

植物钾营养的理论与实践

胡笃敬
董任瑞

葛旦之/著



湖南科学技术出版社

植物钾营养的理论与实践

胡笃敬
董任瑞 编著
葛旦之

湖南科学技术出版社

湘新登字004号

植物钾营养的理论实践

胡笃敬 董任瑞 葛旦之编著

责任编辑：黄翠云

*

湖南科学技术出版社出版发行

(长沙市展览馆路3号)

湖南农科院印刷厂印刷

(印装质量问题请直接与本厂联系)

*

1993年10月第1版第1次印刷

·开本：787×1092毫米 1/32 印张：9.5 字数：220,000

印数：1—1,000

ISBN 7-5357-1418-8

5 · 215 定价：6.50元

序 言

我们编写的《植物钾营养的理论及实践》一书，程度介于大学教材和专著之间。因为农林院校和生物系的师生、研究生、自学成才的科技人员，普遍反映缺乏有关植物营养的理论及实践应用的读物；而且，现代科技知识发展很快，这些专业人员深感学习资料难得，特别是有关国内外科技进展和动态的资料更是少见。为此，我们就收集到的植物钾营养的资料并结合自己的一些科研成果，编写了这本读物，以供学习参考。

为了传播植物营养的科学知识，本书所涉及的内容比钾营养问题稍多一些，其中包括与钾营养密切相关的，和代表植物营养发展方向的近代资料。是否妥当，还希读者多提意见。另外，植物解剖学、植物生理学、土壤学及农业化学都有较大发展，我们在大学教材的基础上，择其与钾营养有关的内容，也作了适当的介绍。

本书共分七章，第一、四、六章由胡笃敬执笔，第三、五章由董任瑞执笔，第二、七章由葛旦之执笔。由于本书篇幅有限，资料难以齐全，疏漏、失误之处难免，诚恳希望读者及时提出批评指正。

编者

1993年于湖南农学院

目 录

序 言

第一章 植物钾营养概说	(1)
第一节 植物的矿质营养(含钾)介质.....	(1)
第二节 钾素的循环.....	(6)
第三节 钾肥对世界农业的重大意义.....	(10)
第二章 土壤钾的生物有效性	(21)
第一节 土壤中的含钾矿物.....	(21)
第二节 土壤中钾的形态和转化.....	(28)
第三节 土壤钾的固定、释放和移动.....	(33)
第四节 土壤钾的生物有效性的评价.....	(43)
第五节 土壤钾的生物有效性与其他营养元素间的 关系.....	(51)
第三章 钾在植物生活中的作用	(58)
第一节 植物体内钾的数量和分布.....	(58)
第二节 钾是多种酶的激活剂.....	(61)
第三节 钾与植物的蛋白质.....	(70)
第四节 钾与植物的水分关系.....	(81)
第五节 钾与气孔开闭.....	(83)
第六节 钾与光合作用.....	(96)
第四章 植物对钾的吸收、运转及其对产量形成的 影响	(110)
第一节 植物对钾离子的主动吸收.....	(110)

第二节	钾离子向上运转·····	(137)
第三节	钾向下运转及其对韧皮部物质运转的影响·····	(152)
第四节	钾营养和作物产量·····	(167)
第五章	植物钾营养失调时的反应 ·····	(185)
第一节	植物钾营养失调时的症状·····	(185)
第二节	植物钾营养状况的诊断·····	(195)
第三节	植物钾素营养与病害·····	(196)
第四节	植物钾营养失调时的次生代谢·····	(206)
第六章	高钾植物和生物钾肥 ·····	(228)
第一节	植物矿质营养生态型·····	(228)
第二节	高钾植物及其利用——生物钾肥·····	(242)
第七章	作物生产中钾肥的使用 ·····	(252)
第一节	钾肥有效使用概述·····	(254)
第二节	作物生产的钾肥应用实例·····	(260)
参考文献·····		(285)

第一章 植物钾营养概说

第一节 植物的矿质营养(含钾)介质

钾属于生命的必要元素,是植物、动物和微生物所不可缺少的(表1—1,1—2,1—3)。以植物为例,从植物体鲜重除去水分,只留下10—20%的干物质。干物质中90%为碳、氢和氧,剩余的则是构成植物体的其他元素,约占干重的15%,或仅为植物鲜重的1.5%。这些元素便是植物体的矿物质成分,包括磷、硫、钾、钙、镁、硅等,还有一些从环境中,主要是从土壤中得来的其他元素。

一、植物生活必要的元素

现在已肯定,所有植物都需要16种元素。它们是:碳、氢、氧、氮、硫、磷、钾、钙、镁、铁、锰、锌、硼、铜、钼。其中碳、氢、氧元素来自空气和水,除一部分氮来自空气外,其余都属于矿质元素。农作物生活中对各种元素的要求以氮、磷、钾最多,历来称为三大要素。

二、植物生命必要元素的源泉

植物从什么地方获得矿质营养元素呢?当然都来源于植物周围的营养基质或介质,也是植物环境的一部分。它与植物体或部分器官紧密接触,可以互相交换。植物在地球上的居地环境多种多样,但一般都能生长良好。如水生植物有海洋植物和淡水植物,有的生长在江河入海口、海岸和海岛边缘。各种植物面对着各种化学环境,有的是含盐高达

表 1 — 1 一些有机体和物质的元素组成 (Epstein, 1972)

元素	千 重 百 分 率				
	玉米	人类	碳水化合物	脂肪	蛋白质
O	44.43	14.62	51.42	11.33	24
C	43.57	55.99	42.10	76.54	52
H	6.24	7.46	6.48	12.13	7
N	1.46	9.33			16
Si	1.17	0.005			
K	0.92	1.09			
Ca	0.23	4.67			
P	0.20	3.11			
Mg	0.18	0.16			
S	0.17	0.78			
Cl	0.14	0.47			
Al	0.11	—			
Fe	0.08	0.012			
Mn	0.04	—			
Na	—	0.47			
Zn	—	0.010			
Rb	—	0.005			

碳水化合物以蔗糖计算, 脂肪以油酸计算。

3.5%的海水或含盐分更高的盐碱地, 有的是比较纯净的高山积雪融化水, 代表着两个极端的环境, 陆地和水中的成分都是互不相同的(表1—4)。又如陆生植物, 它们的矿质营养介质主要是土壤, 土壤由地球外壳的岩石演变而成,

岩石的成分不同（表1—5），土壤的性质就很不一样，而且各地土壤随成土母质、气候、地形、年龄和生物因子，而导致化学、物理和生物学性质的重大差异。众多的植物种类分布在地表各处，乃至裸露的岩石外表和含水很少的荒漠。多数则生长在含水和养料充足的深厚冲积土和有机腐殖土上。一般地说，只要有适量的水分和阳光，地球的每一个角落都会有繁茂的植物生长。

除水和土壤外，空气也是植物的重要营养介质。陆生植物直接从空气吸收 CO_2 进行光合作用，摄取 O_2 进行呼吸作用，

表1—2 钾等矿质元素对植物的必要性¹ (Epstein, 1972)

元 素	高等植物	藻 类	真 菌	细 菌
N, P, S, K, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu	+	+	+	+
Ca	+	+	±	±
B	+	±	—	—
Cl	+	+	—	±
Na	±	±	—	±
Mo	+	+	+	±
Se	±	—	—	—
Si	±	±	—	—
Co	— ²	±	—	±
I	—	±	—	—
V	—	±	—	—

1. + 对该群植物是必要的；— 对该群植物是非必要的；± 对该群植物中的一些种必要的，但对其他种又非必要。2. 为瘤根菌固氮所必要。

这是众所周知的。空气中低浓度的二氧化硫也可以供植物利用，空气还携带盐分，部分沉落在植物的表面，以直接供应植物各种营养元素，其中包括钾。还可由雨水带入土，完成了一些元素的循环过程。

表1—3 植物体内含量充足时的营养元素浓度 (Epstein, 1965)

元 素 名 称		干物质中的浓度		与钼相应的原子数
		微摩尔/克	ppm或%	
			ppm	
钼	Mo	0.001	0.1	1
铜	Cu	0.10	6	100
锌	Zn	0.30	20	300
锰	Mn	1.0	50	1000
铁	Fe	2.0	100	2000
硼	B	2.0	20	2000
氯	Cl	3.0	100	3000
			%	
硫	S	30	0.1	30000
磷	P	60	0.2	60000
镁	Mg	80	0.2	80000
钙	Ca	125	0.5	125000
钾	K	250	1.0	250000
氮	N	1000	1.5	1000000
氧	O	30000	45	30000000
碳	C	400000	45	40000000
氢	H	60000	6	60000000

表 1—4 海水和江河湖水成分

离 子	浓 度毫摩尔/升	
	海 水(1)	江 湖 水(2) (北 美)
Na ⁺	457	0.39
K ⁺	9.7	0.36
Ca ²⁺	10	0.5°
Mg ²⁺	56	0.21
Cl ⁻	536	0.23
SO ₄ ²⁻	28	0.21
HCO ₃ ⁻	2.3	0.1

(1) Goldberg, 1963

(2) Wetzel, 1966

表 1—5 地球外壳的常见化学元素 (Mason, 1958)

元 素	重量的(%)	元 素	重量的(%)
O	46.60	Ca	3.63
Si	27.72	Na	2.83
Al	8.13	K	2.59
Fe	5.00	Mg	2.09
		总计	98.59

按地壳深度10英里计算。1英里=1.609公里

表 1—6

农作物钾的含量情况(Kofoed, 1975)

作物	总收获量(百万公斤)	
	产 量	钾
农作物籽粒	6787	30.8
农作物茎秆	8953	83.3
马铃薯	857	4.2
糖甜菜块根	2340	4.1
饲用甜菜块根	14253	31.5
甜菜地上部	6124	16.8
牧草(干物质)	4830	115.9
总 计		287

第二节 钾素的循环

一、生态圈

钾和其他植物营养元素是全部参加生物(生物圈)和非生物环境之间的元素和物质交流的。两个整体合称生态圈。植物的营养物质,特别是进入生物的最初元素和简单无机化合物,是塑造更多生活物质的原材料。生态圈中的无生命介质,包括地球的岩石和矿物(岩石圈)、氮、氧和其它气体(大气圈)和水层。已知地球表面71%为海洋和江河湖泊所覆盖着,水以水蒸气进入大气,然后凝结成雨雪等,重返大地和水体。

生态圈的生物圈和非生物之间的交流不只一种途径,如果是这样的话,生命在很早便将完结,因为地球供应植物的必要元素或物质是有限的,一旦这些物质不能从生物圈回归

至生态圈，而封闭在生物体内，则供应将逐步减少，终于有中断之日。假设空气中的 CO_2 可由绿色植物的光合作用所固定，数十年便可全部被消耗完毕。幸运的是每年有大约相同量的 CO_2 重返大气，是通过动、植物和微生物的呼吸作用和木材、煤炭、石油和一些有机物燃烧而实现的。其它元素也各有其特别的途径，经历这一生物、地球化学循环，从而达到生态平衡。

二、钾循环

首先，应该知道农作物躯体和农产品中的总钾含量，据丹麦1968年农业统计和农作物分析资料表明(表1—6)，

表 1—7 动物产品中的钾含量情况(Kofoed, 1975)

产 品	生产量 (百万公斤)	
	产 品	钾
乳	4380	7.90
黄油	160	0.02
干酪	102	0.11
蛋	86	0.09
肉	1712	4.06
总计		11

收获物的钾主要是存在于禾草和其它作物茎秆中。此外，对动物产品分析表明，它们的含钾量都不高(表1—7)。

根据农作物产品中钾的含量，计算出植物收获物中钾的总量，减去贮藏中损失的、用作饲料和肥料及淋失的量之后，便可追溯出钾在农业生产中的一般经历，并可查清钾在营养物的经历中的哪个环节上被损失掉了。

他们发表了一个钾循环的标准材料，不过所有数据仅代表近似值，因为这些数据都很难计算得准确。但据此计算并绘制的图1—1，能示明自然界的钾循环概貌。

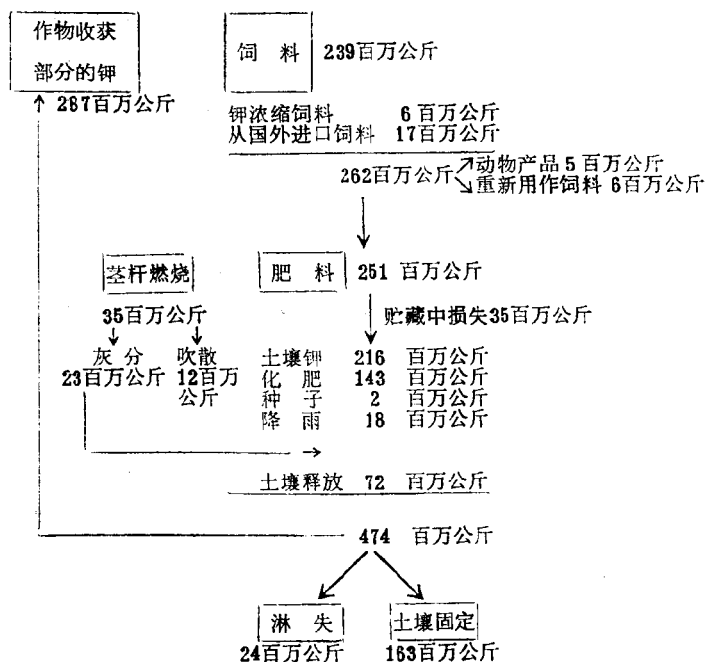


图1—1 自然界中钾循环示意图

(依Kofod(1975)资料改制)

注：图内数字都是多少公斤钾

残留地上的茎秆被燃烧掉，内含钾35百万公斤。此外，有较少量植物产品是被损耗和出口、各种和换种、以及被损耗掉。

饲料含钾总量为262百万公斤，其中5百万公斤进入动

物产品(用于出口和消费),有6百万公斤又重新作为饲料。平衡后有251百万公斤进入液体和固体肥料。

关于燃烧的作物茎秆含钾35百万公斤中,有23百万公斤含在灰分中,其余12百万公斤随烟飞散,其中一部分可能作为空气供应的养料,回归土内。

肥料贮藏中估计要损失35百万公斤,施入土壤的约216百万公斤。除此以外,进入循环的钾还有化肥143百万公斤,种子含钾2百万公斤,茎秆灰的钾23百万公斤,降雨18百万公斤和土壤矿物释放钾72百万公斤,共计474百万公斤参于循环。

从图1—1钾的经历看,钾从营养循环中损失掉并可能影响的环境的有:1)从植物淋失;2)燃烧茎秆后损失;3)粪便贮藏中损失;4)往田地施加肥料后的流失。

总起来说,钾从作物收获被用作饲料以后,以肥料形式进行贮藏,有一部分会损失掉。肥料施入土壤,加上化肥,燃烧后的植物灰分,种子中的钾,降雨和土壤释放的钾,再除去被土壤固定和淋失的部分,结果又有一大部分钾进入植物收获物,从而实现了钾在自然界中的有效循环。其中值得注意的是施入土壤的化肥量(143百万公斤钾),约占作物收获部分含量的一半。所以,使用有机肥,还加上土壤的和其他钾收入的种子,降雨和土壤释放的减去被土壤固定和淋失部分以外,能供应植物的也只占植物含钾量的另一半,即与化肥供应的钾各约占植物组织含钾的50%。当然这只是一作物(玉米)之例,也仅是在丹麦土地上进行的,而且所有数字也不能做到十分准确,但是对于钾的循环途径和可能的损失情况是很清楚的,可资借鉴。此外,还告诉我们仅仅供应有机肥是不能满足植

物对钾的要求,还必须供应化学钾肥,事实证明也确是如此。

第三节 钾肥对世界农业的重大意义

一、国内情况

新中国成立以来,我国化肥工业有了较大的发展,田土施用的氮肥增加了,50年代和60年代,农作物产量就有相应的提高。以稻谷为例(人民日报1980),很多地区0.5公斤标准氮肥(含氮20%)可增产稻谷2—2.5公斤。可是近年不少地区0.5公斤氮肥仅增产稻谷0.5公斤左右,有时还更低。造成氮肥肥效不高的主要原因之一是氮肥多了,磷、钾肥供应太少。根据我国农业生产发展和养分供应情况,氮、磷、钾比例至少应以1:0.5—0.6:0.02为宜,而前些年比例一般为1:0.2:0.002。其中磷、钾供应不足,以钾更为突出。

我国土壤每亩含氧化钾12—15公斤的,施用钾肥都有良好的增产效果(中国科学院土壤研究所,1978)。一般不出现缺钾的土壤,随着作物复种指数增多,同时因农作物产量提高,从土壤带走的钾素也多了。如太湖地区亩产水稻700公斤,三麦200公斤,收获物共取走氧化钾约16.5公斤(中国科学院土壤研究所1977,)由于从土壤取走的钾不断增多,仅靠有限的农家肥和土壤本身提供的钾素已不能满足农作物的需要,因此过去不缺钾的土壤现在也常出现钾营养不足的。据1973年资料,近年广东、浙江、湖南、广西、福建和上海进行的1400多个钾肥试验,大多数都肥效显著,增产增收。一般地说,在施有机肥及氮、磷化肥充足的基础上,每亩施 K_2SO_4 5—10公斤,或KCL 4—8公斤,约增产10%至40%以上。近

年山东、河北、甘肃、青海和新疆等地都有田土施钾很有济的报道。由此可见，在我国许多地区的农业生产中，对钾肥的需要是相当明显的。

钾能改进农作物产品质量，也引起了广泛重视，并有过不少报道。如钾素可增加糖甜菜和甘蔗的糖含量，改进棉花和麻类的纤维品质，增加烟叶的芳香和可燃性，增加向日葵种子和大豆子实的含油量，提高饲用禾草类的可食性和改进果蔬外貌，还能提高马铃薯的产量和淀粉含量。

我国钾矿资源缺乏，主要依靠进口，据统计，1983年我国销售钾肥632368吨，按当年全国耕地8116.5万亩计，平均亩施 K_2O 7.79公斤。

二、国外情况

世界上有些国家的钾肥资源充足，如原苏联、美国、德国、英国、比利时、意大利和加拿大都是世界钾肥输出国；另一些国家则要进口钾肥，如日本的各种栽培作物普遍施用钾肥（农牧渔业部科技司1985），而且从日本福岗、长崎县水稻施肥基准看，几乎所有土壤施用的氮肥与钾肥之量相等，即 $K_2O : N = 1 : 1$ ，亩施 K_2O 5—8公斤，饲料作物亩施 K_2O 7—23公斤。日本使用的钾肥品种为氯化钾与硫酸钾。至于发展中国家对钾肥的需求是更为迫切的。据说未来世纪是亚、非、拉崛起的时代，亚、非、拉各国基本属于农业国，要求提高农业生产，改善本地人民生活和对世界人类作出贡献，必须增加植物营养，尤其是钾肥。现在分别介绍于后。

1. 亚洲

亚洲的人口压力极为巨大，目前除日本外，都是以农业经济为主，人们十分注意人口与粮食增长的比例，人口增长快