

钾肥对大白菜和莴苣产量、重金属和硝酸盐含量的影响

王小晶¹ 王正银^{1*} 赵欢¹ 刘芳¹ 陈燕霞¹ 向华辉² 李戎²

(¹西南大学资源环境学院, 重庆 400716; ²重庆九龙坡区农林水电局, 重庆 400700)

摘要: 采用田间小区试验研究了酸性土壤上两种钾肥不同用量对大白菜和莴苣产量、重金属和硝酸盐含量的影响。结果表明: 施用两种钾肥均明显提高了大白菜和莴苣的产量, 分别增产 9.0 % ~ 20.0 % 和 8.7 % ~ 52.0 %, 增产作用最大的处理均为高钾处理 [30 kg · (667 m²)⁻¹]。中量硫酸钾配施泥炭 (K₂S+M) 处理较单施硫酸钾处理使大白菜和莴苣显著增产, 分别增产 14.6 % 和 12.1 %。施用钾肥明显降低了大白菜硝酸盐含量, 但对莴苣硝酸盐含量以提高作用为主, 且随着钾肥施用量的增加呈递减趋势。施用钾肥显著降低了大白菜砷和铅含量, 明显降低了莴苣铬含量, 对其它重金属的作用不一致。中量硫酸钾配施泥炭处理明显降低了大白菜和莴苣的重金属含量 (大白菜汞和莴苣镉除外), 提高了蔬菜的食用安全性。

关键词: 钾肥; 大白菜; 莴苣; 重金属; 硝酸盐

中图分类号: S634.1, S636.2 文献标识码: A 文章编号: 1000-6346 (2011) 10-0064-05

Effects of Potash Fertilizer on Yields, Contents of Heavy Metal and Nitrate in Chinese Cabbage and Lettuce

WANG Xiao-jing¹, WANG Zheng-yin^{1*}, ZHAO Huan¹, LIU Fang¹, CHEN Yan-xia¹, XIANG Hua-hui², LI Rong²

(¹College of Resources and Environmental Science, Southwest University, Chongqing 400716, China; ²Agricultural Bureau of Jiulongpo District in Chongqing, Chongqing 400700, China)

Abstract: Field experiments were carried out to study the effects of two kinds potash fertilizer with different dosages on yield, contents of heavy metal and nitrate in Chinese cabbage (*Brassica campestris* L. spp. *pekinensis*) and lettuce (*Lactuca sativa* L.) under acidic soil cultivation. Results indicated that two kinds potash fertilizers could significantly increase the yields of Chinese cabbage and lettuce, which reach 9.0 %–20.0 % and 8.7 %–52.0 %. And the maximum yield was at the high potassium level (450 kg · hm⁻²) for Chinese cabbage and lettuce. Combination of medium potassium sulfate and peat (K₂S+M) could markedly increase yields of two vegetables as compared with potassium sulfate which reach 14.6 % and 12.1 %. Potash fertilizers could significantly decrease nitrate content of Chinese cabbage as well improve the content of lettuce. Potash fertilizers could greatly decrease arsenic and lead content of Chinese cabbage as well chromium and lead of lettuce. The effects of potash fertilizers on other heavy metals in two

收稿日期: 2011-01-04; 接受日期: 2011-04-11

基金项目: 国际植物营养研究所 (IPNI) 项目 (Chongqing2008-05), 国家科技支撑计划项目 (2007BAD87B10)

作者简介: 王小晶, 女, 硕士研究生, 专业方向: 植物营养与品质, E-mail: crystalprincess86@163.com

* 通讯作者 (Corresponding author): 王正银, 教授, 博士生导师, 专业方向: 植物营养与品质、肥料资源利用, E-mail: wang_zhengyin@163.com

vegetables were discrepancy. Combination of potassium sulfate and peat could significantly decrease the heavy metals content (except mercury in Chinese cabbage and cadmium in lettuce) in two vegetables and improve their food safety.

Key words: Potash fertilizer; Chinese cabbage; Lettuce; Heavy metal; Nitrate

大白菜 (*Brassica campestris* L. spp. *pekinensis*) 和莴苣 (*Lactuca sativa* L.) 是我国南方地区广泛栽培和食用的蔬菜种类, 在大田生产中大白菜和莴苣产量和品质的提高与施肥的关系非常密切。重金属污染不仅影响作物的产量和品质, 并且通过食物链最终影响人类健康, 因此食品中重金属污染日益受到人们的重视。肥料的施用对植物生长和物质代谢有着广泛的影响, 不同土壤环境条件下, 尤其在农田生态系统中, 如何合理利用肥料与重金属的相互作用, 抑制土壤重金属危害, 成为近几年研究的热点 (Salah & Barrington, 2006)。迄今国内外对肥料不同形态以及肥料中阴、阳离子对土壤重金属的影响研究表明, 钾肥对土壤中重金属的影响主要表现在钾肥伴随阴离子影响重金属形态、吸附解吸过程及其生物有效性等方面 (刘平, 2006); 施用有机肥增加了土壤对重金属的吸附能力, 减少植物对重金属的吸收, 是因为有机肥中存在大量官能团和较大比表面积, 可促进土壤中重金属离子与其形成重金属有机络合物 (孟宪民, 2005)。钾是植物生长所必需的营养元素之一, 同时施用钾肥也是重要的农业增产措施之一, 研究表明施用钾肥能增加作物产量, 但涉及有关平衡施肥及有机肥料对蔬菜品质特别是卫生品质重金属等的影响报道较少, 本试验研究了不同钾肥及其施用水平对大白菜和莴苣产量、硝酸盐和重金属含量的影响, 旨在为发展安全优质蔬菜生产的科学施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤为侏罗纪遂宁组母质发育的酸化紫色菜园土, 基本养分状况: 种植大白菜土壤, pH (H₂O) 5.01, 有机质含量 26.1 g · kg⁻¹, 碱解氮 110 mg · kg⁻¹, 有效磷 53.5 mg · kg⁻¹, 速效钾 170 mg · kg⁻¹; 种植莴苣土壤, pH (H₂O) 4.40, 有机质含量 21.9 g · kg⁻¹, 碱解氮 124 mg · kg⁻¹, 有效磷 64.5 mg · kg⁻¹, 速效钾 156 mg · kg⁻¹。供试大白菜品种为华良早 5 号, 莴苣品种为四川白甲。供试肥料为尿素 (N,

46%)、磷酸一铵 (N, 10%; P₂O₅, 40%)、氯化钾 (K₂O, 60%)、硫酸钾 (K₂O, 52%)、泥炭 (全 N 1.46%, 全 P 0.316%, 全 K 0.245%)。供试土壤和肥料的毒性重金属含量见表 1, 除大白菜土壤全镉外, 其余均在国家土壤环境质量二级标准 GB 15612—1995 规定的范围内。

1.2 试验方法

田间小区试验于 2008 年 3~10 月在重庆市九龙坡区含谷镇蔬菜基地进行, 其中 3 月 4 日~5 月 16 日进行大白菜试验, 8 月 10 日~10 月 24 日进行莴苣试验。设 8 个处理: 以不施钾肥为对照 (K₀); 氯化钾 3 个用量 (以 K₂O 计) 5 (K₁C)、15 (K₂C)、30 (K₃C) kg · (667 m²)⁻¹; 硫酸钾 3 个用量 (以 K₂O 计) 5 (K₁S)、15 (K₂S)、30 (K₃S) kg · (667 m²)⁻¹; 硫酸钾 (以 K₂O 计) + 泥炭=15+150 kg · (667 m²)⁻¹ (K₂S+M) (表 2)。8 个处理各施用氮和磷 (P₂O₅) 20、10 kg · (667 m²)⁻¹。4 次重复, 随机排列, 小区面积 6 m² (长 4 m、宽 1.5 m)。根据试验处理将氯化钾、硫酸钾、

表 1 供试土壤和肥料的毒性重金属含量 mg · kg⁻¹

供试材料	全铅	全砷	全铬	全镉	全汞
大白菜土壤	37.65	3.436	51.68	0.338	0.070
莴苣土壤	31.04	2.550	42.03	0.225	0.055
国家标准	100	40	150	0.30	0.30
氯化钾	2.40	0.032	13.85	0.360	0.036
硫酸钾	8.78	0.235	12.15	0.288	0.006
泥炭	10.03	17.580	56.70	0.463	0.046
磷酸一铵	36.30	29.660	67.39	0.638	0.006
国家标准	100	30	300	3	5

泥炭、磷酸一铵一次性施入土壤,其余氮肥(尿素)分2次追施。大白菜每小区栽90株,莴苣每小区栽66株,正常田间管理。收获时测定产量(莴苣生长期短,产量主要是叶片,茎产量比例很小),采集可食部分用去离子水冲洗,随机取样烘干,测定重金属含量。

1.3 测定方法

重金属含量用硝酸-高氯酸消化、原子吸收分光光度法测定(鲁如坤,1999),硝酸盐含量采用紫外分光光度法测定(鲁如坤,1999)。

采用新复极差法(SSR检验法)进行数据统计分析(白厚义和肖俊璋,1998)。

2 结果与分析

2.1 钾肥对大白菜和莴苣产量的影响

2.1.1 大白菜 两种钾肥不同施用水平对大白菜产量的影响规律相似,即随着钾肥用量的增加大白菜产量也明显增加,同一施钾水平下两种钾肥的增产作用近似(表2)。表明在土壤有效钾含量较高的酸性土壤上增施钾肥是提高大白菜产量的重要农业措施,以高钾水平 K_3C [$30 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$] 的增产作用最大,而且硫酸钾和氯化钾均是大白菜适宜施用的钾肥。在各处理中,中量硫酸钾和泥炭配合处理(K_2S+M)提高大白菜产量的作用最大,较单施硫酸钾增产14.6%,表明在酸性土壤中钾肥配合优质有机肥料施用能充分发挥大白菜的增产潜力,提高这两种肥料的复合效应。

2.1.2 莴苣 两种钾肥对莴苣的产量效应与大白菜相同,随着钾肥用量的增加莴苣产量呈增长趋势,且两种钾肥的作用趋势一致(表2)。硫酸钾和氯化钾都是莴苣适宜施用的钾肥,均以高钾水平 [$30 \text{ kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$] 对莴苣的增产效果最好。各处理中,中量硫酸钾配施泥炭处理提高莴苣产量的作用最大,较单施硫酸钾增产12.1%。

2.2 钾肥对大白菜和莴苣硝酸盐含量的影响

2.2.1 大白菜 由表2可知,各处理中除低量硫酸钾处理 K_1S 外,其余施钾处理均降低了大白菜的硝酸盐含量,并以高量氯化钾处理 K_3C 的降低作用最大(21.6%)。高量氯化钾、中量硫酸钾和增施泥炭处理均能明显降低大白菜中硝酸盐含量,使大白菜硝酸盐含量控制在国家规定的无公害叶菜的标准 [$3000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (FW)] 范围内(王正银,2009)。

2.2.2 莴苣 两种钾肥除低量施用处理外,其余各处理莴苣硝酸盐含量均小于 $2000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (FW),属于安全蔬菜范围(王正银,2009)。莴苣硝酸盐含量随钾肥用量的增加而逐渐降低,但与大白菜不同,中量硫酸钾配施泥炭处理显著提高了莴苣硝酸盐含量(表2)。因此,在莴苣大田生产上不能为了提高产量而过量施用钾肥,以保障蔬菜的食用安全性。

2.3 钾肥对大白菜和莴苣重金属含量的影响

2.3.1 大白菜 由表3可见,除中量硫酸钾和硫酸钾配施泥炭处理降低了大白菜铬含量外,其余

表2 不同钾肥处理对大白菜和莴苣产量及硝酸盐含量的影响 (FW)

蔬菜种类	处理	产量		硝酸盐	
		$\text{kg} \cdot (667 \text{ m}^2)^{-1}$	比CK ±%	$\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	比CK ±%
大白菜	K_0 (CK)	4 062 ± 42.1 d	—	3 175	—
	K_1C	4 502 ± 34.9 bc	+10.8	3 060	-3.6
	K_2C	4 674 ± 62.1 bc	+15.1	2 959	-6.8
	K_3C	4 873 ± 60.7 b	+20.0	2 489	-21.6
	K_1S	4 426 ± 62.8 cd	+9.0	3 283	+3.4
	K_2S	4 646 ± 27.7 bc	+14.4	2 633	-17.1
	K_3S	4 819 ± 57.8 bc	+18.6	2 954	-7.0
	K_2S+M	5 324 ± 66.7 a	+31.1	2 760	-13.1
莴苣	K_0 (CK)	5 829 ± 38.4 g	—	1 744	—
	K_1C	6 335 ± 124.2 fg	+8.7	2 075	+19.0
	K_2C	6 840 ± 86.4 ef	+17.3	1 774	+1.7
	K_3C	7 345 ± 128.3 de	+26.0	1 700	-2.5
	K_1S	7 850 ± 91.8 cd	+34.7	2 102	+20.5
	K_2S	8 355 ± 62.4 bc	+43.3	1 922	+10.2
	K_3S	8 860 ± 92.8 ab	+52.0	1 866	+7.0
	K_2S+M	9 365 ± 22.7 a	+60.7	2 154	+23.5

注:表中同列数据后不同小写字母表示差异显著($\alpha=0.05$),下表同。

各处理均提高了大白菜铬含量, 并以低量氯化钾处理的作用更显著; 同一施钾水平下, 硫酸钾降低大白菜铬含量的作用优于氯化钾。除 K_1C 、 K_1S 和 K_2S 处理提高大白菜镉含量外, 其余各处理均显著降低了大白菜镉含量, 且随着钾肥用量的增加, 大白菜镉含量逐渐降低。施用钾肥各处理均显著降低了大白菜砷含量, 降幅达 14.2% ~ 30.1%; 随着氯化钾施用量的增加大白菜砷含量呈先下降后上升的趋势, 随着硫酸钾施用量的增加大白菜砷含量逐渐降低。各施肥处理均使大白菜汞含量显著增加, 但都远远低于国家规定的农产品安全质量无公害蔬菜重金属限量标准 (GB 18406.1—2001); 同一施钾水平下, 硫酸钾的作用大于氯化钾, 并以中量硫酸钾 K_2S 处理的提高作用最大, 达 61.7%。施用钾肥各处理均显著降低了大白菜铅含量, 降幅为 10.1% ~ 44.0%, 并以低量氯化钾 K_1C 和高量硫酸钾 K_3S 处理的降低作用最大, 分别达 40.5% 和 44.0%。除汞外, 增施有机肥均显著降低了大白菜铬、镉、砷和铅含量。

2.3.2 莴苣 由表 3 可见, 各施钾肥处理均降低了莴苣铬含量, 氯化钾各施用量间效果差异较明显, 硫酸钾各施用量间效果差异不明显。除中量硫酸钾 K_2S 处理外, 各施钾肥处理均显著提高了莴苣镉含量, 增幅为 9.7% ~ 75.1%。各施钾肥处理中仅中量氯化钾 K_2C 处理显著降低了莴苣砷含量, 高量施钾的两个处理 K_3C 、 K_3S 的提高作用最显著; 两种钾肥均随着施用量的增加莴苣砷含量呈先下降后上升的趋势。除低量氯化钾 K_1C 和硫酸钾配施泥炭 K_2S+M 处理外, 其余各施钾处理均使莴苣汞含量明显增加, 同一施钾水平下硫酸钾的作用大于氯化钾, 并以中量硫酸钾 K_2S 处理的提高作用最大, 达 78.9%。除高量氯化钾 K_3C 处理外, 其余各处理均降低了莴苣铅含量。除镉外, 增施有机肥均降低了莴苣铬、砷、汞和铅含量。

表 3 不同钾肥处理对大白菜和莴苣重金属含量的影响

蔬菜种类	处理	铬		镉		砷		汞		铅	
		$mg \cdot kg^{-1}$	比 CK $\pm \%$	$mg \cdot kg^{-1}$	比 CK $\pm \%$	$mg \cdot kg^{-1}$	比 CK $\pm \%$	$mg \cdot kg^{-1}$	比 CK $\pm \%$	$mg \cdot kg^{-1}$	比 CK $\pm \%$
大白菜	K_0 (CK)	0.201 d	—	0.013 9 b	—	0.004 85 a	—	0.000 410 e	—	0.168 a	—
	K_1C	0.251 a	+24.9	0.014 4 ab	+3.6	0.003 48 de	-28.2	0.000 479 d	+16.8	0.100 f	-40.5
	K_2C	0.219 b	+9.0	0.013 2 c	-5.0	0.003 39 e	-30.1	0.000 568 b	+38.5	0.118 d	-29.8
	K_3C	0.219 b	+9.0	0.012 1 d	-12.9	0.004 12 b	-15.1	0.000 496 cd	+21.0	0.113 e	-32.7
	K_1S	0.207 cd	+3.0	0.014 8 a	+6.5	0.004 16 b	-14.2	0.000 555 b	+35.4	0.146 c	-13.1
	K_2S	0.174 e	-13.4	0.014 5 ab	+4.3	0.004 13 b	-14.8	0.000 663 a	+61.7	0.144 c	-14.3
	K_3S	0.210 c	+4.5	0.012 0 d	-13.7	0.003 59 cd	-26.0	0.000 505 c	+23.2	0.094 g	-44.0
	K_2S+M	0.127 f	-36.8	0.010 9 e	-21.6	0.003 65 e	-24.7	0.000 486 d	+18.5	0.151 b	-10.1
莴苣	K_0 (CK)	0.130 a	—	0.018 5 f	—	0.002 71 d	—	0.001 71 e	—	0.196 b	—
	K_1C	0.105 e	-19.2	0.024 7 b	+33.5	0.002 67 d	-1.5	0.001 89 d	-10.5	0.170 d	-13.3
	K_2C	0.124 b	-4.6	0.021 7 cd	+17.3	0.002 48 e	-8.5	0.002 09 c	+22.2	0.178 c	-9.2
	K_3C	0.128 ab	-1.5	0.032 4 a	+75.1	0.003 41 a	+25.8	0.001 75 e	+2.3	0.210 a	+7.1
	K_1S	0.109 de	-16.2	0.022 6 c	+22.2	0.002 96 c	+9.2	0.002 36 b	+38.0	0.190 b	-3.1
	K_2S	0.117 c	-10.0	0.016 8 g	-9.2	0.002 73 d	+0.7	0.003 06 a	+78.9	0.146 g	-25.5
	K_3S	0.112 d	-13.8	0.020 3 e	+9.7	0.003 18 b	+17.3	0.002 09 c	+22.2	0.154 f	-21.4
	K_2S+M	0.113 cd	-13.1	0.020 9 de	+13.0	0.002 66 d	-1.8	0.001 58 f	-7.6	0.162 e	-17.3
	国家标准		≤ 0.5		≤ 0.05		≤ 0.5		≤ 0.01		≤ 0.2

3 结论与讨论

3.1 钾肥对酸性土壤大白菜和莴苣的增产作用

本试验是在酸性土壤田间条件下进行的, 结果显示在相同环境下氯化钾比硫酸钾提高大白菜产量的效果更好, 其原因可能是施用氯化钾可以提高土壤的 pH 值 (王林等, 2008), 在酸性土壤中, 土壤 pH 值的提高更有利于植物的生长和生物量 (产量) 的增加。大白菜和莴苣的产量与钾肥施用量同步增长, 在施用钾肥 (硫酸钾) 的基础上配合施用优质有机肥料泥炭, 可使大白菜

和莴苣增产30%以上,表明在有机质和有效钾含量中上水平的酸性和强酸性土壤中,钾肥配合有机肥料施用充分发挥了两类肥料的增产潜力。

3.2 钾肥对大白菜和莴苣硝酸盐的作用

蔬菜尤其是叶类蔬菜是一类高积累硝酸盐的植物,硝酸盐含量作为蔬菜的卫生品质是因其人体内存存在着潜在健康风险。大白菜和莴苣吸收的氮素以硝态氮为主,硝态氮对大白菜和莴苣生长发育以及产量品质有重要影响(陈巍等,2004)。在本试验中,施用钾肥降低了大白菜硝酸盐含量,这可能与大白菜产量很高、施钾提高产量有关。Terman和Allen(1978)、Breimer(1982)的研究认为,硝酸盐含量的差异主要是由于植株生物量及生长速率的差异造成的,这是增施钾肥能普遍降低蔬菜硝酸盐含量的一个重要原因。钾肥与有机肥配施大幅度提高了大白菜产量,同时有机肥能促进土壤反硝化过程,从而有效地降低土壤中硝态氮含量,减少了大白菜对硝态氮的吸收和累积。本试验各施钾处理没有降低莴苣硝酸盐含量,推测可能是土壤酸度大,不适宜莴苣生长,以致莴苣产量低,对硝酸盐产生了浓缩效应。

3.3 钾肥对大白菜和莴苣重金属的作用

本试验条件下,除高量氯化钾处理莴苣铅含量外,其余各处理大白菜和莴苣中重金属含量均低于国家规定的限量标准。在相同施肥条件下,大白菜中铬含量普遍高于莴苣,一方面是因为大白菜土壤中铬含量高于莴苣土壤,另一方面是不同作物对铬的富集程度不同。莴苣中镉和铅的含量明显高于大白菜,主要原因是供试大白菜土壤的pH值比供试莴苣土壤高0.6个单位。廖敏等(1999)的研究表明,在pH<6的土壤中,pH值每增加0.5个单位镉的吸附能力就增加一倍。在相同施肥条件下,土壤中水溶性铅的浓度同样也受到pH值制约。两种蔬菜的砷含量均较低,远远低于国家规定的安全标准范围。自然环境中汞的本底值不高,本试验中两种供试土壤中汞含量远远低于国家规定的限量标准,所以各处理大白菜和莴苣中汞含量均在国家规定的食用安全限量标准内。

参考文献

- 白厚义,肖俊璋. 1998. 试验研究及统计分析. 西安:世界图书出版社:120-128.
- 陈巍,罗金葵,姜慧梅,沈其荣. 2004. 不同形态氮素比例对不同小白菜品种生物量和硝酸盐含量的影响. 土壤学报, 41(3): 420-425.
- 廖敏,黄昌勇,谢正苗. 1999. pH对镉在土水系统中的迁移和形态的影响. 环境科学学报, 19(2): 81-86.
- 刘平. 2006. 钾肥伴随阴离子对土壤铅和镉有效性的影响及其机制[博士论文]. 北京:中国农业科学院.
- 鲁如坤. 1999. 土壤农业化学分析方法. 北京:中国农业科技出版社:106-489.
- 孟宪民. 2005. 泥炭绿色环保肥料的发展与创新. 腐殖酸, 105(3): 5-10.
- 王林,周启星,孙约兵. 2008. 氮肥和钾肥强化龙葵修复镉污染土壤. 中国环境科学, 28(10): 915-920.
- 王正银. 2009. 蔬菜营养与品质. 北京:科学出版社:100-104.
- Breimer T. 1982. Environmental factors and cultural measures affecting the nitrate in spinach. Fertilizer Research, 3(3): 191-192.
- Salah S A, Barrington S F. 2006. Effect of soil fertility and transpiration rate on young wheat plants (*Triticum aestivum*) Cd/Zn uptake and yield. Agricultural Water Management, 82: 177-192.
- Terman G L, Allen S E. 1978. Crop yield-nitrate-N, total N, and total K relationship: leafy vegetables. Commun Soil Sci Plant Anal, 9: 813-825.