K_2O 76.1 ~ 180.2 kg hm^{-2}。这也就解释了为什么与第二次普查相比,有机质和碱解氮含量提高了,而速效钾含量下降了。对于有效磷而言,其含量大幅度提高的原因可能是因为,与过去相比,磷肥用量大幅度提高,而因其在土壤中的移动性较小,易被固定[19],作物对其当季利用率较低,故磷肥大部分积累在土壤中,导致土壤有效磷呈增长趋势。但是,因磷肥一般是施在土壤表层,故其绝大多数残留在表土层,20 cm 以下的底土仍然处于缺磷状态[6]。而且从表 8 可知,在秸秆不还田的条件下,除早稻收获后的土壤磷素略有盈余,中稻和晚稻收获后均产生亏缺。因此,目前仍要通过合理施用磷肥来提高土壤磷含量以保证作物高产。

表 8 湖北省稻田生态系统的养分平衡状况(2007 ~ 2008 年)

Table 8 Nutrient budget of the rice paddy ecosystem in Hubei Province (Year 2007 ~ 2008) (kg hm^{-2})

养分 Nutrient	水稻类型 Rice type	施肥量 Fertilizer application rate	养分吸收量 Nutrient uptake			养分盈亏量 Nutrient budget	
			稻谷 Grain	秸秆 Straw	总吸收量 Total	秸秆不还田 No Straw-returning	秸秆还田 Straw-returning
N	早稻 Early rice	154.7	81.6	48.0	129.6	25.1	73.1
	中稻 Mid rice	182.9	101.6	68.4	170.0	12.9	81.3
	晚稻 Late rice	172.3	74.2	47.9	122.1	50.2	98.1
P_2O_5	早稻 Early rice	64.9	47.0	16.8	63.7	1.2	17.9
	中稻 Mid rice	66.2	54.8	21.8	76.6	-10.4	11.4
	晚稻 Late rice	54.3	43.5	14.6	58.1	-3.8	10.8
K_2O	早稻 Early rice	88.6	25.8	159.4	185.3	-96.7	62.8
	中稻 Mid rice	102.9	32.0	251.1	283.1	-180.2	70.9
	晚稻 Late rice	100.7	26.6	150.2	176.8	-76.1	74.1

廖育林等[31]研究发现,长期施用秸秆不仅能增加土壤有机质,还可以为水稻生长提供一部分氮、磷、钾养分,而氮、磷、钾肥与秸秆长期配施有利于提高土壤肥力,维持或提高水稻产量和生产力可持续性。表 8 显示,若在水稻收获后将秸秆还田,则土壤中的氮、磷、钾养分均出现盈余,说明秸秆还田对保持土壤氮、磷、钾养分的正平衡具有重要意义。秸秆的含钾量较高,水稻植株吸收的钾约有 85% ~ 89% 集中在秸秆中(表 8)。有研究[32]表明稻草钾在土壤中的释放特征与氯化钾十分相似,稻草钾实际就是一种生物钾肥。鉴于以上原因,在水稻生产中,通过秸秆还田可以适当减少化肥的投入量。但

是,有研究发现[25],由于稻草在淹水后能释放出大量有机酸,如乙酸、丁酸等,因此稻草还田特别是在单施氮肥的基础上大量还田势必会加速土壤酸化。与第二次土壤普查相比,水稻产量已有大幅度提高,水稻秸秆及根茬归还于土壤中的数量也有大幅度提高。加之近几年农业部发布施行的"有机质提升工程"大力提倡秸秆还田、培肥地力,使秸秆还田的面积和数量逐年增加。可以说,与过去相比,目前水稻土有机质、碱解氮、有效磷含量的提高和 pH 的下降,部分原因可能都要归结于秸秆还田面积和数量的增加。因此要想发挥秸秆还田的有利效应,避免不利效应,就要在综合考虑土壤肥力、施肥水平及耕作栽培措施的基础上来制定合理的秸秆还田方式和数量[25, 31];此外,还可通过配施石灰来缓解秸秆还田造成的土壤酸化问题[33]。

土壤肥力变化不仅受肥料用量、作物养分吸收量以及秸秆还田的影响,还被其他一些因素所影响,如气候变化、灌溉水源以及耕作方式等。在全球气候变化背景下,我国气温自 20 世纪 80 年代明显升高已成为共识[34]。气候变暖,生物产量增加[34],则归还到土壤中的有机残体增多,有机质积累增加,同时气候变暖也提高了土壤中氮、磷的有效性。灌溉可通过向土壤中输入养分而影响土壤肥力。与过去相比,目前的许多灌溉水源已受到不同程度的污染,从而增加了向土壤中输入的氮、磷养分[35],提高了土壤肥力。免耕作为保护性耕作的一项核心技术,目前已得到大面积的推广应用。与传统翻耕相比,免耕可提高水田土壤的有机质、全氮、速效氮和有效磷含量,但也降低了 pH[36]。总体来说,在各种因素的综合影响下,土壤肥力发生了一系列变化。而通过以上分析,笔者认为本研究总结的水稻土有机质、碱解氮、有效磷、速效钾及 pH 的变化情况,可以在一定程度上反映湖北省水田土壤肥力的变化趋势。

3　结　论

1)目前,湖北省水稻土有机质含量平均为 26.1 g kg^{-1},属 3 级中等水平;碱解氮含量平均为 124.2 mg kg^{-1},属 2 级较丰富水平;有效磷含量平均为 13.1 mg kg^{-1},属 3 级中等水平;速效钾含量平均为 89.1 mg kg^{-1},属 3 级中等水平;pH 平均为 6.3,属微酸性土壤。

2)与第二次土壤普查时比较,目前的水稻土有机质、碱解氮和有效磷含量均有所提高,而速效钾含量和 pH 呈下降趋势。其中目前的有机质、碱解氮、有效磷和速效钾含量及 pH 的主要分布范围分别为 10 ~ 40 g kg^{-1}、> 90 mg kg^{-1}、5 ~ 40 mg kg^{-1}、50 ~ 150 mg kg^{-1} 和 5.0 ~ 7.5,所占比例分别为 91.4%、84.8%、89.4%、73.3% 和 84.2%;第二次普查时的主要分布范围分别为 10 ~ 40 g kg^{-1}、60 ~ 150 mg kg^{-1}、< 10 mg kg^{-1}、50 ~ 150 mg kg^{-1} 和 5.5 ~ 8.5,所占比例分别为 89.4%、79.8%、85.0%、67.1% 和 81.5%。

3)不同稻区间比较,有机质含量表现为鄂东≈鄂东南 > 江汉平原 > 鄂西南 > 鄂西北 > 鄂中 > 鄂东北;碱解氮含量表现为鄂西南 > 鄂东 > 江汉平原≈鄂西北≈鄂东南 > 鄂中 > 鄂东北;有效磷含量表现为鄂东北 > 鄂东 > 鄂西南 > 鄂西北≈鄂中 > 江汉平原 > 鄂东南;速效钾含量表现为鄂西北 > 鄂中 > 江汉平原 > 鄂西南 > 鄂东南 > 鄂东 > 鄂东北;pH 表现为鄂西北 > 江汉平原 > 鄂中 > 鄂东≈鄂东南 > 鄂东北 > 鄂西南。从全省来看,有机质含量具有东、南高,西、北低的区域变化趋势;碱解氮含量具有西、南高,东、北低的变化趋势;速效钾含量和 pH 具有西、北高,东、南低的变化趋势;而有效磷含量没有明显的变化趋势。

4)通过对水稻土有机质、碱解氮、有效磷和速效钾进行相关性分析,发现各养分因子间均存在显著或极显著的正相关关系。

参 考 文 献

[1] 王洪杰, 李宪文, 史学正, 等. 不同土地利用方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成关系. 水土保持学报, 2003, 17(2): 44—46, 50. Wang H J, Li X W, Shi X Z, et al. Distribution of soil nutrient under different land use and relationship between soil nutrient and soil granule composition (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2003, 17(2): 44—46, 50

[2] 陈浮, 濮励杰, 曹慧, 等. 近 20 年太湖流域典型区土壤养分时空变化及驱动机理. 土壤学报, 2002, 39(2): 236—245. Chen F, Pu L J, Cao H, et al. Spatial and temporal changes of soil nutrients and their mechanism in typical area of Taihu Lake valley during the past two decades (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2002, 39(2): 236—245

[3] 全国土壤普查办公室. 中国土壤. 北京: 中国农业出版社, 1998: 843—984. Soil Survey Office of China. The soil of China (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1998: 843—984

[4] 张福锁, 陈新平, 陈清, 等. 中国主要作物施肥指南. 北京: 中国农业大学出版社, 2009. Zhang F S, Chen X P, Chen Q,

et al. Fertilization guide for the main crops of China (In Chinese). Beijing: China Agricultural University Press, 2009

[5] 周学文, 赵小敏, 胡国瑞, 等. 南方丘陵地区水田土壤养分变异分析. 江西农业大学学报, 2009, 31(5): 919—926. Zhou X W, Zhao X M, Hu G R, et al. The analysis of soil nutrient variability in hilly paddy field of Southern China (In Chinese). Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2009, 31(5): 919—926

[6] 王激清, 李君, 刘社平. 冀西北地区农田土壤养分现状、变化与评价——以宣化县为例. 干旱区资源与环境, 2010, 24(8): 158—163. Wang J Q, Li J, Liu S P. Current situation, change and assessment of soil nutrients in northwest plateau of Hebei Province-The case of Xuanhua County (In Chinese). Journal of Arid Land Resources and Environment, 2010, 24(8): 158—163

[7] 申建波, 张福锁. 水稻养分资源综合管理理论与实践. 北京: 中国农业大学出版社, 2006: 236—263. Shen J B, Zhang F S. Theory and practice of nutrient resources management on rice (In Chinese). Beijing: China Agricultural University Press, 2006: 236—263

[8] 王庆云, 徐能海. 湖北省土系概要. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997: 5—6. Wang Q Y, Xu N H. Brief on soil series of Hubei Province (In Chinese). Wuhan: Hubei Science and Technology Press, 1997: 5—6

[9] 陈柏槐. 湖北省优质水稻现状与发展思路. 中国稻米, 2004(5): 12—15. Chen B H. The present situation and development thinking of good-quality rice in Hubei Province (In Chinese). China Rice, 2004(5): 12—15

[10] 高祥照, 马常宝, 杜森. 测土配方施肥技术. 北京: 中国农业出版社, 2005: 1—7, 14—20. Gao X Z, Ma C B, Du S. Soil testing and fertilizer recommendations technology (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2005: 1—7, 14—20

[11] 鲍士旦. 土壤农化分析. 第3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30—107. Bao S D. Soil and agricultural chemistry analysis (In Chinese). 3rd ed. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 30—107

[12] 赵辉, 邵素华, 谢东坡. 分析数据中离群值的处理方法. 周口师范学院学报, 2004, 21(5): 70—71, 115. Zhao H, Shao S H, Xie D P. Examination method for quilter of analytical data (In Chinese). Journal of Zhoukou Teachers College, 2004, 21(5): 70—71, 115

[13] Basamba T A, Barrios E, Amezquita E, et al. Tillage effects on maize yield in a Colombian savanna oxisol: Soil organic matter and P fractions. Soil and Tillage Research, 2006, 91: 131—142

[14] Xiao Y L, Zhang Y Z, Hu R Z, et al. Effect of rice-based cropping system on organic matter status in soils. Pedosphere, 1997, 7(4): 349—354

[15] Witt C, Cassman K G, Olk D C, et al. Crop rotation and residue management effects on carbon sequestration, nitrogen cycling and productivity of irrigated rice systems. Plant and Soil, 2000, 225: 263—278

[16] 李生秀, 李世清. 不同水肥处理对旱地土壤速效氮、磷养分的影响. 干旱地区农业研究, 1995, 13(1): 6—13. Li S X, Li S Q. The effects of different treatments with water and fertilizer on available N and P in dryland soil (In Chinese). Agricultural Research in the Arid Areas, 1995, 13(1): 6—13

[17] 易亮, 李凯荣, 张冠华, 等. 渭北黄土高原经济林地土壤养分特征研究. 水土保持研究, 2009, 16(2): 186—190. Yi L, Li K R, Zhang G H, et al. Research on soil nutrients characteristics of economic forest in Weibei Loess Plateau (In Chinese). Research of Soil and Water Conservation, 2009, 16(2): 186—190

[18] 鲁如坤. 我国土壤氮、磷、钾的基本状况. 土壤学报, 1989, 26(3): 280—286. Lu R K. General status of nutrients (N, P, K) in soils of China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1989, 26(3): 280—286

[19] 王淑英, 胡克林, 路苹, 等. 北京平谷区土壤有效磷的空间变异特征及其环境风险评价. 中国农业科学, 2009, 42(4): 1 290—1 298. Wang S Y, Hu K L, Lu P, et al. Spatial variability of soil available phosphorus and environmental risk analysis of soil phosphorus in Pinggu County of Beijing (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(4): 1 290—1 298

[20] Horst W J, Kamh M, Jibrin J M, et al. Agronomic measures for increasing P availability to crops. Plant and Soil, 2001, 237: 211—223

[21] 鲁如坤. 土壤磷素水平和水体环境保护. 磷肥与复肥, 2003, 18(1): 4—8. Lu R K. The phosphorus level of soil and environmental protection of water body (In Chinese). Phosphate and Compound Fertilizer, 2003, 18(1): 4—8

[22] 湖北省农业科学院土壤肥料研究所. 湖北土壤钾素肥力与钾肥应用. 北京: 中国农业出版社, 1996: 14—35. Soil and Fertilizer Institute of Hubei Academy of Agricultural Sciences. Soil potassium fertility and application of potassium fertilizer in Hubei Province (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 1996: 14—35

[23] Aciego P J C, Brookes P C. Relationships between soil pH and microbial properties in a UK arable soil. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40: 1 856—1 861

[24] Guo J H, Liu X J, Zhang Y, et al. Significant acidification in major Chinese croplands. Science, 2010, 327: 1 008—1 010

[25] 张永春, 汪吉东, 沈明星, 等. 长期不同施肥对太湖地区典型土壤酸化的影响. 土壤学报, 2010, 47(3): 465—472. Zhang Y C, Wang J D, Shen M X, et al. Effects of long-term fertilization soil acidification in Taihu Lake region, China (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2010, 47(3): 465—472

[26] 王艳杰, 付桦. 雾灵山地区土壤有机质全氮及碱解氮的关系. 农业环境科学学报, 2005, 24(增刊): 85—90. Wang Y J, Fu H. The relationships among organic matter, total nitrogen and alkaline nitrogen of soil in Wuling mountain (In Chinese). Journal of Agro-Environment Science, 2005, 24 (Suppl): 85—90

[27] Romanya J, Rovira P. Organic and inorganic P reserves in rainfed and irrigated calcareous soils under long-term organic and conventional agriculture. Geoderma, 2009, 151: 378—386

[28] 张四代, 张卫峰, 王激清, 等. 长江中下游地区化肥消费与供需特征及调控策略. 农业现代化研究, 2008, 29(1):

100—103. Zhang S D, Zhang W F, Wang J Q, et al. Character of fertilizer consumption and supply- demand and strategy for management in middle and lower reaches of Yangtz River of China (In Chinese). Research of Agricultural Modernization, 2008, 29 (1): 100—103

[29] 李季, 靳乐山, 崔玉亭, 等. 南方水田农用化学品投入水平及分析——以湖北湖南农户调查为例. 农业环境保护, 2001, 20(5): 333—336, 344. Li J, Jin L S, Cui Y T, et al. Farm-chemical input in paddy farmland in Southern China——A case of survey on farmers in Hubei and Hunan (In Chinese). Agro-Environmental Protection, 2001, 20(5): 333—336, 344

[30] Poss R, Smith C J, Dunin F X, et al. Rate of soil acidification under wheat in a semi-arid environment. Plant and Soil, 1995, 177: 85—100

[31] 廖育林, 郑圣先, 聂军, 等. 长期施用化肥和稻草对红壤水稻土肥力和生产力持续性的影响. 中国农业科学, 2009, 42 (10): 3 541—3 550. Liao Y L, Zheng S X, Nie J, et al. Effects of long-term application of fertilizer and rice straw on soil fertility and sustainability of a reddish paddy soil productivity (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2009, 42(10): 3 541—3 550

[32] 刘逊忠. 稻草持续还田定位监测结果与分析. 广西农学报, 2007, 22(3): 15—17. Liu X Z. Fixed plots monitoring results and analysis of straw-returning-field (In Chinese). Journal of Guangxi Agriculture, 2007, 22(3): 15—17

[33] 张桃林, 潘剑军, 刘绍贵, 等. 集约农业利用下红壤地区土壤肥力与环境质量变化及调控——江西省南昌市郊区和余江县案例研究. 土壤学报, 2007, 44(4): 584—591. Zhang T L, Pan J J, Liu S G, et al. Changes in soil fertility and environmental quality in red soil region under intensive agricultural use and their control —A case study of the suburbs of Nanchang City and Yujiang County in Jiangxi Province (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2007, 44(4): 584—591

[34] 杨晓光, 刘志娟, 陈阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 Ⅰ. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析. 中国农业科学, 2010, 43(2): 329—336. Yang X G, Liu Z J, Chen F. The possible effects of global warming on cropping systems in China Ⅰ. The possible effects of climate warming on northern limits of cropping systems and crop yields in China (In Chinese). Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(2): 329—336

[35] 谢迎新, 熊正琴, 赵旭, 等. 富营养化河水灌溉对稻田土壤氮磷养分贡献的影响——以太湖地区黄泥土为例. 生态学报, 2008, 28(8): 3 618—3 625. Xie Y X, Xiong Z Q, Zhao X, et al. Contribution of nitrogen and phosphorus on eutrophied irrigation water in a paddy soil: A case study in Taihu Lake region (In Chinese). Acta Ecologica Sinica, 2008, 28 (8): 3 618—3 625

[36] 兰全美, 张锡洲, 李廷轩. 水旱轮作条件下免耕土壤主要理化特性研究. 水土保持学报, 2009, 23(1): 145—149. Lan Q M, Zhang X Z, Li T X. Study on main physicochemical properties in no-tillage soil under paddy-upland rotation (In Chinese). Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23 (1): 145—149

STATUS QUO AND VARIATION OF SOIL FERTILITY IN PADDY FIELD —A CASE STUDY OF HUBEI PROVINCE

Wang Weini[1]　Lu Jianwei[1†]　Lu Mingxing[2]　Dai Zhigang[2]　Li Xiaokun[1]

(1 *Resources and Environment College, Huazhong Agricultural University, Wuhan* 430070, *China*)

(2*Soil and Fertilizer Station of Hubei Province, Wuhan* 430070, *China*)

Abstract Through the project of soil testing and fertilizer recommendation in 2005 ~ 2009, a lot of data about soil nutrients in paddy fields were acquired. Based on the data obtained in Hubei 2008, status quo of the soil fertilities in seven rice producing regions of the province, namely, E'dong, Jianghan Pingyuan, E'dongnan, E'dongbei, E'zhong, E'xibei, and E'xinan were systematic analyzed and compared with the data obtained during the second national soil survey to explore laws and causes of the variation of soil nutrients in paddy field. Results show that presently the paddy soils in Hubei Province were 10 ~ 40 g kg^{-1} or 26. 1 g kg^{-1} on average in organic matter, > 90 mg kg^{-1} or 124. 2 mg kg^{-1} on average in alkalystic N, 5 ~ 40 mg kg^{-1} or 13. 1 mg kg^{-1} on average in available P, and 50 ~ 150 mg kg^{-1} or 89. 1 mg kg^{-1} on average in available K, and 5. 0 ~ 7. 5 in pH or 6. 3 on average. The soil nutrients varied to a varying extent from region to region. In view of the province as a whole, the distribution of organic matter was characterized by being high in the east and south and low in the west and north, that of alkalystic N being high in the west and south and low in the east and north, and that of available K and pH both being high in the west and north and low in the east and south, while that of available P did not show any apparent rule. Compared with the findings of the second soil survey, the contents of organic matter, alkalystic N and available P increased while pH decreased as a result of long-term application of N and P fertilizers at an increasing

rate and increased area and rate of straw incorporation. However, inadequate application rate of K fertilizer and the adoption of high K-demanding rice cultivar led to decrease in available K in the soil. Obviously in rice production in Hubei Province, to increase K application rate, to readjust the ratio of N: P: K rationally, and to lime the paddy fields at a proper rate while incorporating rice straw into the soil are effective approaches to raising soil fertility and preventing acidification of the paddy soils. The study also demonstrates that by making full use of the data of the project of soil testing and fertilizer recommendation and conducting systematic study of the soil nutrient data, it is feasible to obtain full knowledge of the status quo and variation of soil fertility of a region.

Key words Hubei Province; Paddy soil; Status quo of soil fertility; Variation of soil fertility; Different rice regions