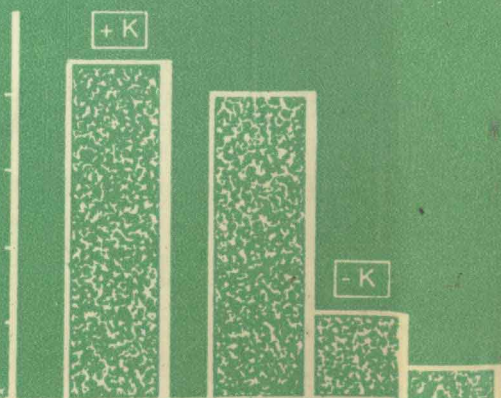


钾肥使用的理论 与实践

全国农业技术推广总站编



中国农业科技出版社

钾肥使用的理论与实践

农业部全国农业技术推广总站 主编

中国农业科技出版社

1995 北京

(京)新登字061号

图书在版编目(CIP)数据

钾肥使用的理论与实践/农业部全国农业技术推广总站
主编.-北京:中国农业科技出版社,1995.8
ISBN 7-80026-992-2

I.钾… II.农… III.钾肥-使用 IV.S143.3

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第14265号

终 审

出版发行

郝心仁

中国农业科技出版社

(北京海淀区白石桥路30号)

经 销

印 刷

开 本

印 数

版 次

定 价

新华书店北京发行所发行

北京北方印刷厂印刷

787×1092毫米 1/32 印张:6.5

1—3000册 字数:220千字

1995年8月第一版 1995年8月第一次印刷

13.50元

本书编委成员

顾问：田明军

主编：陈应志

编委：谢建昌、胡思农、陈应志、
Meir Bazelet（以色列）

翻译：梁东丽、徐富利

前 言

钾是植物生长必需的三大营养元素之一，缺钾会导致作物减产、产品品质下降。根据第二次全国土壤普查的结果表明，目前我国土壤缺钾总面积达3.4亿亩，占耕地面积的22.7%。近年来，随着我国农业生产水平不断提高，我国缺钾面积和钾肥有效地区还在不断扩大，科学地使用钾肥已成为我国实现“三高”农业的重要技术措施之一。我国钾肥资源缺乏，每年都要花费大量外汇进口钾肥，用于农业生产。因此，正确指导、合理使用钾肥具有重要的科学意义与经济意义。

为了普及推广科学施肥，农业部于1993年与以色列死海钾肥公司、U.D.I公司合作，在西安举办了一期钾肥应用技术培训班。培训班上，邀请了国内外具有丰富实践经验和理论知识的钾肥专家授课，其中，中国科学院南京土壤研究所的谢建昌教授，向学员们系统地讲授了钾素的营养作用、土壤中钾的形态和转化，以及我国主要土壤的供钾能力和需钾前景；四川农科院土壤肥料研究所的胡思农教授，系统地讲授了各种钾肥的特性及使用方法、钾肥合理施用的原则及主要作物的施钾技术；Meir Bazelet先生（以色列）系统讲授了如何科学地进行化肥试验。这次培训，得到了广大学员的普遍好评和欢迎，大家一致认为，所讲内容都是他们多年从事钾肥研究工作的经验总结。培训班结束后，我们根据他们讲授的内容，整理汇编成这本《钾肥使用的理论与实践》，以期在更广泛的范围内普及推广科学施钾。本书在编写过程中得到了农业部国际合作司刘丛梦副司长、王坚处长、胡延安副处长，以及U.D.I公司的徐未名小姐、王刚先生的大力支持

和帮助，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中错误在所难免，望广大读者批评指正。

编 者

1995年8月5日

目 录

第一章 植物的钾素营养.....	(1)
第一节 植物对钾的需求.....	(1)
第二节 钾的主要生理功能.....	(5)
第三节 钾与作物产品品质.....	(14)
第四节 作物缺钾症状及其诊断.....	(21)
第五节 钾与其它养分的关系.....	(23)
第二章 土壤中的钾.....	(37)
第一节 土壤钾素形态.....	(37)
第二节 土壤钾素转化.....	(48)
第三节 土壤钾素的迁移及供钾缓冲性能.....	(53)
第三章 我国土壤钾素肥力状况与钾肥应用的发展趋势	(59)
第一节 主要土壤的供钾能力.....	(59)
第二节 钾肥应用的发展趋势.....	(65)
第三节 大力推进平衡施肥.....	(71)
第四章 化学钾肥的主要种类.....	(74)
第一节 氯化钾.....	(74)
第二节 硫酸钾.....	(79)
第三节 硝酸钾、磷酸二氢钾和硫酸钾镁肥.....	(81)
第四节 含钾岩石及工、矿业含钾副产品.....	(82)
第五节 腐殖酸钾和微生物钾肥.....	(85)
第五章 有机肥钾源.....	(86)
第一节 有机肥是我国农业生产的主要钾源.....	(86)
第二节 有机肥钾源的开辟和利用.....	(90)
第三节 绿肥与富钾植物的开发利用.....	(93)

第四节	粪便及城市有机废弃物的利用·····	(99)
第六章	钾肥合理施用的原则·····	(101)
第一节	根据土壤钾素含量施用钾肥·····	(101)
第二节	钾肥与大、中、微量元素配合施用·····	(105)
第三节	根据作物吸钾特性施用钾肥·····	(111)
第四节	轮作制中钾肥的合理分配·····	(117)
第七章	粮食作物施钾效应及钾肥施用技术·····	(121)
第一节	水稻·····	(121)
第二节	小麦·····	(128)
第三节	玉米·····	(133)
第四节	甘薯·····	(140)
第五节	大豆·····	(143)
第八章	经济作物施钾效应及钾肥施用技术·····	(147)
第一节	棉花·····	(147)
第二节	油菜·····	(151)
第三节	甘蔗·····	(154)
第四节	柑桔·····	(160)
第五节	茶·····	(163)
第六节	烟草·····	(168)
第七节	西瓜·····	(173)
第八节	蔬菜·····	(175)
第九章	肥料的田间试验方法·····	(181)
第一节	田间试验的种类·····	(181)
第二节	田间试验方法·····	(182)

第一章 植物的钾素营养

第一节 植物对钾的需求

钾是植物生长必需的三大营养元素之一，它在植物体内的含量较高，一般为干物质重的1%~5%，占植物体灰分重量的50%。农作物含钾与含氮量相近而比含磷量高，在许多高产作物中，含钾量超过含氮量。

生活在海水中的海藻，其细胞积累的钾约高于海水含钾量的10~100倍。植物根部积累的钾很多，以致根液中钾的浓度可比根周围土壤溶液中的大100倍。大部分钾主要是在植物的营养阶段吸收的。一般大田作物钾浓度趋于平衡时约为 $1 \sim 3 \text{eK}^+/\text{升}$ （微克当量）。

钾在韧皮部汁液中的含量很高，约占阳离子总量的80%，因此凡是优先地供应了韧皮部汁液的器官便含钾多。钾在韧皮部汁液中的功能，还不完全清楚。

1. 钾素吸收特点

在所有阳离子中，钾是透过生物膜最快的，亦即为植物吸收的速率很高，这个高速率决定于一个主动吸收过程。在重要的矿质养分中，钾是唯一能逆电化学梯度而进入植物细胞的。早已证明，钾通过细胞膜的运转是与能量有关的。钾的吸收过程依赖于代谢能，由呼吸作用，或光合作用所产生的ATP，是与钾横过生物膜的运移密切相联系的。钾与其它阳离子强烈竞争，吸钾多了，其它阳离子就吸收得少。

虽然植物体内含钾多，但钾和氮、磷不同，不是细胞内任何分子的稳定结构部分，有“有机氮”、“有机磷”，却没有“有机钾”这个名词，因而在实践中会看到下述四个现象。

(1) 由于钾没有被结合成有机成分，因此容易流动，从这一部分流到那一部分，因此缺钾时首先出现于下部的老叶片上。

(2) 作物成熟阶段取的植物样品，往往不能反映钾的吸收情况，因为吸收的钾可能已有大量损失。在开花期至成熟期之间钾有明显的损失，这是由于：

- a. 叶片脱落
- b. 钾从老叶中淋失
- c. 钾从老根中渗出

英国有试验表明，小麦到成熟时吸收的钾损失了一半。加拿大的试验结果认为，小麦生长中期需钾高峰时所取走的钾比成熟时测得的多40%~50%（图1-1），因此根据成熟期取样计算出的钾的需要量，往往结果偏低。

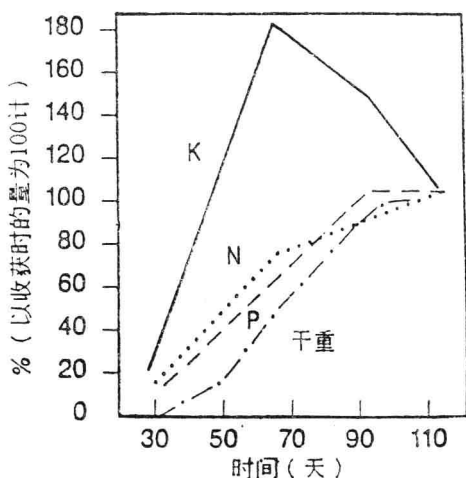


图1-1 田间条件下，小麦养分含量和干重随时间的变化

(3) 植株从田间取样后，在洗去污泥时，植物体内的钾素难免没有损失。

(4) 仅测定植物含钾量时，不必三酸消化，只需将植株剪

碎，用稀盐酸浸泡，数小时绝大部分钾就被提出来了。

2. 不同作物的需钾量

各种植物的吸钾量差异很大。表 1-1 列举了一些作物利用

表1-1 一些作物利用养分的近似值

作物	产量 (吨/公顷)	移走的养分 (公斤/公顷)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S
禾谷类						
大麦	5	150	55	150	25	20
玉米	6	120	50	120	40	25
燕麦	4	130	45	160	15	20
水稻	6	100	50	160	20	10
高粱	4	120	40	100	30	15
小麦	6	170	75	175	30	30
块茎和根用作物						
木薯	40	150	70	350	40	20
马铃薯	40	175	80	310	40	20
甜菜	45	200	90	300	90	35
甘薯	40	190	75	340	65	—
蔬菜						
菜豆 (青)	15	130	40	160	30	—
甘蓝	70	370	85	480	60	80
胡萝卜	30	125	55	200	30	—
花椰菜	50	250	100	350	30	—
芹菜	30	200	80	300	25	—
黄瓜	40	70	50	120	60	—
洋葱和大蒜	35	120	50	160	15	20
菠菜	25	120	45	200	35	—
西红柿	50	140	65	190	25	30
豆类作物 (干籽粒)						
菜豆	2.4	155	50	120	20	25
豌豆	2.0	125	35	80	15	—
木豆	1.5	70	10	55	10	5
水果						
苹果	25	100	45	180	40	—
香蕉	40	250	60	1000	140	15
柑桔	30	270	60	350	40	30

(续上表)

作物	产量 (吨/公顷)	移走的养分 (公斤/公顷)				
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S
葡萄	20	170	60	220	60	30
菠萝	50	185	55	350	110	20
油料作物						
椰子 (10,000个坚果)	—	130	60	200	50	15
花生	2	170	30	110	20	15
油棕 (新鲜果穗)	25	190	60	300	100	30
油菜籽	3	165	70	220	30	65
大豆	3	220	40	170	40	20
向日葵	3	120	60	240	55	15
刺激植物						
可可 (干豆)	1	40	15	90	10	—
咖啡 (净豆)	1.5	120	30	130	30	20
茶 (加工茶)	2.5	160	50	90	15	—
烟草	2	130	40	240	25	10
经济作物						
棉花 (皮棉)	1	120	45	90	40	20
黄麻 (干纤维)	2	65	30	160	35	—
橡胶 (干乳胶)	2.5	60	30	65	10	—
甘蔗	100	130	90	340	80	60
饲料作物						
苜蓿或紫花苜蓿 (干草)	9	240	65	170	40	25
禾本科牧草/三叶草 (干草)	12	300	90	360	60	35
青玉米 (青贮)	70	210	80	250	50	25
斯太芦草 (干草·每年收割七次)	20	570	140	530	105	60

来源：“现代农业中的钾”

养分的情况。在指明产量水平下需钾量由低至木豆的55公斤/公顷，高至香蕉的1000公斤/公顷。块茎和块根作物如马铃薯和木薯以及许多蔬菜作物如甘蓝、花椰菜和芹菜需要大量的钾，在水果作物中如香蕉、柑桔和菠萝要移走很高到极高量的钾。

各种作物对养分的吸收量，可以作为施肥的参考，但施肥量

并不等于吸收量。在确定钾肥用量时，要考虑到以下一些情况：

（1）前面已经提到，一般作物的需钾量在最大生长期达到高峰，尔后逐渐下降，因此收获时的吸钾量实际上低于正常生长的需要量。

（2）作物的吸钾量因很多因素而变化，这些因素有：品种、产量、土壤含钾水平、施肥量、环境条件等。一般当某一作物的产量增加一倍时，需钾量约增加30%~40%。当钾素供应丰富时，作物吸钾多，有时出现“奢侈吸收”。

（3）对某些经济作物来说，为获得最佳品质时的需钾量往往超过获得最高产量时的需求。

（4）前作作物所吸收的钾有多少回归大田，对后作的施钾量影响很大。对于禾谷类作物来说，所吸收的钾有80%左右存在于秸秆中，如大部分秸秆直接还田或以有机肥方式回田，则后作所需钾量会相应减少。

（5）缺钾土壤较之富钾土壤要多强调通过施肥达到土壤钾素收支平衡，以维持和提高土壤钾素肥力。

（6）还要考虑施入的钾肥有一个当季利用率问题。

第二节 钾的主要生理功能

钾在植物营养中具有多种功能，它的主要方面可以归纳如下：

- 有利作物的生长发育（首先在农艺性状上表现出来）；
- 增强吸水能力，减少水分损失，提高抗旱性能；
- 减少病虫害的侵袭；
- 提高抗寒能力；
- 减少倒伏；
- 促进多种酶的活化；
- 减弱呼吸作用，防止能量损失；
- 促进光合作用和可食部分的形成；

- 促进糖分和淀粉的转移；
- 提高蛋白质含量；
- 增进作物品质，改善贮存性能。

以下就其中某些作用，作进一步的说明。

1. 促进酶的活化

钾对酶的活化作用或许是钾在植物生长过程中最重要的功能之一。在生物体内已知有六十种以上的重要酶需要一价阳离子来活化，而钾离子在促进酶活化中尤为重要。

酶被称为有机催化剂，它能催化植物体内各种化合物的合成，亦即加速反应过程，但在反应末了，它本身并不发生变化。

生命有机体，从动物、植物到细菌甚至某些病毒都存在着各种不同种类的酶。人把食物吃下去，最后有用的养料都被吸收，残渣作为粪便被排泄出体外。食物是在人的胃中进行消化的，由于在人胃中有胃蛋白酶，它能消化食物中的蛋白质。如果同样的猪肉在非生命系统中，如铁锅里用100℃的温度，煮上几个小时，也只能把肉烧烂，但不能把肉“消化”。生物体象是一个复杂的化学工厂，它里面的化学反应都有催化剂参加作用。这种生物体特有的催化剂就是“酶”，它将各种分子聚集在一起，促进化学反应的进行。

关于钾在酶的活化中作用的方式不完全清楚，可能是：

(1) 钾可以改变酶分子的形状，从而暴露酶的活性部位，提高酶的活性。

(2) 钾作为酶与底物之间的桥梁。

植物体内的三种主要酶类—合成酶（连接酶），氧化还原酶和转移酶，在合成及能量转换过程中不可缺钾。例如由低分子化合物转化成高分子含氮有机物，促进蛋白质合成中，都需要酶参与，当钾不足时，尽管建造蛋白质的元件—氨基酸很多，而蛋白质的合成仍然会受到抑制，导致低分子量氨基酸的累积。

因为钾是生物体很多酶的活化剂，因此钾同植物体内的许多

代谢过程（如光合作用，呼吸作用，碳水化合物、脂肪和蛋白质的合成等）密切相关。

2. 促进光合作用和光合产物的运输

首先，钾能促进光合作用，提高光合效率。供给钾素能促进叶部叶绿素的合成和稳定，作物光合磷酸化的效率也相应提高，由单位叶绿体所生产的ATP也就增多。因此钾供应充足时，作物能更有效地利用太阳能进行同化作用。因此在阳光不足的山垄田、背阳田，更需施用钾肥，因为钾含量高的叶子，可多转化光能，提高光合效率。

钾的另一作用是调节气孔的开闭，控制 CO_2 和水分的进出，微小的气孔是植物释放 O_2 和吸收 CO_2 的通道。钾对气孔的正常功能是特别重要的，它影响气孔开闭。气孔张开时，保卫细胞中钾的浓度比关闭时高许多倍，钾的缺乏会引起气孔控制失调，作用效率下降，使合成糖所必需的原料供应受到限制。土壤供钾充足，则气孔两侧的保卫细胞积累大量的钾，迫使气孔开启，从而促进了 CO_2 和来自叶组织的氧的交换。

钾能促进碳水化合物的合成。当钾素供应不足时，植物体内的糖、淀粉会水解成单糖。相反，钾素充足时，单糖会向蔗糖、淀粉合成方向进行。因此钾对淀粉类、糖类作物的产量和品质影响很大。

钾的另一基本功能是加速光合作用产物（同化物）的流动。光合产物通过韧皮部从叶中外运，在钾充足时，这种运输是很快的。钾可促进光合产物向韧皮部汁液中的装载，从而增加韧皮部汁液的运输速率，故当钾素供应充足时，在叶中制成的有机化合物能尽快地运往果实，谷粒或块茎中，假如叶片缺钾，叶中便积累了较多的糖分，由于运输不畅也阻碍了光合作用的继续进行，使光合强度减弱，谷粒也就不大饱满和沉实。

3. 促进蛋白质合成

关于植物体内蛋白质代谢中 K^+ 的功能，首先要考虑 K^+ 对蛋

白质的关键成分N进入蛋白质合成部位所起运输作用。 NO_3^- 被摄取和运转到地上部位，涉及到 K^+ 经木质部随 NO_3^- 一起上移，经韧皮部随苹果酸一起下沉的循环。即 K^+ 能促进 NO_3^- 的摄取和运转。

更重要的是，钾与植物蛋白质的合成过程密切相关。蛋白质合成的每个主要步骤，由核糖体的合成至信使核糖酸的传递都需要钾。钾素供应充足时，能使吸收的氮迅速转化，形成较多的蛋白质，使植物体内的硝态氮和氨基酸减少（图1-2）。如果作物缺钾，蛋白质的合成作用会受到抑制，使非蛋白质氮含量增多，造成氨基酸和酰胺的积累，导致作物发生毒害。

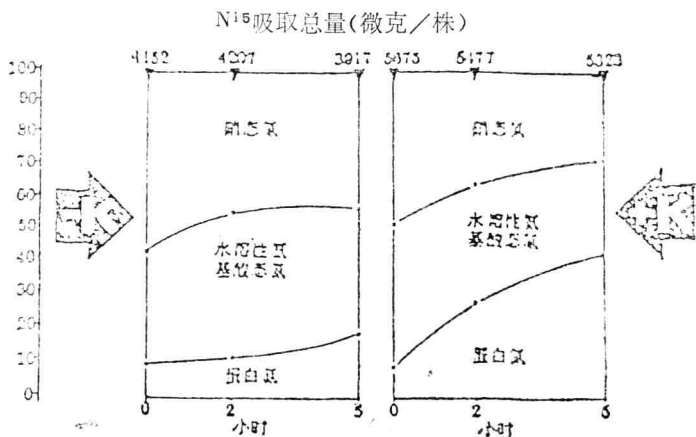


图1-2 烟草对标记 $^{15}\text{NO}_3^-$ 的吸收和同化情况

钾能 有效地增强豆科植物的共生固氮能力。钾素供应充足时，豆科的根瘤数、根瘤重和固氮量增加了。这可能是由于施钾增加了碳水化合物向根部的运输，从而为根瘤的固氮作用提供了充分的能量。

4. 增强植物的抗逆性

钾在增强作物抗逆性方面的作用是十分明显的，这方面的报道也甚多。

(1) 增强抗病能力

钾在抗病害能力方面的作用，18世纪末就已发现，论述这个问题的文献，国际上至少有1200篇以上，但其机理仍不十分清楚。美国植物病害年鉴指出“使用钾肥比使用任何其它物质能抑制更多的植物病害”。根据大量报告统计，钾对抗细菌、真菌病害的作用最大，对病毒和线虫的作用较不明显（表1-2）

表1-2 钾对病虫害发病率的影响

种 类	报告数	钾对防治病虫害的效果 (%)		
		正效	无效	负效
真菌类	740	71	11	18
细菌类	68	75	12	13
病毒类	116	41	14	45
线虫类	54	42	4	54
昆虫/螨类	231	59	16	25

钾对植物防病来说，并不作为直接控制剂，而是加强植物本身的抗性机制。一般认为，当钾素供应充足时，抗病能力的增强主要是由于增加了抗感染和抗传播的能力两个方面。

首先，钾素营养与细胞壁的厚度和强度，膜的透性和气孔功能等有关。

a 表皮和表皮细胞壁的厚度和强度

充足的钾使植物组织坚固，细胞壁较厚，这就能抗御病害入侵，而氮有相反的作用。例如，茶树施用钾肥后上述性状改善，而对茶树叶炭疽病有显著效用（表1-3）。

b 细胞膜的稳定性、渗透性和气孔的关闭

缺钾时，细胞膜的稳定性下降、透性提高，这就使组织易遭受水淋，同时缺钾条件下累积的可溶性的和低分子化合物（主要是糖和含氮化合物）从叶片和根中渗出。

缺钾植株的气孔不能完全闭合，这给大量病原体的进入创造