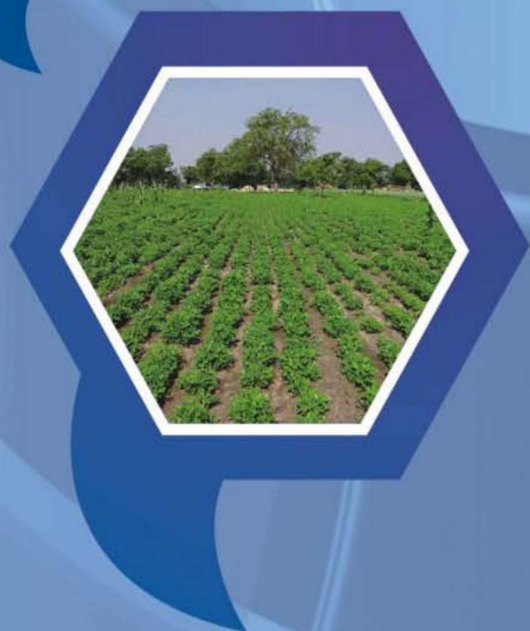


作物施肥 基本原理及应用

ZUOWU SHIFEI
JIBEN YUANLI JI YINGYONG

迟春明 柳维扬 著



西南交通大学出版社

作物施肥基本原理及应用

迟春明 柳维扬[◎] 著

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

作物施肥基本原理及应用 / 迟春明, 柳维扬著. —
成都: 西南交通大学出版社, 2018.2

ISBN 978-7-5643-5991-1

I. ①作... II. ①迟... ②柳... III. ①作物 - 施肥
IV. ①S147.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 321100 号

作物施肥基本原理及应用

迟春明 柳维扬 著

责任编辑	柳堰龙
助理编辑	黄冠宇
封面设计	何东琳设计工作室
	西南交通大学出版社
出版发行	(四川省成都市二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	四川煤田地质制图印刷厂
成品尺寸	170mm× 230 mm
印 张	6
字 数	86 千
版 次	2018 年 2 月第 1 版
印 次	2018 年 2 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-5991-1
定 价	36.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

粮食安全问题是我国社会发展面临的重要挑战之一。为了实现粮食高产，必须进行合理施肥。本书针对这一问题进行了深入探讨。全书共五章。第一章针对现阶段普遍使用的肥料利用率问题进行了分析，揭示了使用肥料利用率这一概念可能引发的错误，论证了其产生错误的原因，提出了养分有效率的概念，验证了其正确性。第二章从养分归还学说的本质出发，分析了作物施肥的目的即保持土壤肥力，阐明了作物养分吸收量、作物产量、土壤养分收支状况随施肥量增加的变化规律，即土壤养分吸收量和作物产量随施肥量的逐渐增加先升高后降低，当作物养分吸收量等于施肥量时，作物产量达到最高，土壤养分收支平衡，因此，从生态平衡即土壤养分收支平衡的角度而言，最佳的作物施肥量应该为最高产量对应的需肥量即最高产量施肥量。第三章进一步验证作物最佳经济产量等于最高产量，而最佳经济产量施肥量与最高产量施肥量相差很小，其二者对应的效益比是相同的，因此，最佳经济施肥量与最高产量施肥量是统一的，而最高产量施肥量与生态平衡施肥量是统一的，因此，高产、高效、生态平衡三位一体施肥量是正确的。第四章从限制因子律的角度进行分析，指出在矿物质营养能够有效供给的情况下，土壤养分状况已经不是限制作物高产的首要因素，土壤理化限制已经成为影响作物高产的关键因素，因此，合理地进行土壤培肥，改善土

壤物理和化学性质，解除影响作物高产的限制因素是提高作物产量的必然选择；第五章以氮肥为例，将本书论述分析的作物施肥基本原理应用于棉花生产实践，相关结果表明本书论述分析的作物施肥基本原理是正确的、在生产实践中是可行的。

本书是国家重点研发项目（2016FYC0501400）专题（2016FYC0501407-02）“盐碱地棉花提质增效产业模式研究”相关研究成果的总结，并受其资助出版。同时，本书出版还受到国家自然科学基金（31371582）的资助，作者在此表示感谢！

因作者水平有限，书中难免存在缺点和疏漏，恳请读者批评指正。

作 者

2017 年 10 月

目 录

第一章 养分归还学说应用的误区——肥料利用率问题.....	1
一、问题提出与分析.....	1
二、实例分析.....	4
三、讨 论.....	11
四、养分有效率的计算与应用.....	19
五、小 结.....	23
第二章 养分归还学说的本质分析与应用——土壤养分收支平衡.....	25
一、实例分析.....	25
二、理论分析.....	42
三、小 结.....	44
第三章 高产、高效、生态平衡三位一体施肥量的理论基础与应用.....	45
一、理论分析.....	45
二、实例分析.....	47
三、实例验证.....	55
四、讨 论.....	63
五、小 结.....	65
第四章 限制因子律的应用——培肥土壤.....	67
一、土壤培肥的判断指标.....	67
二、实例分析.....	71
三、小 结.....	77

第五章 作物施肥基本原理在棉花上的应用.....	78
一、试验方案.....	78
二、相关指标计算方法.....	79
三、结果与分析.....	79
三、讨论与结论.....	84
参考文献.....	86

第一章

养分归还学说应用的误区——肥料利用率问题

一、问题提出与分析

养分归还学说是德国化学家李比希 (J. V. Liebig) 在《化学在农业及生理学的应用》一书中提出的观点, 其核心内容是 (陆欣和谢英荷, 2011): 作物生长需要从土壤吸收矿物质养分, 作物收获必然从土壤带走矿物质营养, 长此以往必然导致土壤肥力下降, 使土壤变得贫瘠; 为了保持土壤肥力不降低, 需要通过施肥的方法归还作物生长从土壤带走的养分。

为了科学合理地归还作物带走的矿物质养分, 首先需要确定作物带走的养分数量, 然后确定施肥量。目前, 常用的施肥量计算公式为:

$$X = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\varepsilon} \quad 1-1$$

式中, X 为施肥量 (kg/hm^2), ω_1 为施肥区域作物养分吸收量 (kg/hm^2), ω_2 为土壤基础供肥量 (kg/hm^2), 即未施肥区域作物养分吸收量, ε 为肥料利用率, 即作物从肥料中吸收的养分数量占肥料中总养分数量的百分比。

在式 1-1 中, 养分吸收量可以通过作物产量与单位产量养分吸收量的乘积获得。而产量和单位产量养分吸收量可以通过试验获得, 并且, 现在许多作物的单位产量养分吸收量数据可以通过查阅文献资料获取。因此, 实践生产过程中, 确定肥料利用率是计算合理施肥量的关键影响因素。因此, 我国土壤肥料与植物营养相关研究中非常注重肥料利用率的研究。由于我国早期相关研究结果普遍认为国内的肥料利用率显著低于欧美发达国家, 而肥料利用率偏低可能会导致土壤养分流失, 即浪费资源又容易引起环境污染。因此, 提高肥料利用

率是我国作物施肥方面相关研究关注的重点目标之一。

然而，深入分析肥料利用率与施肥量间的关系会发现：提高肥料利用率的问题有待商榷。

肥料利用率计算公式为：

$$\varepsilon = \frac{\omega_1 - \omega_2}{X} \quad 1-2$$

其中， ω_1 计算公式为：

$$\omega_1 = kY_1 \quad 1-3$$

式中， ω_1 为施肥区域作物养分吸收量 (kg/hm^2)， k 为单位作物产量的养分吸收量 (kg/kg)， Y_1 为施肥区域作物产量 (kg/hm^2)。

作物产量与施肥量的关系如图 1-1 所示，二者间的关系曲线一般为一元二次方程：

$$Y_1 = aX^2 + bX + c \quad 1-4$$

式中， Y_1 为施肥区域作物产量 (kg/hm^2)， a 、 b 、 c 为经验常数，其中 a 为小于零的负数， b 为正数， c 等于土壤不施肥时的作物产量，称之为基础产量。

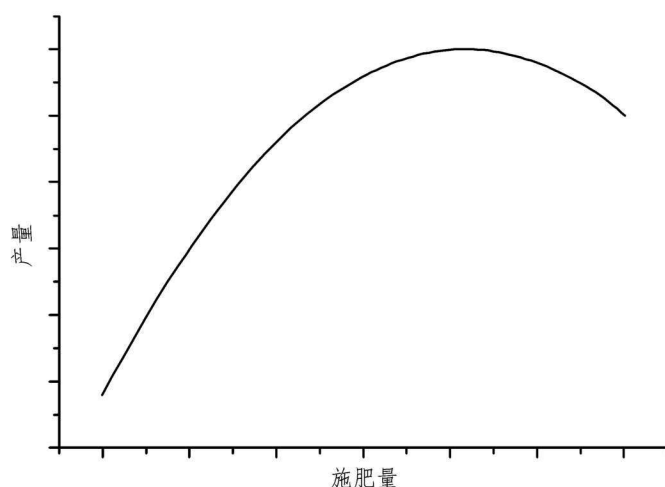


图 1-1 作物产量与施肥量关系

联合公式 1-3 和 1-4 得：

$$\omega_1 = k(aX^2 + bX + c) \quad 1-5$$

方程 1-2 中的 ω_2 的计算公式为：

$$\omega_2 = kY_B \quad 1-6$$

式中， Y_B 为基础产量 (kg/hm^2)，由于方程 1-4 中的参数 c 即基础产量，因此， $c = Y_B$ 。所以，土壤供肥量 ω_2 可表示为：

$$\omega_2 = k \times c \quad 1-7$$

联合方程 1-2、1-5 和 1-7 得

$$\varepsilon = \frac{k(aX^2 + bX + c) - k \times c}{X} \quad 1-8$$

即

$$\varepsilon = k(aX + b) \quad 1-9$$

式中， k 为正数， a 为负数， b 为正数，因此，肥料利用率 (ε) 随施肥量 (X) 的升高而降低，即 ε 为 X 的减函数 (如图 1-2 所示)。

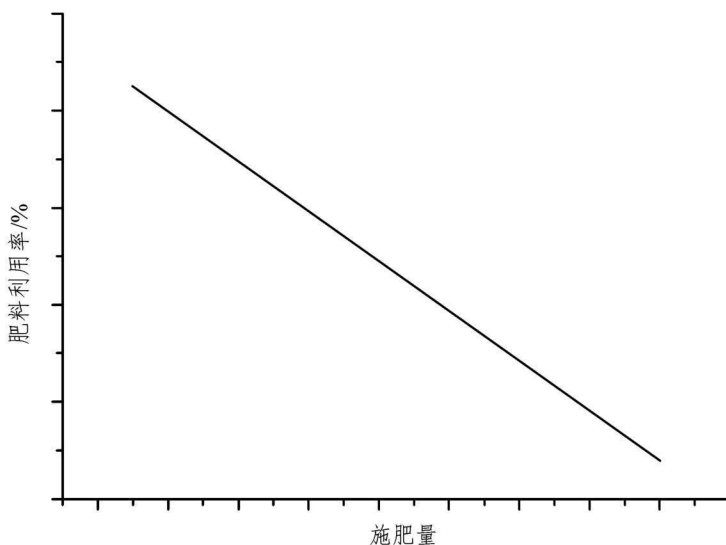


图 1-2 施肥量与肥料利用率关系

因此，在实践生产中肥料利用率随施肥量的增加而降低。即，提高肥

料利用效率最好的方法就是降低施肥量，但是，在未达到最高产量前，降低施肥量会导致产量下降，因此，按公式 1-2 的计算方法，实现高产与提高肥料利用效率间是相互矛盾的，而高产是农业生产永恒不变的主题，所以，提高肥料利用率的问题还有待商榷。

二、实例分析

为了详细验证肥料利用率与施肥量的关系，本文使用氮、磷、钾 3 种肥料在棉花、小麦、玉米和水稻 4 种作物上的肥料利用率数据，分析肥料利用率随施肥量增加的变化情况。之所以选择氮、磷、钾 3 种肥料，是因为三者是作物生长发育过程中需求量最大的 3 种矿物质营养元素，被称为肥料三要素。

1. 氮肥利用率与施肥量关系

棉花、小麦、玉米和水稻 4 种作物的氮肥利用率与施肥量的关系分别如图 1-3-1、图 1-3-2、图 1-3-3 和图 1-3-4 所示。

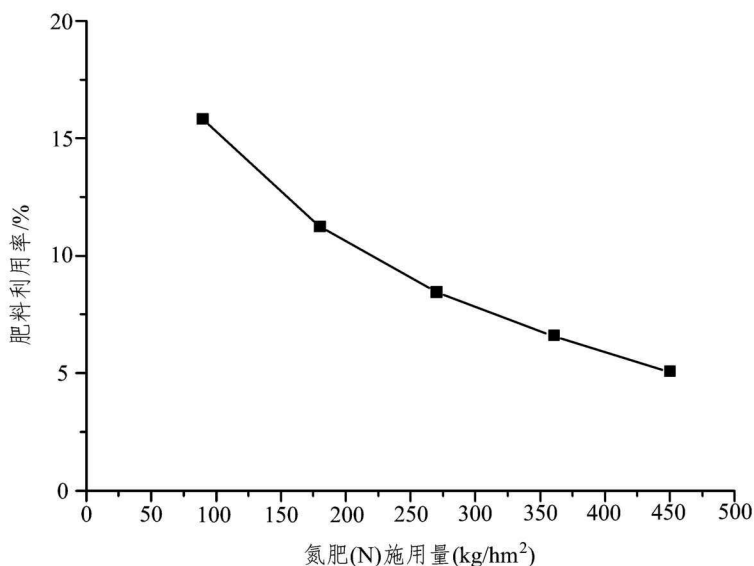


图 1-3-1 棉花氮肥利用率与施肥量关系

注：图中数据引自李鹏程等《施氮量对棉花功能叶片生理特性、氮素利用效率及产量的影响》，2015

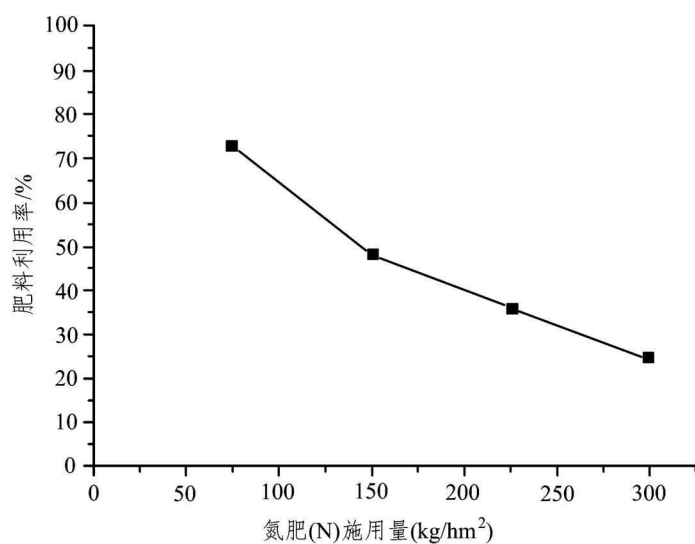


图 1-3-2 小麦氮肥利用率与施肥量关系

注：图中数据引自詹其厚等《氮肥对小麦产量和品质的影响及其肥效研究》，2003

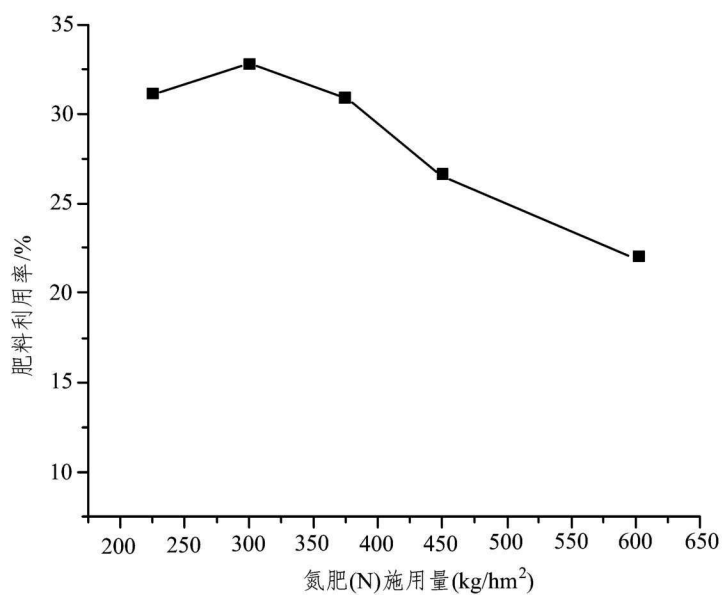


图 1-3-3 玉米氮肥利用率与施肥量关系

注：图中数据引自赵靛等《氮肥用量对玉米产量和养分吸收的影响》，2014

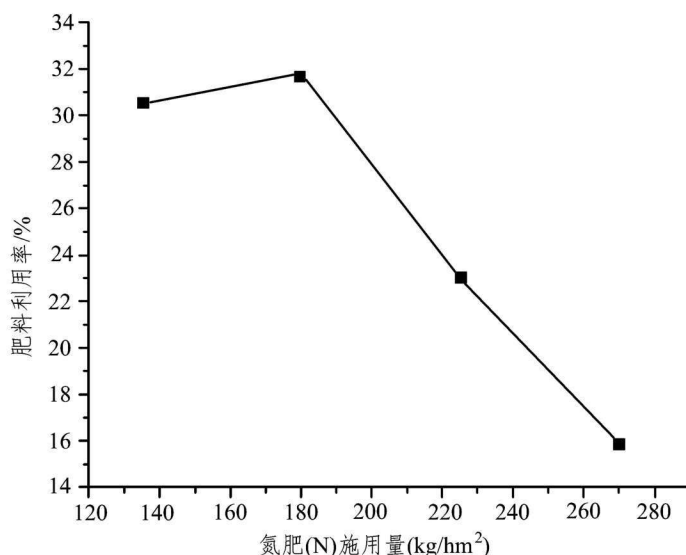


图 1-3-4 水稻氮肥利用率与施肥量关系

注：图中数据引自曾勇军等《施氮量对高产早稻氮素利用特征及产量形成的影响》，2008

由上述 4 图可知，总体而言，氮肥利用率随施肥量的增加而降低。其中，玉米和水稻的氮肥利用率是先略微升高然后降低的规律。即，就玉米而言在施肥量为 225 kg/hm² 和 300 kg/hm² 时氮肥利用率分别为 31.07% 和 32.81%，水稻在施肥量为 135 kg/hm² 和 180 kg/hm² 时氮肥利用率分别为 30.5% 和 31.8%。这应该是与试验测定的产量误差有关，即玉米和水稻在 300 kg/hm² 和 180 kg/hm² 时的产量略有偏低而导致氮肥利用率有所升高。

由图 1-3-1、图 1-3-2、图 1-3-3 和图 1-3-4 可知，小麦、棉花、玉米和水稻的氮肥利用率相差很大，总体变化区间在 5% ~ 73% 之间。导致不同作物肥料利用率产生巨大变化的原因是肥料利用率的计算公式存在错误，即公式中减掉了土壤供肥量。而实际上，施入土壤的肥料在当季没有被作物吸收的情况下会保留在土壤当中，起到了培肥土壤的效果，使土壤供肥量不断提升。因此，在土壤供肥量越高的情况下，肥料利用率越低。即按照方程 1-2 进行计算，土壤不施肥时基础肥力越低，肥料利用率越高，也就是说不需要进行土壤培肥。这显然是不正确的。

2. 磷肥利用率与施肥量关系

棉花、小麦、玉米和水稻 4 种作物的磷肥利用率与施肥量的关系分别如图 1-4-1、图 1-4-2、图 1-4-3 和图 1-4-4 所示。

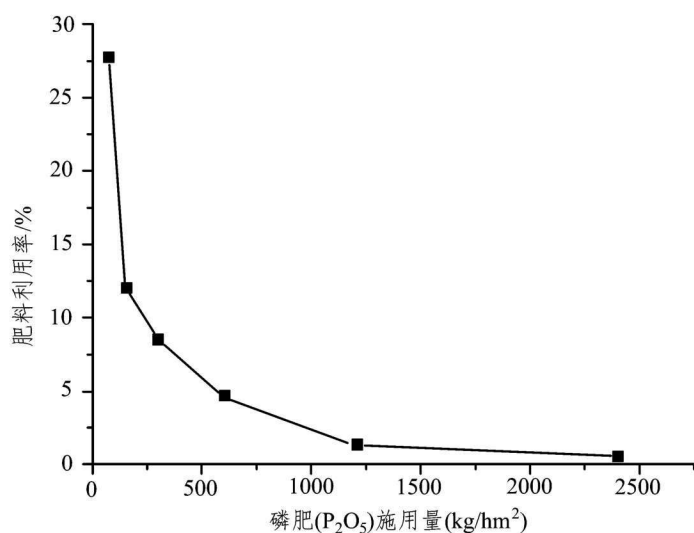


图 1-4-1 棉花磷肥利用率与施肥量关系

注：图中数据引自陈波浪等《磷肥种类和用量对土壤磷素有效性和棉花产量的影响》，2010

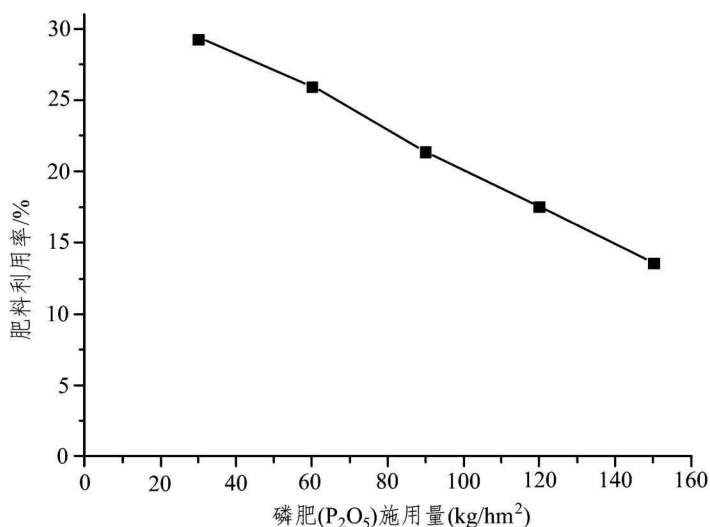


图 1-4-2 小麦磷肥利用率与施肥量关系

注：图中数据引自张麦生等《新乡市优质小麦施用磷肥对产量新乡市优质小麦施用磷肥对产量》，2004

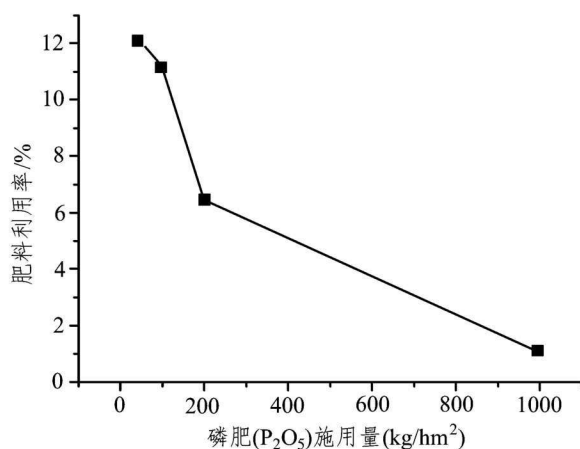


图 1-4-3 玉米磷肥利用率与施肥量关系

注：图中数据引自张立花等《施磷对玉米吸磷量、产量和土壤磷含量的影响及其相关性》，2013

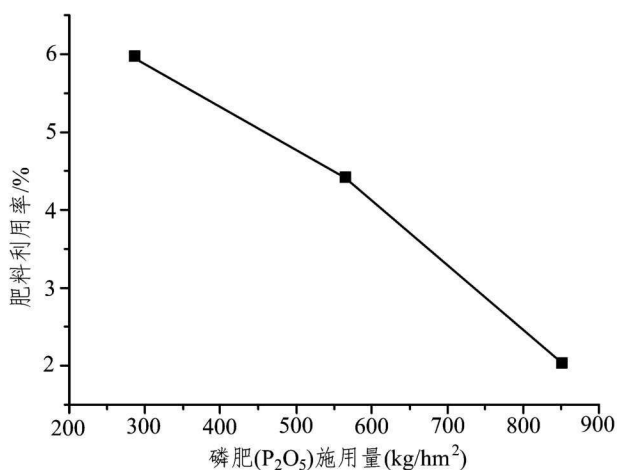


图 1-4-4 水稻磷肥利用率与施肥量关系

注：图中数据引自周磅和文芬《不同氮、磷、钾肥施用量对水稻产量的影响》，2012

由图 1-4 的 4 副图可知，棉花、小麦、玉米和水稻磷肥利用率随磷肥施用量的增加而逐渐降低。尤其是图 1-4-1 中，磷肥利用率最低值为 0.565 5%。其原因是此时的磷肥施用量过高，达到了 2 400 kg/hm^2 ，远远超出了棉花的实际需求量。同样，由图 1-4-3 和图 1-4-4 可知，这两个试验中的磷肥最高施用量分别达到了 1 000 kg/hm^2 和 850 kg/hm^2 。这反映出我国可能存在的磷

肥使用过量的问题。其原因可能是土壤对磷素的固定率较高，因此，在生产实践或试验中为了提高磷素吸收的绝对数量而加大磷肥的施用量。

磷肥用量的加大，导致的直接后果就是根据公式 1-2 计算的肥料利用率进一步降低，而肥料利用率进一步降低，进一步加剧人们认为磷肥的有效性低，不利于作物的吸收，因此，为了增加磷素吸收的绝对数量，有进一步增加磷肥的施用量。这样就陷入了一个恶性循环。

因此，根据公式 1-2 计算的肥料利用率无法正确指导生产实践。因为根据该公式的计算，无法给出确切的合理的肥料利用率数值。目前，有关研究普遍认为我国的肥料利用率低于欧美发达国家，但究竟肥料利用率要提高到多少才是合理的，却无法给出科学的合理的解释。无法确定合理的肥料利用率目标，根据公式 1-2 就无法确定合理的施肥目标。因此，肥料利用率对合理施肥造成了混乱。

3. 钾肥试验

棉花、小麦、玉米和水稻 4 种作物的钾肥利用率与施肥量的关系分别如图 1-5-1、图 1-5-2、图 1-5-3 和图 1-5-4 所示。

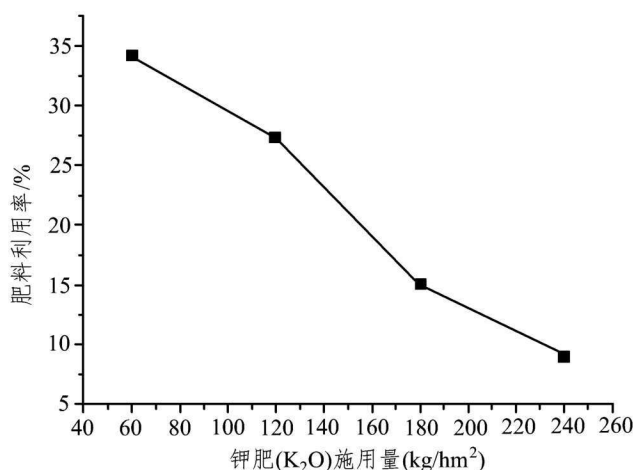


图 1-5-1 棉花钾肥利用率与施肥量关系

注：图中数据引自付小勤等《钾肥施用量和施用方式对棉花生长及产量和品质的影响》，2013

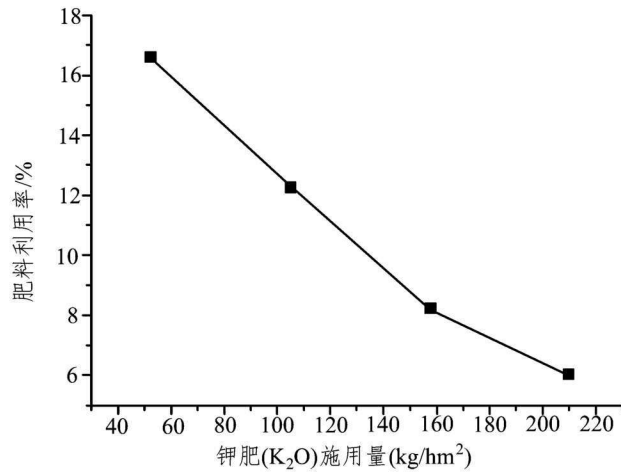


图 1-5-2 小麦钾肥利用率与施肥量关系

注：图中数据引自董合林等《钾肥用量对麦棉两熟制作物产量和钾肥利用率的影响》，2015

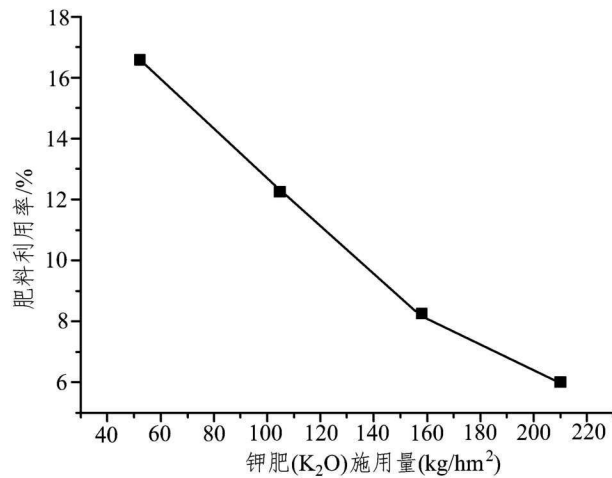


图 1-5-3 玉米钾肥利用率与施肥量关系

注：图中数据引自何景友等《兴城地区土壤钾素状况及施钾肥对玉米的影响》，2003