

## 不同钾肥对甘蓝产量、品质和营养元素形态的影响\*

金珂旭<sup>1</sup> 王正银<sup>1†</sup> 樊 驰<sup>1</sup> 刘 辉<sup>2</sup> 何德清<sup>2</sup>

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400716)

(2 重庆市沙坪坝区农业技术推广管理站, 重庆 400030)

**摘 要** 选择重庆地区适宜栽培的甘蓝品种, 采用田间小区试验, 研究不同种类和用量钾肥对甘蓝产量、品质和营养元素形态的影响, 为无公害甘蓝生产确定合理的施钾技术提供科学依据。结果表明, 不同施钾处理甘蓝生物产量和商品产量均显著提高(增量为 4.3%~20.2%), 两种钾肥均以中量水平(K<sub>2</sub>)增产最显著, 但相同用量下钾肥种类间增产效果无显著差异, 从肥料成本看以氯化钾更优。各处理均提高甘蓝氨基酸含量, 以低量硫酸钾最优, 增幅达 56.9%; 除中量氯化钾提高甘蓝维生素 C 含量 6.8% 外, 其余处理均降低维生素 C 含量; 各处理对甘蓝硝酸盐含量以降低为主, 以高量硫酸钾降幅最大达 12.3%; 钾肥对甘蓝还原糖含量表现为提高, 且以低量氯化钾最优。各处理均在一定程度上提高甘蓝矿物质元素含量(Zn 除外)。甘蓝各营养元素形态中, 均以非蛋白态为主。不同钾肥处理蛋白氮含量与氨基酸含量呈极显著负相关(相关系数  $r = -0.820$ ), 蛋白磷与氨基酸含量呈显著正相关, 而非蛋白磷含量与维生素 C 含量呈显著正相关; 与氮、磷素形态相比, 不同钾素形态与甘蓝品质间关系更为密切, 其中全钾、蛋白钾含量与维生素 C 含量均呈显著正相关。综合各指标效应看, 甘蓝适宜钾肥种类为氯化钾, 且以中量施钾水平最优。

**关键词** 甘蓝; 硫酸钾; 氯化钾; 产量; 品质**中图分类号** S635.1 **文献标识码** A

蔬菜是人们日常生活中必不可少的食物, 也是十分重要的经济作物。我国是世界第一大蔬菜生产国, 蔬菜生产已成为我国经济发展的重要支柱<sup>[1]</sup>。蔬菜对氮、磷、钾养分需求较多<sup>[2]</sup>, 但是在实际生产中, 菜农过多重视氮磷肥, 轻视钾肥的施用, 导致蔬菜产量和品质下降<sup>[3]</sup>。众所周知, 平衡施肥既提高土壤肥力, 增加蔬菜产量, 又减少肥料对环境的影响, 可达到双赢的目的<sup>[4]</sup>。钾素作为“品质元素”在植物体内的功能主要是激活酶, 促进叶绿素的合成, 促进根对硝酸盐的吸收和转运, 促进氨基酸向蛋白质合成的部位运输, 在植物碳、氮代谢过程中起重要的调节作用, 对品质的形成非常关键<sup>[5]</sup>。研究表明, 钾肥在提高作物产量<sup>[6]</sup>、改善作物品质<sup>[7-8]</sup>等方面均有显著的作用。钾肥能提高大白菜和茼蒿产量, 降低其硝酸盐和重金属含量<sup>[9]</sup>。增施钾肥对甘蓝、菠菜、西瓜和茄子等收获物中糖

的合成与积累均有良好的促进作用<sup>[10]</sup>, 但洋葱的含糖量与钾肥施用量呈负相关<sup>[11-12]</sup>。许多研究认为, 钾肥用量与维生素 C 含量呈正相关<sup>[13-15]</sup>。钾素也能影响蔬菜体内酚类代谢, 提高作物抗逆性<sup>[16]</sup>。

结球甘蓝 (*Brassica oleracea* Linnaeus var. *capitata* Linnaeus) 简称甘蓝, 是十字花科芸薹属的一种重要蔬菜, 在我国栽培面积现已达到了每年约 90 万  $\text{hm}^2$ <sup>[17]</sup>。甘蓝是需肥量大的一类叶类蔬菜, 通常情况下, 其对氮、磷、钾的需求比例为 1:0.13:1.08。重庆地区甘蓝栽培面积大、产量高, 针对性地选择和合理施用适宜的钾肥品种与用量, 有利于提高施用钾肥的产量、品质和经济效益。本研究选择甘蓝作为对象, 以期进一步探明在田间条件不同施钾量水平下, 不同种类钾肥的产量、品质效应差异, 为无公害甘蓝生产确定合理的施钾技术提供科学依据。

\* 国家公益性行业(农业)科研专项(201203013-5)和国际植物营养研究所(IPNI)项目(2010-Chongqing-02)资助

† 通讯作者, E-mail: wang\_zhengyin@163.com

作者简介: 金珂旭(1989—), 女, 重庆人, 硕士研究生, 主要从事植物营养资源利用研究。E-mail: 836645459@qq.com

收稿日期: 2013-09-13; 收到修改稿日期: 2013-12-31

## 1 材料与方 法

### 1.1 供试材料

供试土壤为三叠纪石灰岩黄壤, pH 6.38, 有机质  $24.5 \text{ g kg}^{-1}$ , 碱解氮  $156 \text{ mg kg}^{-1}$ , 有效磷  $20.3 \text{ mg kg}^{-1}$ , 速效钾  $138 \text{ mg kg}^{-1}$ 。供试肥料为尿素(N, 46%)、过磷酸钙( $\text{P}_2\text{O}_5$ , 12%)、氯化钾( $\text{K}_2\text{O}$ , 60%)、硫酸钾( $\text{K}_2\text{O}$ , 50%)和泥炭(全氮 1.463%, 全磷 0.316%, 全钾 0.245%)。

### 1.2 试验设计

田间小区试验于 2010 年 9 月 1 日—12 月 9 日在重庆市沙坪坝区中梁镇龙泉村蔬菜基地进行。试验采用随机区组设计, 施用 2 种钾肥(氯化钾, 硫酸钾)各 3 个水平共 8 个处理(表 1), 各处理均施氮(N)  $300 \text{ kg hm}^{-2}$ , 施磷( $\text{P}_2\text{O}_5$ )  $150 \text{ kg hm}^{-2}$ , 3 次重复, 小区面积  $6.8 \times 1.1 = 7.48 \text{ m}^2$ 。甘蓝于 2010 年 6 月 18 日育苗, 9 月 1 日移栽, 每小区 2 行(行距 55 cm), 每行 11 株(窝)(株距 62 cm), 每小区共栽 22 株。氯化钾、硫酸钾、泥炭、磷肥一次性施入, 尿素在移栽后分 3 次按 30%、30%、40% 的比例分别于苗期(9 月 15 日)、开盘期(9 月 30 日)和结球期(10 月 15 日)施用。12 月 9 日收获时测定甘蓝的生物产量和商品产量(生物产量代表植株全部重量, 商品产量代表生物产量中作为商品利用部分的收获量), 同时取样测定硝酸盐、营养品质、营养元素形态。

表 1 田间小区试验方案和施肥量

Table 1 Scheme and dosage of fertilizers in the field experiment ( $\text{kg hm}^{-2}$ )

处理 Treatment	氮 N	磷 $\text{P}_2\text{O}_5$	钾 $\text{K}_2\text{O}$	泥炭 Peat
K0	300	150	0	0
K1(Cl)	300	150	75	0
K2(Cl)	300	150	225	0
K3(Cl)	300	150	450	0
K1(S)	300	150	75	0
K2(S)	300	150	225	0
K3(S)	300	150	450	0
K2(S) + M	300	150	225	2 250

### 1.3 测定内容与方 法

土壤 pH、有机质、碱解氮、有效磷和速效钾采用常规方法测定<sup>[18]</sup>。甘蓝品质分析中, 硝酸盐含量采

用紫外分光光度法, 氨基酸用茚三酮显色-分光光度法, 维生素 C 用 2,6-二氯酚酚滴定法, 还原糖采用 3,5-二硝基水杨酸分光光度法测定<sup>[18]</sup>。甘蓝养分分析中, 全氮采用  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  消化-蒸馏法, 全磷采用钒钼黄比色法, 全钾采用火焰光度法; 甘蓝蛋白氮、磷、钾和非蛋白氮、磷、钾先用三氯乙酸沉淀样品中的蛋白质、过滤, 使两者分离, 分别用  $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  消化前处理, 测定方法同全氮、全磷、全钾<sup>[18]</sup>。Fe、Mn、Cu、Zn、Ca 含量均采用原子吸收分光光度法测定<sup>[18]</sup>。

### 1.4 数据处理

钾肥偏生产力( $\text{PFP}_K$ ) = 施钾处理甘蓝产量/钾肥用量; 式中, 偏生产力单位为  $\text{kg kg}^{-1}$ , 产量单位  $\text{kg hm}^{-2}$ , 钾肥用量单位为  $\text{kg hm}^{-2}$ 。

钾肥农学效率( $\text{AE}_K$ ) = (施钾处理甘蓝产量 - 不施钾处理甘蓝产量)/钾肥用量; 式中, 农学效率单位为  $\text{kg kg}^{-1}$ , 产量单位为  $\text{kg hm}^{-2}$ , 钾肥用量单位为  $\text{kg hm}^{-2}$ 。

钾肥生理效率( $\text{PE}_K$ ) = (施钾处理甘蓝产量 - 不施钾处理甘蓝产量)/(施钾处理植株钾积累量 - 不施钾处理植株钾积累量); 式中, 生理效率单位为  $\text{kg kg}^{-1}$ , 产量单位为  $\text{kg hm}^{-2}$ , 钾积累量单位为  $\text{kg hm}^{-2}$ 。

钾肥当季利用率( $\text{RE}_K$ ) = (施钾处理植株钾积累量 - 不施钾处理植株钾积累量)/钾肥用量  $\times 100$ <sup>[19]</sup>。

试验数据采用 Microsoft Excel 2007 和 SPSS 统计软件进行分析<sup>[20]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 钾肥对甘蓝产量的影响

表 2 显示, 与对照(K0)相比, 不同施钾处理使甘蓝生物产量提高了 4.3%~14.6%, 其增幅顺序为  $\text{K2(S) + M} \geq \text{K2(S)} \geq \text{K2(Cl)} \geq \text{K3(S)} > \text{K3(Cl)} \geq \text{K1(S)} \geq \text{K1(Cl)} > \text{K0}$ 。K2(S) + M 处理的增幅最大, 可见在无机肥基础上配施优质有机肥, 能显著提高甘蓝的生物产量, 这可能是因为有机肥的施用不仅均衡了各养分含量, 且改善了土壤的物理和生物环境。两种钾肥不同施用水平对甘蓝生物产量的影响规律相似, 均以中量水平增产作用最大, 增幅分别为 12.0% 和 12.6%, 表明本试验中甘蓝适宜的两种钾肥施用量均为  $225 \text{ kg hm}^{-2}$ , 过多施用增产作用降低。在相同施用量条件下两种钾肥对甘蓝的增产效果没有显著差异, 但考虑到硫酸钾

市场价格明显高于氯化钾,从肥料成本看以氯化钾更具优势。两种钾肥对甘蓝商品产量的影响与生物产量的影响相似,两种钾肥均以中量水平增产作用最大,各处理下的商品产量均有一定程度的增加,但其增产幅度大于生物产量,为 6.0%~20.2%,以 K2(S)+M 处理下的增幅最大。施用钾肥还明显改善甘蓝的商品率,增加量为 1.0~3.3 个百分点,以硫酸钾的作用优于氯化钾,这可能是由于甘蓝属于喜硫作物,甘蓝球中的硫含量显著高于很多其他作物<sup>[21]</sup>。

表 2 不同施钾肥处理的甘蓝产量

Table 2 Yields of cabbage in different K fertilizer treatments

处理 Treatment	生物产量 Biomass (kg hm <sup>-2</sup> )	商品产量 Commodity yield (kg hm <sup>-2</sup> )	商品率 Commodity rate (%)
K0	82 491 ± 584cC	51 071 ± 267dD	61.9
K1(CI)	86 056 ± 438bcB	54 149 ± 267cC	62.9
K2(CI)	92 385 ± 292aA	59 898 ± 401aA	64.8
K3(CI)	88 908 ± 288bB	56 555 ± 267bcB	63.6
K1(S)	86 814 ± 426bcB	54 550 ± 267cC	62.8
K2(S)	92 919 ± 418aA	60 566 ± 401aA	65.2
K3(S)	90 602 ± 402bA	58 694 ± 401bB	64.8
K2(S)+M	94 568 ± 876aA	61 368 ± 401aA	64.9

注:产量均以鲜基计算;表中数据为 3 次重复的平均值 ± 标准误差;同一列中小写字母代表不同处理间差异显著 ( $p < 0.05$ ),大写字母代表不同处理间差异极显著 ( $p < 0.01$ ),下同 Note: The data in the table are calculated by fresh weight and are mean ± standard error of 3 replications. Values in the same column followed by different lowercase letters indicate significant difference at  $p < 0.05$  between treatments. Values in the same line followed by different uppercase letters indicate significant difference at  $p < 0.01$  between different treatments. The same below

## 2.2 钾肥对甘蓝营养品质的影响

除 K2(CI) 处理增加甘蓝中氨基酸含量作用较小(提高 5.9%)外,其余施钾肥处理均较 K0 显著提高甘蓝的氨基酸含量,增幅为 20.8%~56.9%,以 K1(S) 处理最优(表 3)。硫酸钾处理氨基酸含量明显高于同水平氯化钾处理,这可能是由于钾肥伴随离子不同引起差异。两种钾肥中,高量和低量处理提高甘蓝氨基酸含量的作用优于中量处理,表现出不同钾肥品种和用量改善蔬菜营养品质的差异性。

施用钾肥对甘蓝维生素 C 含量的影响除中量氯化钾处理增加甘蓝维生素 C 含量 6.8%,其余处理均降低甘蓝维生素 C 含量,并以高量硫酸钾的作用最大(降低 12.3%)(表 3)。两种钾肥对提高维生素 C 含量作用不明显。

表 3 显示,各钾肥均在一定程度上提高了甘蓝还原糖含量,增幅为 1.0%~14.4%。低量氯化钾增幅最大,其次为中量硫酸钾+泥炭处理。在等用量水平下,氯化钾提高甘蓝中还原糖含量的作用优于硫酸钾。对于不同钾肥品种,还原糖含量与肥料用量均表现出递降关系,即随钾肥用量增加,还原糖含量表现出降低的趋势。由此可见,低量钾肥以及钾肥与有机肥配施有助于提高甘蓝还原糖含量。

表 3 显示,除低量氯化钾处理外,各施钾肥处理均较 K0 降低了甘蓝可食部分的硝酸盐含量,降低幅度为 1.0%~12.3%,以高量硫酸钾的降低作用最大。高量硫酸钾和中量硫酸钾+泥炭处理显著降低硝酸盐含量,使其控制在国家无公害叶菜的限量标准  $\leq 3\ 000\ \text{mg}\ \text{kg}^{-1}$  内。表明在化肥基础上增施有机肥泥炭可以促进硝酸盐转化为氨基酸和蛋白质,减少硝酸盐的累积。此外,钾肥对甘蓝硝酸盐的降低作用也与氮磷肥用量有关,磷肥、钾肥与氮肥的平衡施用是降低蔬菜硝酸盐含量的关键。

## 2.3 钾肥对甘蓝矿质元素的影响

蔬菜是人类获取矿质营养元素的重要途径之一<sup>[17]</sup>。矿质元素与人类健康关系密切,它们的摄入量、不足与缺乏均会不同程度地引起人体生理机能的异常或发生疾病<sup>[22]</sup>。研究表明,钙能促进骨骼的发育;铁是人体中血液交换与输送氧气的必须成分;锰能改善机体的造血功能;铜能促进血管和皮肤健康;锌能调节人体免疫功能<sup>[23]</sup>。表 4 显示,施用钾肥能在一定程度上提高甘蓝矿质元素的含量(锌除外),但是不同品种及用量对矿质元素的影响存在差异性。氯化钾有利于甘蓝铜含量的增加,而硫酸钾则更有利于钙、铁、锰含量的增加。这可能是由于不同钾肥伴随离子不同造成差异。3 种钾肥用量水平下,钙、锰的含量与氯化钾用量表现出正相关关系,即随着氯化钾用量增加钙、锰含量增加;而中量硫酸钾处理下钙、锰含量增幅最大。显而易见,合理选择钾肥品种和用量对提高甘蓝矿质元素含量具有至关重要的作用。

表 3 不同钾肥处理的甘蓝品质成分比较

Table 3 Quality of cabbage relative to K fertilizer treatment

处理 Treatment	硝酸盐 Nitrate		氨基酸 Amino acid		维生素 C Vitamin C		还原糖 Sugar	
	(mg kg <sup>-1</sup> )	%	(mg kg <sup>-1</sup> )	%	(mg kg <sup>-1</sup> )	%	(%)	%
K0	3 408 ± 31b	100.0	1 045 ± 17c	100.0	769.7 ± 25.2ab	100.0	2.99 ± 0.01c	100.0
K1 (Cl)	3 640 ± 24a	106.8	1 413 ± 21b	135.2	710.3 ± 27.4c	92.3	3.42 ± 0.02a	114.4
K2 (Cl)	3 145 ± 27bc	92.3	1 107 ± 34c	105.9	822.2 ± 31.3a	106.8	3.13 ± 0.04b	104.7
K3 (Cl)	3 354 ± 32b	98.4	1 262 ± 52b	120.8	757.7 ± 43.5b	98.4	3.07 ± 0.01bc	102.7
K1 (S)	3 375 ± 51b	99.0	1 640 ± 26a	156.9	796.3 ± 36.4a	103.4	3.10 ± 0.02bc	103.7
K2 (S)	3 225 ± 40b	94.6	1 324 ± 23b	126.7	762.2 ± 16.1b	99.0	3.07 ± 0.01bc	102.7
K3 (S)	2 988 ± 36c	87.7	1 415 ± 42b	135.4	674.8 ± 28.3d	87.7	3.02 ± 0.07c	101.0
K2 (S) + M	2 993 ± 43c	87.8	1 343 ± 31b	128.5	751.2 ± 41.2b	97.6	3.31 ± 0.04a	110.7

注:数据以鲜基计算 Note: The data are calculated by fresh weight

表 4 不同钾肥处理的甘蓝矿质营养元素含量

Table 4 Mineral nutrient contents in cabbage relative to K fertilizer treatment

处理 Treatment	钙 Ca		铁 Fe		锰 Mn		铜 Cu		锌 Zn	
	(g kg <sup>-1</sup> )	%	(mg kg <sup>-1</sup> )	%	(mg kg <sup>-1</sup> )	%	(mg kg <sup>-1</sup> )	%	(mg kg <sup>-1</sup> )	%
K0	0.81 ± 0.01d	100.0	1.40 ± 0.02d	100.0	0.43 ± 0.04d	100.0	0.19 ± 0.01b	100.0	1.99 ± 0.03a	100.0
K1 (Cl)	0.85 ± 0.04cd	105.0	1.57 ± 0.13c	112.2	0.68 ± 0.01cd	157.8	0.22 ± 0.12ab	110.4	1.70 ± 0.10c	85.6
K2 (Cl)	0.88 ± 0.12c	108.3	2.01 ± 0.02a	143.6	0.80 ± 0.11bc	186.1	0.23 ± 0.15ab	115.4	1.74 ± 0.06bc	87.2
K3 (Cl)	1.02 ± 0.08a	126.2	1.87 ± 0.07b	133.9	1.25 ± 0.13a	291.7	0.21 ± 0.05ab	107.0	1.67 ± 0.03cd	83.6
K1 (S)	1.00 ± 0.10a	124.0	1.92 ± 0.10b	137.1	0.76 ± 0.15c	176.1	0.21 ± 0.09ab	107.0	1.94 ± 0.08a	97.6
K2 (S)	1.03 ± 0.06a	127.0	1.99 ± 0.21a	142.0	0.97 ± 0.06b	224.9	0.19 ± 0.01b	100.2	1.81 ± 0.11b	91.0
K3 (S)	0.95 ± 0.13b	117.9	2.02 ± 0.17a	144.4	0.85 ± 0.18b	196.7	0.25 ± 0.21a	129.2	1.59 ± 0.16d	79.9
K2 (S) + M	0.79 ± 0.11d	97.4	1.90 ± 0.14b	136.1	0.58 ± 0.09d	134.3	0.20 ± 0.19b	102.4	1.68 ± 0.04cd	84.6

注:数据以干基计算 Note: The data are calculated by dry weight

## 2.4 钾肥对甘蓝营养元素形态的影响

氮作为植物营养三要素之首,在植物生长发育过程中起着十分关键的作用,常将其称作生命元素<sup>[24]</sup>。植物体内的氮化合物可分为蛋白氮和非蛋白氮,两者的含量与占全氮的比例常随着植物的生理状况及环境条件而异,反映出植物对氮素的吸收、运输与利用。表 5 显示,除低量硫酸钾处理 K1 (S) 外,施用钾肥各处理甘蓝全氮含量较 K0 处理均表现为降低,并以中量硫酸钾 + 泥炭处理降低量最大;各钾肥处理均降低了甘蓝蛋白氮的含量;甘蓝非蛋白氮含量与钾肥用量表现出递减关系,即随着钾肥用量增加,非蛋白氮含量降低,表明适量施用钾肥可以改善甘蓝的蛋白氮含量,提高甘蓝的食用

价值;蛋白氮、非蛋白氮占全氮比例差异不明显,说明植物体内的非蛋白氮和蛋白氮在不断改变和相互转化。

磷素是植物体内重要化合物的组成元素之一,如构成蛋白质、核酸、磷脂等,磷含量增加则意味着蔬菜营养品质提高<sup>[25]</sup>。表 6 可知,不同处理甘蓝全磷幅度变化不大,低量硫酸钾处理全磷较对照有所增加。甘蓝的磷素形态以非蛋白磷为主,非蛋白磷占全磷的 80%~92.5%,蛋白磷占全磷的 7.5%~20%。与蛋白氮不同,各钾肥处理均显著增加了甘蓝蛋白磷含量,增幅达 1 倍以上;而非蛋白磷的含量均较对照有所降低,但各处理间作用不明显,本试验表明磷素形态之间的相互转化的可变性不同于氮素。

表 5 不同钾肥处理的甘蓝氮素营养形态

Table 5 Determination of forms of N nutrient in cabbage relative to K fertilizer treatment

处理 Treatment	全氮 Total-N		蛋白氮 Protein-N		非蛋白氮 Non-protein-N		蛋白氮/全氮 Protein-N / Total-N	非蛋白氮/全氮 Non-protein-N / Total-N
	(g kg <sup>-1</sup> )	%	(g kg <sup>-1</sup> )	%	(g kg <sup>-1</sup> )	%	%	%
	K0	31.3 ± 0.1 ab	100.0	9.7 ± 0.5 a	100.0	21.6 ± 0.9 b	100.0	31.0
K1 (Cl)	30.8 ± 0.3 b	98.7	8.8 ± 0.6 b	90.4	22.1 ± 0.1 b	102.5	28.4	71.6
K2 (Cl)	29.6 ± 0.4 c	94.7	8.1 ± 0.2 c	83.5	21.5 ± 0.5 bc	99.7	27.3	72.7
K3 (Cl)	28.5 ± 0.1 cd	90.9	7.8 ± 0.1 cd	80.8	20.6 ± 0.6 c	95.5	27.5	72.5
K1 (S)	32.3 ± 0.1 a	103.3	8.7 ± 0.2 b	89.3	23.7 ± 0.3 a	109.6	26.8	73.2
K2 (S)	28.5 ± 0.4 cd	91.0	9.2 ± 0.8 ab	95.1	19.3 ± 1.1 d	89.2	32.4	67.6
K3 (S)	28.0 ± 1.0 d	89.5	7.8 ± 0.1 cd	80.1	20.2 ± 0.5 d	93.7	27.7	72.3
K2 (S) + M	25.5 ± 0.1 e	81.5	7.5 ± 0.2 d	77.2	18.0 ± 0.5 e	83.4	29.4	70.6

注:数据以干基计算 Note: The data are calculated by dry weight

表 6 不同钾肥处理的甘蓝磷素营养形态

Table 6 Determination of forms of P nutrient in cabbage relative to K fertilizer treatment

处理 Treatment	全磷 Total-P		蛋白磷 Protein-P		非蛋白磷 Non-protein-P		蛋白磷/全磷 Protein-P / Total-P	非蛋白磷/全磷 Non-protein-P / Total-P
	(g kg <sup>-1</sup> )	%	(g kg <sup>-1</sup> )	%	(g kg <sup>-1</sup> )	%	%	%
	K0	4.0 ± 0.1 a	100.0	0.3 ± 0.1 c	100.0	3.7 ± 0.4 a	100.0	7.5
K1 (Cl)	3.8 ± 0.2 b	95.0	0.6 ± 0.1 b	200	3.2 ± 0.5 b	86.5	15.8	84.2
K2 (Cl)	3.8 ± 0.2 b	95.0	0.7 ± 0.2 a	233.3	3.1 ± 0.6 bc	83.8	18.4	81.6
K3 (Cl)	3.6 ± 0.4 b	90.0	0.6 ± 0.1 b	200.0	3.0 ± 0.1 c	81.1	16.7	83.3
K1 (S)	4.1 ± 0.1 a	102.5	0.8 ± 0.3 a	266.7	3.3 ± 0.8 b	89.2	19.5	80.5
K2 (S)	3.7 ± 0.3 b	92.5	0.7 ± 0.2 a	233.3	3.0 ± 0.1 c	81.1	18.9	81.1
K3 (S)	4.0 ± 0.1 a	100.0	0.8 ± 0.3 a	266.7	3.2 ± 0.4 b	86.5	20.0	80.0
K2 (S) + M	3.6 ± 0.4 b	90.0	0.7 ± 0.2 a	233.3	2.9 ± 0.9 c	78.4	19.4	80.6

注:数据以干基计算 Note: The data are calculated by dry weight

蔬菜是一种需钾较多的作物,其需钾量约为需氮量的两倍<sup>[26]</sup>。在适量施用氮、磷肥的基础上增施钾肥,有助于蔬菜产量和品质提高,同时能降低硝酸盐的含量(表3)。表7显示,各钾肥处理使甘蓝全钾提高24.8%~36.3%,蛋白钾提高4.8%~104.8%,非蛋白钾提高23.3%~31.6%,以中量硫酸钾+泥炭处理的全钾、蛋白钾、非蛋白钾含量均显著高于其他处理,说明增施有机肥有利于全钾、蛋白钾、非蛋白钾的提高,以改善叶菜品质。施钾肥使甘蓝全钾含量显著提高,这无疑提高了甘蓝的食用价值、有益于人体健康,因为钾在人体内的酸碱平衡、维持正常血压、拮抗过量钠等方面具有特

殊的作用<sup>[23]</sup>。非蛋白钾是全钾的主要成分,也是甘蓝中钾的主要形态。本试验中非蛋白钾占全钾的90.3%~94.7%,而蛋白钾仅占全钾的5.3%~9.7%,因为植物叶片中钾大多数以离子态存在,难以形成有机化合物,尤其是难以与蛋白质结合<sup>[15]</sup>。即使钾与蛋白质结合,也只是简单的电荷吸附作用,目前尚无钾与蛋白质有专性吸附或结合的报道。因此,蛋白钾的变化也主要可能是不同处理影响蛋白质的等电点,或影响介质中钾与其他离子之间的平衡,而导致蛋白质及相关大分子对钾吸附能力发生变化而致。

表 7 不同钾肥处理的甘蓝钾素营养形态

Table 7 Determination of forms of K nutrient in cabbage relative to K fertilizer treatment

处理 Treatment	全钾 Total-K		蛋白钾 Protein-K		非蛋白钾 Non-Protein-K		蛋白钾/全钾 Protein-K / Total-K	非蛋白钾/全钾 Non-protein-K / Total-K
	(g kg <sup>-1</sup> )	%	(g kg <sup>-1</sup> )	%	(g kg <sup>-1</sup> )	%	%	%
K0	32.2 ± 0.7d	100	2.1 ± 0.1cd	100	30.1 ± 0.4e	100	6.5	93.5
K1 (Cl)	41.5 ± 0.4b	128.9	2.2 ± 0.0d	104.8	39.3 ± 0.3a	130.6	5.3	94.7
K2 (Cl)	41.9 ± 0.1b	130.1	3.1 ± 0.1bc	147.6	38.8 ± 0.1b	128.9	7.4	92.6
K3 (Cl)	40.2 ± 0.1c	124.8	3.0 ± 0.7bc	142.9	37.2 ± 0.2d	123.6	7.5	92.5
K1 (S)	41.1 ± 0.4bc	127.6	4.0 ± 0.5ab	190.5	37.1 ± 0.1d	123.3	9.7	90.3
K2 (S)	41.8 ± 0.1b	129.8	3.2 ± 0.9bc	152.4	38.6 ± 0.4b	128.2	7.7	92.3
K3 (S)	41.0 ± 0.4bc	127.3	3.1 ± 0.1bc	147.6	37.9 ± 0.1c	125.9	7.6	92.4
K2(S) + M	43.9 ± 0.1a	136.3	4.3 ± 0.3a	204.8	39.6 ± 0.2a	131.6	9.8	90.2

注:数据以干基计算 Note: The data are calculated by dry weight

## 2.5 不同钾肥处理对甘蓝钾素利用效率的影响

表 8 可以看出,两种钾肥处理的甘蓝钾肥偏生产力和钾肥农学效率均随施肥量的增加呈显著下降;钾素生理效率均以中量水平最高,且用量相同的情况下硫酸钾处理普遍高于氯化钾处理;钾素利用率随钾肥用量增加呈显著下降,相同用量下氯化

钾处理的钾素利用率高于硫酸钾。甘蓝的钾素偏生产力、农学效率和当季利用率均随钾肥用量增加显著下降,可能与钾肥施用量增幅大(倍增)有关。显然,钾肥对甘蓝产量、品质、钾素利用效率的最佳复合效应施用量尚需进一步开展研究。

表 8 不同钾肥处理甘蓝钾素利用效率

Table 8 K uptake and recovery of cabbage relative to K fertilizer treatment

处理 Treatment	偏生产力 PFP <sub>K</sub> (kg kg <sup>-1</sup> )	农学效率 AE <sub>K</sub> (kg kg <sup>-1</sup> )	生理效率 PE <sub>K</sub> (kg kg <sup>-1</sup> )	当季利用(回收)率 RE <sub>K</sub> (%)
K1 (Cl)	1147.4 b	47.5c	62.7g	75.8a
K2 (Cl)	410.6 e	44.0 d	196.0b	22.4d
K3 (Cl)	197.6 g	14.3f	135.5e	10.5f
K1 (S)	1157.5a	57.6 a	86.0f	67.0b
K2 (S)	413.0d	46.3 c	317. a	14.6e
K3 (S)	201.3 f	18.0 e	191.9c	9.4g
K2(S) + M	420.3 c	53.7 b	186.0d	28.9c

## 2.6 甘蓝营养元素形态与品质间关系

随着社会发展和人民生活水平的提高,人们对蔬菜品质的要求出现了多元化的倾向。优质蔬菜品质一般包括营养品质,卫生品质和商品品质。蔬菜硝酸盐属于卫生品质范畴,氨基酸、维生素 C、还原糖属于营养品质。蔬菜硝酸盐与营养品质之间关系密切。不同钾肥处理甘蓝硝酸盐含量与维生素 C 呈极显著的负相关,表明硝酸盐的累积一定程度上降低了甘蓝的营养品质(表 9)。此外,蔬菜体

内氮磷钾素的代谢具有协调性和一致性,蔬菜硝酸盐不仅是氮素代谢的重要组成部分,也与磷、钾的代谢关系密切,受氮磷钾代谢水平的调控。硝酸盐累积是营养代谢尤其是氮素代谢受阻所致,因而也必然影响植物体内有机营养物质的形成、转化与分配<sup>[25]</sup>。不同钾肥处理甘蓝氮素形态中仅蛋白氮含量与氨基酸含量呈极显著负相关(表 9);磷素形态中蛋白磷与氨基酸含量呈显著正相关,而非蛋白磷含量与维生素 C 含量呈显著正相关;与氮磷素形态

相比,不同钾素形态与甘蓝品质间关系更为密切,其中全钾、蛋白钾含量与维生素 C 含量均呈显著正相关,而与硝酸盐含量呈极显著负相关,其原因在

于钾作为蔬菜品质元素,广泛参与蔬菜氮磷钾代谢,对蔬菜产量和品质构成重要调控作用<sup>[27]</sup>。

表 9 甘蓝营养元素形态与品质的相关性

Table 9 Correlation between form and quality of nutrients in cabbage

因子 Factor	氨基酸 Amino acid	维生素 C Vitamin C	还原糖 Sugar	硝酸盐 Nitrate
全氮 Total-N	0.113	0.211	-0.157	0.304
蛋白氮 Protein-N	-0.820 **	0.501	-0.244	0.305
非蛋白氮 Non-protein-N	0.151	0.135	-0.405	0.193
全磷 Total-P	0.308	-0.206	-0.293	-0.064
蛋白磷 Protein-P	0.756 *	-0.307	0.232	-0.359
非蛋白磷 Non-protein-P	-0.021	0.793 *	-0.462	-0.221
全钾 Total-K	0.527	0.739 *	0.529	-0.825 **
蛋白钾 Protein-K	0.514	0.785 *	0.083	-0.805 **
非蛋白钾 Non-protein-K	0.475	0.602	0.785 *	-0.689
氨基酸 Amino acid	1	0.613	0.271	-0.111
维生素 C Vitamin C		1	0.738 *	-0.862 **
还原糖 Sugar			1	0.660
硝酸盐 Nitrate				1

\* :  $p < 0.05$ , \*\* :  $p < 0.01$ ;  $n = 8$

### 3 结 论

田间试验条件下,施用两种钾肥均使甘蓝生物产量和商品产量显著和极显著提高,以中量硫酸钾和泥炭配合施用(K<sub>2</sub>(S) + M)增幅最大(达20.2%);不同钾肥处理的增产效果均以中量水平最优,相同施用量下两种钾肥增产效果没有显著差异,但增产幅度以硫酸钾大于氯化钾,从肥料成本看以氯化钾具有优势。不同钾肥处理使甘蓝氨基酸和还原糖含量增加,相同用量下硫酸钾提高氨基酸含量显著优于氯化钾,两种钾肥对甘蓝维生素 C 和硝酸盐含量有一定程度的降低。各施钾处理均提高甘蓝矿质元素含量(Zn 除外),铁、锰含量增幅最大;氯化钾有利于甘蓝铜含量增加,而硫酸钾则更有利于提高钙、铁、锰含量。甘蓝各营养元素形态中,均以非蛋白态为主,其所占比例以非蛋白钾 > 非蛋白磷 > 非蛋白氮。各钾肥处理对氮、磷形态效应不一致,对 3 种钾形态均有提高。各营养元素形态与甘蓝硝酸盐和营养品质关系密切,与氮磷相比,钾素形态与甘蓝品质间的关系更为密切。甘蓝

的钾肥效率均随钾肥用量增加明显下降,可能与钾肥施用量增幅大(倍增)有关。综合各指标效应结果得出,甘蓝适宜的钾肥品种为氯化钾,适宜施用量为 K<sub>2</sub>O 225 kg hm<sup>-2</sup>。

### 参 考 文 献

- [1] 张德纯,刘肃,钱洪. 浅析我国蔬菜产品安全质量标准. 中国农业科技导报, 2002, 4(5): 15—19. Zhang D C, Liu S, Qian H. Evaluation of quality safety standard of vegetable product in China (In Chinese). Review of China Agricultural Science and Technology, 2002, 4(5): 15—19
- [2] 张恩平,张淑红,李天来,等. 蔬菜钾素营养的研究现状与展望. 中国农学通报, 2005, 21(8): 265—268. Zhang E P, Zhang S H, Li T L, et al. Advance of research on potassium nutrition (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(8): 265—268
- [3] 王桂良,黄玉芳,叶优良. 不同钾肥品种和用量对甘蓝产量、品质和养分吸收利用的影响. 中国蔬菜, 2009(20): 40—45. Wang G L, Huang Y F, Ye Y L. Effects of different K source and applying dosage on yield, quality and nutrient absorption on cabbage (In Chinese). China Vegetables, 2009(20): 40—45
- [4] Drinkwater L E, Snapp S S. Nutrients in agroecosystems: Rethinking the management paradigm. Advances in Agronomy, 2007,

- 92: 163—186
- [ 5 ] 王毅, 武维华. 植物钾营养高效分子遗传机制. 植物学报, 2009, 44(1): 27—36. Wang Y, Wu W H. Molecular genetic mechanism of high efficient potassium uptake in plants (In Chinese). Chinese Bulletin of Botany, 2009, 44(1): 27—36
- [ 6 ] 常丽新. 钾肥在小白菜和萝卜上的施用效果. 中国蔬菜, 2002(1): 16—17. Chang L X. Effect of potash on growth and yield and quality of *Brassica chinensis* and *Raphanus sativus* (In Chinese). China Vegetables, 2002(1): 16—17
- [ 7 ] 王恒, 金圣爱, 李俊良, 等. 山东寿光日光温室番茄磷钾肥效研究. 中国蔬菜, 2009(8): 48—53. Wang H, Jin S A, Li J L, et al. Studies on P and K fertilizer effects in tomato greenhouse in Shouguang City of Shandong Province (In Chinese). China Vegetables, 2009(8): 48—53
- [ 8 ] 郭熙盛, 吴礼树, 朱宏斌, 等. 不同钾肥品种和用量对花椰菜产量和品质的影响. 植物营养与肥科学报, 2007, 13(3): 464—471. Guo X S, Wu L S, Zhu H B, et al. Effects of different types and rates of potassium fertilizer on yield and quality of cauliflower (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(3): 464—471
- [ 9 ] 王小晶, 王正银, 赵欢, 等. 钾肥对大白菜和茼蒿产量、重金属和硝酸盐含量的影响. 中国蔬菜, 2011(10): 64—68. Wang X J, Wang Z Y, Zhao H, et al. Effects of potash fertilizer on yields, contents of heavy metal and nitrate in Chinese cabbage and lettuce (In Chinese). China Vegetables, 2011(10): 64—68
- [ 10 ] Fawzy Z F, El-Nemr M A, Saleh S A. Influence of levels and, methods of potassium fertilizer application on growth and yield of eggplant. Journal of Applied Sciences Research, 2007, 27(1): 42—49
- [ 11 ] Ali H A, Taalab A S. Effect of natural and/or chemical potassium fertilizers on growth, bulbs yield and some physical and chemical constituents of onion (*Allium cepa*, L.). Research Journal of Agriculture and Biological Sciences, 2008, 208: 228—237
- [ 12 ] 郭熙盛, 刘才宇, 王文军, 等. 钾肥对洋葱产量、品质及养分吸收的影响. 中国蔬菜, 1999(2): 12—14. Guo X S, Liu C Y, Wang W J, et al. The effect of K fertilizer on the yield, qualities and nutrient uptake of onion (In Chinese). China Vegetables, 1999(2): 12—14
- [ 13 ] 詹长庚, 姜丽娜. 配施钾肥对改善番茄、西瓜、榨菜和红麻产品品质的影响. 浙江农业科学, 1990(2): 86—88. Zhan C G, Jiang L N. Effect of K on quality on tomato, watermelon mustard and kenaf (In Chinese). Journal of Zhejiang Agricultural Sciences, 1990(2): 86—88
- [ 14 ] 郭熙盛, 朱宏斌, 王文军, 等. 不同氮钾水平对结球甘蓝产量和品质的影响. 植物营养与肥科学报, 2004, 10(2): 161—166. Guo X S, Zhu H B, Wang W J, et al. Effects of different rates of nitrogen and potash on yield and quality of cabbage (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2004, 10(2): 161—166
- [ 15 ] 冉烈, 李会合. 不同钾肥用量对莴笋产量和品质的效应. 中国农学通报, 2010, 26(5): 142—145. Ran L, Li H H. Effect of different potassium fertilizer amount on yield and quality of lettuce (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(5): 142—145
- [ 16 ] 王千, 依艳丽, 张淑香. 不同钾肥对番茄幼苗酚类物质代谢作用的影响. 植物营养与肥科学报, 2012, 18(3): 706—716. Wang Q, Yi Y L, Zhang S X. Effects of different potassium on phenol metabolism of tomato seedlings (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2012, 18(3): 706—716
- [ 17 ] 杨丽梅, 方智远, 刘玉梅, 等. “十一五”我国甘蓝遗传育种研究进展. 中国蔬菜, 2011(2): 1—10. Yang L M, Fang Z Y, Liu Y M, et al. Advances of research on cabbage genetics and breeding during ‘The Eleventh Five-year Plan’ in China (In Chinese). China Vegetables, 2011(2): 1—10
- [ 18 ] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000, 212—279. Bao S D. Soil and agrochemical analysis (In Chinese). Beijing: China Agriculture Press, 2000: 212—279
- [ 19 ] Novoa R, Loomis R S. Nitrogen and plant production. Plant and Soil, 1981, 58: 177—204
- [ 20 ] 白厚义. 试验方法及统计分析. 北京: 中国林业出版社, 2005: 135—162. Bai H Y. Test methods and statistical analysis (In Chinese). Beijing: China Forestry Press, 2005: 135—162
- [ 21 ] Tabatabai M A, Stewart J W B, Schoenau J J. Sulfur in agriculture. Soil Science, 1988, 145(6): 462—463
- [ 22 ] 夏敏. 必需微量元素的生理功能. 微量元素与健康研究, 2003, 20(3): 41—42. Xia M. The biochemical and physiological action of trace element (In Chinese). Studies of Trace Elements and Health, 2003, 20(3): 41—42
- [ 23 ] 何志谦. 人类营养学. 北京: 人民卫生出版社, 2000: 262—279. He Z Q. Human nutrition (In Chinese). Beijing: People Health Press, 2000: 262—279
- [ 24 ] 武维华. 植物生理学. 北京: 科学出版社, 2005: 86—98. Wu W H. Plant physiology (In Chinese). Beijing: Science Press, 2005: 86—98
- [ 25 ] 狄彩霞, 李会合, 王正银, 等. 不同肥料组合对莴笋产量和品质的影响. 土壤学报, 2005, 42(4): 652—659. Di C X, Li H H, Wang Z Y, et al. Effects of fertilizer combination on yield and quality of lettuce (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(4): 652—659
- [ 26 ] 王正银. 作物施肥学. 重庆: 西南师范大学出版社, 1999: 242—290. Wang Z Y. Crop fertilization (In Chinese). Chongqing: Southwest Normal University Press, 1999: 242—290
- [ 27 ] Ni W H, Hardeter R. Influence of potassium fertilization on yield and quality of foliage vegetable crops. Pedosphere, 2001, 11(1): 77—82



## EFFECTS OF POTASSIUM FERTILIZER ON YIELD, QUALITY AND NUTRIENTS OF CABBAGE RELATIVE TO FORMULA OF THE FERTILIZER

Jin Kexu<sup>1</sup> Wang Zhengyin<sup>1\*</sup> Fan Chi<sup>1</sup> Liu Hui<sup>2</sup> He Deqing<sup>2</sup>

(1 College of Resources and Environmental Science, Southwest University, Chongqing 400716, China)

(2 Agricultural Technology Promotion Management Station of Shapingba, Chongqing 400030, China)

**Abstract** A field experiment was carried out using a cultivar of cabbage that suits the area of Chongqing for cultivation, to study effects of SOP and MOP on yield, quality and nutrients of cabbage, so as to provide a scientific basis for designing a reasonable K fertilizer application technique for production of hazard free cabbage. Results show that application of K fertilizer increased the yield, either biomass or commodity, of cabbage significantly by 4.32%~14.6%. The effects were the most significant in treatments moderate (K2) in K application rate, regardless of forms of potash, and the effects did not differ much between treatments the same in application rate, but different in potash form. But in terms of cost, potassium chloride was superior. K application increased the content of amino acids in cabbage in all the treatments, especially in Treatment K1(S), by 56.9%; decreased VC content in cabbage in all the treatments except for Treatment K2(Cl), which increased the content by 6.8%; reduced nitrate content in cabbage in all the treatments, particularly in Treatment K3(S), by as much as 12.3%; increased reduced sugar content in cabbage in all the treatments with Treatment K1(Cl) in particular; and mineral nutrients, except for Zn, in cabbage to a certain extent in all the treatments. The nutrients in the cabbage were mostly dominated with non-protein forms. Protein-N was significantly and negatively related with amino acid in content in cabbage in all the K treatments, while protein-P was reversely with amino acid, and non-protein-P was significantly and positively related with VC content. Compared with N and P, K, regardless of its form, was more closely related to the quality of cabbage. Total-K and protein-K was in a significantly positive relationship with VC content, but in a negative one with nitrate in the cabbage. To sum up, potassium chloride is a kind of K fertilizer more suitable for cabbage cultivation, preferably at 225 kg hm<sup>-2</sup>.

**Key words** Cabbage; Potassium sulfate; Potassium chloride; Yield; Quality

(责任编辑:卢萍)