第1卷 第3～4期 植物营养与肥料学报 Vol.1 No.3～4
1995年11月 PLANT NUTRITION AND FERTILIZER SCIENCES Nov. 1995

磷肥恒量监控施肥法在农业中应用探讨

王兴仁 曹一平 张福锁 陈新平

（北京农业大学植物营养系，100094）

摘 要

本文提出了磷肥恒量监控施肥法，并论证了它的科学性和可行性，其要点是：

1. 通过肥料长期定位试验可以得到将土壤速效磷长期维持在临界水平范围内的施磷量。
2. 该施磷量可以长期维持或提高土壤供磷能力并获得作物持续高产和最大经济效益。
3. 该施肥量虽然因作物或种植制度而异，但可以在一定施肥区域不同肥力水平的土壤上和一个相当长的时期内保持相对稳定。

关键词 磷肥，恒量监控，长期定位试验，可行性

1994年，作者曾提出“磷肥施用量应主要由肥料长期定位试验确定和监控，并且可以在一定施肥范围和施肥时期内保持相对稳定，而不必过分计较一时一地的土壤养分得失”的看法[1]，其后又将其定名为“恒量监控施肥法”。本文就这一方法的科学性和可行性作进一步论证，供讨论和参考。

一、恒量监控施肥法的基本含义

恒量监控施肥法的基本含义是，通过肥料长期定位试验，找出能将土壤速效磷含量持续控制在临界水平范围内的施磷量，以此作为施肥建议并在一定的时空范围内保持用量相对稳定。这里的临界水平是指能获得持续高产的最低土壤速效磷含量，它主要与作物种类或种植制度有关。恒量是指对给定的作物或种植制度，在一定的农业生态区域内的非逆境土壤上，及在产量水平尚未得到显著提高的一个相当长的时期内，施肥量不因土壤肥力水平不同或年度、轮作周期差异而改变；监控是指施肥量不变是相对的，“恒定”的时空范围需由土壤测试进行监控，例如，黄淮海地区的肥料定位试验证明，在冬小麦—夏玉米轮作条件下，每年施用磷肥(P_2O_5)135kg ha^{-1}，可以使土壤速效磷(P)长期维持在5～6mg kg^{-1}的水平或有进一步的提高，并能持续获得小麦约5250kg ha^{-1}，玉米约6000kg ha^{-1}的高产。该施肥量可作为推荐施肥量，并在该地区不同肥力土壤和一个相当长的时期内保持相对稳定。

二、恒量监控施肥法的科学依据

（一）理论基础

磷肥恒量监控施肥法充分反应了磷的土壤养分资源特征和磷肥的产量效应特征。

1. 磷的土壤养分资源特征

据养分资源综合利用的观点[8]和磷的土壤养分资源特征[4]，磷肥合理施用的实质是确保土壤对作物需要养分的持续供应能力。土壤中磷酸盐可分为三个重要组份：土壤溶液中的磷酸盐、活性磷酸盐贮库、非活性磷酸盐。三者之间处于动态平衡状态[14]。作物当季产量主要取决于土壤速效磷含量，而能否持续高产主要取决于土壤磷的贮备及其持续供应能力。这两者的关系可以通过施肥予以调控。过量施肥，在提高土壤速效磷含量的同时，也促进了土壤溶液态磷向活性磷贮库方向转化，但产量却不再增加，因此肥料效益下降[20]。此外，磷肥在土壤中有较大的累积后效。残余磷肥，除非遭土壤侵蚀或少量淋失，终将被作物全部利用[17]，例如，在黄淮海平原，磷肥的当季利用率往往不足20%，但在5～10年内，迭加利用率可高达45%左右[7]。因此，磷肥的效应，应在连续种植和施肥条件下，由长期定位试验来评价。通过试验，应该并且可以找到一个既能获得作物持续高产，又能维持土壤长期供肥能力的最佳施肥量。

2. 磷肥的产量效应特征

磷肥产量效应特征说明，恒量监控施肥法用肥节省，但定量不必像氮肥那样精细。

各种营养元素的肥料产量效应变化趋势不同。Steffen(1982)在汇总欧洲田间肥料试验结果的基础上绘制的冬小麦、甜菜氮、磷、钾肥料产量效应曲线显示，含过量施肥的完整效应曲线，氮肥呈抛物线形；磷肥近于相交直线或渐近线；钾肥界于两者之间[19]。这说明，一定范围的过量施磷，除了可能引起其它营养元素供应失调或因发生土壤侵蚀而导致地面水"富营养化"外，不会像过量施氮那样造成作物减产和产品质量下降。这一特点对磷肥合理施用有两点重要意义：

(1) 磷肥合理施肥量的决策范围内较为宽松。在相对稳定施肥量已经确定的条件下，暂时(一般不超过3～5年)可不计较土壤肥力水平和年度间的差异。

(2) 磷肥产量达最高值后出现的"水平曲线效应"易误导过量施肥。在试验水平较少时误导的可能性更大。因此我们不主张采用肥料效应函数法和边际分析方法确定经济合理施磷量。否则应该用相交直线或指数函数曲线进行数学模拟[16]，以直线交点或指数曲线拐点的施肥量作为最佳施肥量[20]。若采用多项式函数和边际分析的方法，将使推荐施肥量明显偏高[1]。

(二) 实践论证

1. 国内大量的肥料定位试验证明，在连续种植条件下，存在一个用肥节省，既能获得持续高产，又能维持或提高土壤有效磷水平的合理施磷量。

北京昌平，河南封丘、郑州，天津等地冬小麦一夏玉米轮作肥料定位试验结果表明[3,6,11,12]，在平衡施肥的情况下，每年施磷肥(P_2O_5)135kg ha^{-1}，可获得作物持续高产，土壤速效磷水平得以维持或有提高。具体结果见表1。其中，郑州点土壤速效磷含量有所下降，这可能由于该试验点土壤质地为砂壤，而且土壤速磷的初始水平较高的缘故。全国化肥网在各地(台湾、西藏暂缺)不同农业生态和生产条件下的107个谷类作物的中长期(1981～1988)肥料定位试验汇总结果表明，每季作物施磷肥(P_2O_5)45～75kg ha^{-1}，可以使作物产量基本上维持在4500kg ha^{-1}以上的水平。试验结果还表明，小麦、玉米、高粱等作物三个施磷水平(单季施P_2O_5 kg ha^{-1})＜45、46～75＞75，能获得4500～6000kg ha^{-1}产量并维持或提高土壤速效磷水平的试验点概率分别为73.7%、83.8%、100%[10]，与表1结论基本一致。这说明在连续种植条件下，单季施P_2O_5 60～75 kg ha^{-1}或双季施P_2O_5 120～135kg ha^{-1}是经济合理的。这一施肥量较短期肥料田间试验用肥料效应函数法提出的推荐施肥量(222kg ha^{-1})[19]，减少40%以上。用肥节省是恒量监控施肥法主要优点之一。

对北京市8个县1375个生产样点调查结果显示，北京市在连年施用磷肥，持续获得高产的条件下，至1993年，已有87.6%的土样速效磷(P，mg kg^{-1})在5以上，40.8%在10以上[1,3]。据此，并考虑到全国仍有1/4～1/3土壤缺磷[13]，上述推荐施P_2O_5 60～75kg ha^{-1}每季作物对谷类作物持续高产和增加土壤磷库储备来说是经济合理的。

表 1　不同地点肥料定位试验结果[1)]

Table 1　The results of long-term fertilizer experiments in different sites

	地点 Sites			
	昌平 Changping	封丘 Fengqiu	郑州 Zhengzhou	天津 TianJin
试验年限 Exp. term	1984-1993	1989-1993	1981-1993	1979-1993
轮作方式 Rotation	冬小麦一夏玉米 ▸春玉米	冬小麦一夏玉米	冬小麦一夏玉米	冬小麦一夏玉米
施磷量(P_2O_5. mg kg^{-1}) P_2O_5 rate	135	135	120	133.5
速效磷含量 P. mgkg^{-1} Content of avai. P				
初值 Initial	6.1	1.93	20	13
终值 End	15.7	3.54	15.7	16
平均产量(kg ha^{-1}) Avg. yield				
冬小麦(W.W.)	5938	5107	5260	4920
夏玉米(S.C.)	5593	7890	6000	6075
磷肥利用率(%) Apparent recovery of phosphorous	42.1	32.1～58.6	37.6～42.3	53

1)　据1994年全国肥料定位试验学术研讨会论文

From the papers of conference of long-term fertilizer experiments in China

2. 国外一些肥料轮作定位试验进一步证明，将土壤速效磷含量持续控制在临界水平范围内的施肥量是最佳施肥量，因而磷肥施用可以通过土壤测试监控。

Webb等(1992)在美国依阿华州高磷水平(P，18mg kg^{-1}，Bray-P_1法)壤质土所做的14年玉米—大豆轮作肥料定位试验表明，每年施磷肥(P_2O_5)52.5kg ha^{-1}可以长期将土壤速效磷(P)含量维持在16～20mg kg^{-1}，并能获得持续高产(玉米、大豆平均产量分别为185.5和39.7蒲式耳／英亩)和最大经济效益；当施P_2O_5 105kg ha^{-1}时，土壤速效磷含量虽然逐年提高，但产量不再增加，因此，土壤速效磷(P)为16～20mg kg^{-1}是确定合理施磷量的临界水平。研究还发现，对初始磷水平高于临界值的土壤，按上述最佳施P_2O_5 52.5kg ha^{-1}(连年施用)，在3～5年内，土壤速效磷虽逐年降低至临界水平，但产量并不减少，施肥效益有所提高[20]。这说明，将土壤速效磷维持在临界水平的施肥量适于不同肥力水平的土壤。

3. 多点肥料田间试验证明，恒量监控施肥法具有广泛的实用性。

1987～1989年，北京市各县不同肥力土壤有百余个冬小麦、夏玉米肥料多点试验证明(王兴

仁据有关参考资料统计),在双季施N240kg ha^{-1}条件下,每年施磷$P_2O_5$105kg ha^{-1},可普遍获得高产并维持或提高土壤速效磷水平。进一步提高施磷量无稳定的增产效应(表2)。

在"八五"期间,我们在河北省曲周县进行的冬小麦一夏玉米轮作多点肥料试验进一步证明,每年施用磷肥(P_2O_5) 135kgha^{-1},可以获得近于双季"吨粮"的高产[2]。

当然保持最佳施磷量稳定也是有条件、相对的。大量研究表明,这些条件主要是土壤质地和产量水平。砂壤土由于保肥能力较差,需适当增加施肥量[6]。磷肥施用量应随产量水平提高而适当增加,此点已为大量高产试验所证实[20]。

表 2 不同地点土壤的磷肥产量效应 (kg ha^{-1})

Table 2 Crop yields as affected by phosphorus fertilizer in the soils with different fertility levels

作物 Crop	处理[1] Treatment	土壤速效磷含量 (P, mg kg^{-1})				
		<5	5~10	10~15	15~20	>20
冬小麦	N_1P_2	5430	5535	5385	5430	5602
Winter wheat	N_1P_1	5070	5355	5115	5265	5503
夏玉米	N_1P_2	6091	6615	6825	7050	6645
Summer corn	N_1P_1	5982	6090	6696	6700	6465

1) N_1-施氮量 N, kg ha^{-1},小麦135,玉米105。 N rate,135 for wheat, 105 for corn
P_1-施磷量 P_2O_5, kg ha^{-1},小麦67.5,玉米37.5。P_2O_5 rate 67.5 for wheat, 37.5 for corn
P_2-2倍于P_1。The rate of P_2 is double the of P_1。

将上述国内外不同肥力土壤定位试验结果综合分析,可以得出如下结论:

1. 磷肥效应及合理施用量应主要由肥料长期定位试验确定。

2. 将土壤速效磷持续控制在临界水平的施肥量能获得持续高产,经济效益也比较高,因此是合理施磷量。

3. 磷肥合理施肥量可以在一个相当长的时期内及一定区域不同肥力水平的土壤上保持相对稳定。

三、几个问题的讨论

(一) 肥料长期定位试验及其点面关系

肥料长期定位试验对磷肥决策主要起定量和监控作用。在大面积应用时,应该和可以依据当地田间试验、土壤测试或调查结果对长期试验的推荐施肥量作必要的修正,例如,北京地区冬小麦一夏玉米轮作的恒量监控法,建议每年施磷肥(P_2O_5)135kg ha^{-1},将土壤速效磷(P)维持在5~10mgkg $^{-1}$的临界范围。如发现某地块土壤速效磷含量明显低于或高于此值,则在3~5年内,施P_2O_5量可以较恒量(135kg ha^{-1})适当增加或减少。

(二) 磷肥的茬口分配

大量的中长期肥料定位试验证明,在连续种植条件下,每年施用磷肥优于隔若干年一次施用[10]。其原因主要是每年施磷可保证每季作物在磷营养临界期土壤有足够的养分供应强度。同样,在轮作条件下,磷肥可以集中施于一种作物,也可以不同茬口作物分散施用,关键仍然是土壤供磷水平。昌平轮作肥料试验表明,小麦收获后,若土壤速效磷(P)含量为6~10mg kg^{-1}或

更高，则后作玉米产量水平较高；若速效磷(P)含量低于6mgkg^{-1}，则玉米产量低于常年水平[1,3]。上述作物茬口磷肥运筹的基本原则对"恒量监控"施肥法也是适用的。

（三）蔬菜及经济作物的磷肥决策

磷肥恒量监控施肥法，主要以谷类作物肥料定位试验为依据。关于蔬菜及经济作物的磷肥施用是否可用本法，由于缺乏这些作物的定位试验资料，尚待进一步取证。作者通过肥料定位试验发现在冬小麦一夏玉米一春玉米轮作条件下，每年施磷肥(P_2O_5)67.5kg ha^{-1}，可以获得作物持续高产，维持土壤速效磷(P)的初始水平(6mg ka^{-1})，并且土壤磷养分收支基本平衡[1]。因此建议，在没有足够的定位试验结论支撑的条件，按土壤养分平衡计算作物施磷量也是可行的。

四、结　语

1. 恒量监控法协调了作物高产，肥料高效和土壤培肥的对立统一关系，因而有利于农业持续发展。

2. 恒量监控法着眼于作物持续高产和土壤养分的持续供应能力，而不强调一地块或年度施肥量的精确计量，因而简化了农作，提高了生产效率，便于在生产实践中推广作用。

3. 在科学研究，特别是肥料田间试验中，由于施磷量基本恒定，可以将磷肥作为肥底，加强氮肥等试验因素的研究。减少了一个试验因素，可使试验效率和质量大为提高。

4. 恒量监控法具有科学性和简便可行性，对我国沿海，市郊等较发达地区和中、低产水平较落后地区都是适用的。我国各地定位试验数以百计，其中，条件较好的中长期肥料定位试验也多达几十个，加上近年来全国已取得的大量短期田间肥料试验成果和土壤普查资料以及初步建立的全国性技术推广和土壤测试网落，为磷肥监控法的应用提供了足够的技术和物质保证。因此，此法具有广阔和应用前景。

参 考 文 献

[1] 王兴仁，毛达如，陈伦寿等，1994：我国北方石灰性潮土养分变化趋势和施肥对策。北京土壤学会，土壤管理与施肥，中国农业科技出版社，27～38。

[2] 王兴仁，曹一平，毛达如，1995：作物施肥综合调控系统的建立和应用。北京农业大学学报，21(增)：1～6

[3] 王兴仁，曹一平，张福锁等，1994：持续农业作物营养调控理论和技术的定位研究。全国定位试验学术研讨会论文

[4] 王兴仁，曹一平，张福锁，1995：土壤氮磷钾养分资源特征和综合管理策略。北京农业大学学报，21(增)，89～93

[5] 王树安主编，1991：吨粮田技术，农业出版社。115～144

[6] 朱洪勋，孙春河，张翔，1994：黄潮土肥料长期定位研究，全国定位试验学术研讨会论文

[7] 沈善敏，1965：论我国磷肥生产与应用对策(一)、(二)。土壤通报，16(3)(4)

[8] 张福锁，王兴仁，王敬国，1965：提高作物养分资源利用效率的生物学途径，北京农业大学学报，21(增)：104～110

[9] 杨守春主编，1991：黄淮海平原主要作物优化施肥和土壤培肥技术，中国农业科技出版社，1～26

[10] 林葆，林继雄，李家康，1992：关于合理施用磷肥的几个问题，土壤，2：57～60

[11] 姚秉贵，姚丽竹，王萍等，1994：津郊潮土肥料长期定位研究，全国定位试验学术研讨会论文

[12] 钦绳武，朱兆良，顾益初，1994：潮土的肥力演变与施肥作用的长期定位研究。全国定位试验学术研讨会论文

[13] 鲁如坤，1989：我国土壤氮磷钾的基本状况，土壤学报，26(3)：280～284

[14] 蒙格尔(张宜春译)，1987：植物营养原理。农业出版社，400～422

[15] Bolland M. D. A. 1984: Residual value of superphosphore for oat and barley grown on a very sandy phosphorus leaching soil. Fertilizer research, 1(38): 171～181

[16] Bolland M. D. A. and R. J. Gikes, 1990: Rock phosphate are not effective fertilizers in Western Australian Soils. a review of one hundred years of research. Fertilizer research. 22: 79～95

[17] Cooke, G. W. 1982: Fertilizing for maximum yield. Third edition, London Toronto Sydney New York, p6～38
[18] Mallarino, A. P., J. R. Webb and A. M. Blackmer, 1991: Corn and soybean yields during 11 years of phosphorus and potassium fertilization on a high testing soil. Journal of production agriculture. 4(3) 312～317
[19] Steffen, G. 1982: The optmizing of fertilizer use in agriculture systems. International Potash Institute, the 12th IPI-Congress. p241～256
[20] Webb J. R., A. P. Mallarino, A. M. Blackmer, 1992: Effects of residual and annually applied phosphorus on soil test values and yield of corn and soybean. Journal of production agriulture. 5(1): 148～152

FEASIBILITY OF A FERTILIZATION METHOD FOR KEEPING CONSTANT APPLICATION RATE OF PHOSPHORUS BY MONITORING AVALIABLE PHOSPHORUS IN THE SOIL

Wang Xinren Cao Yiping Zhang Fusuo Chen Xinping
(Dept of Plant Nutrition, BAU, 100094)

Summary

The paper proposed a method on keeping constant application rate of phosphorus by monitoring available-P in the soil and demonstraited feasibility of the method. The key points are as follows:

1. A rational application rate was establised through long-term experiment to maintain the soil available-P within the critical level.

2. This application rate could maintain or increase soil avilable P, hence sustainable high yield and maximum effciency of the fertilizer were obtained.

3. Within a given application area under non-stressful soil conditions but with various soil fereility levels, this application rate could remain relatively stable for a considerably long period.

Key Words Phosphorus fertilizer, Keeping constant application rate of phosphorus by monitering soil available-P, Long-term experiment, Feasibility

欢迎订阅1996年《内蒙古农业科技》

《内蒙古农业科技》是内蒙古农业科学院和内蒙古农学会合办的综合性农业期刊。本刊立足内蒙，面向全国，突出自治区农业特色，主要报道农业科技成果、学术论文、研究报告、丰产经验、先进技术、现代农业科技知识和国内外科技新动态等。适合农业科技工作者、农业院校师生、农业管理人员、农村科技骨干阅读。本刊为双月刊，16开本40页，每期定价1.50元，全年9.0元。邮发代号16－70。请到当地邮局订阅。