

钾肥用量和品种对桑叶生产及蚕茧质量的影响*

鲁剑巍 陈 防[†] 万运帆 吴 恢 刘冬碧 Rolf Härdter

(华中农业大学资源与环境学院, 武汉 430070)

(中国科学院武汉植物园, 武汉植物研究所, 武汉 430074)

(中国农业科学院气象研究所, 北京 100081)

(湖北省农业科学院果茶蚕业研究所, 武汉 430064)

(湖北省农业科学院植保土肥研究所, 武汉 430064)

(国际钾肥研究所, 瑞士 巴士尔)

摘 要 通过为期 4 年的田间施肥试验和 1 季养蚕试验, 研究了钾肥用量和钾肥品种对桑叶产量、品质、养分吸收和蚕茧质量的影响。结果表明, 施 K_2O 150、300、375 $kg\ hm^{-2}\ a^{-1}$ 处理分别比不施 K 肥年均增产桑叶 23.9%、31.7%、36.0%; 等量钾肥时, KCl 对桑叶增产效果基本等同于 K_2SO_4 ; 施钾增产效果有逐年增加趋势, 同时钾肥施用表现后效。施钾明显提高桑叶中 N、K 和 S(K_2SO_4 为钾源时) 含量, 而降低 Ca、Mg 和 Zn 含量, 对 P 含量影响不大。结果显示, 钾肥施用大幅度促进了桑树对各种养分的吸收, 从而提高了肥料利用率。施钾明显促进桑叶品质的改善, 随着钾肥用量增加, 桑叶中必需氨基酸、氨基酸总量、蛋白质、糖分和油脂含量均呈增加趋势。KCl 施用也能提高桑叶品质, 但效果比 K_2SO_4 差。蚕茧质量测试结果表明, 桑树施钾后对喂养的蚕茧品质产生正面影响, 蚕重、全茧量、上茧率、茧丝长、解舒率、茧丝净度等指标均因施钾而提高, 高量钾比低量钾效果好, 在等量钾用量时 K_2SO_4 对蚕茧质量的促进作用明显好于 KCl。

关键词 钾肥; 桑叶; 蚕茧; 产量; 品质; 矿质养分; 平衡施肥

中图分类号 S888, S143 文献标识码 A

我国是丝绸大国, 蚕茧产量和生丝产量居世界首位, 但近年来我国丝绸产品在国际市场竞争力下降, 严重影响了全行业的经济效益^[1]。为了确保我国丝绸大国的地位, 使我国蚕桑业走持续发展之路, 必须提高丝产品质量, 提高单位面积经济效益, 使之在国际上有市场, 在国内与其他行业比有竞争力, 从根本上确立我国丝绸产品在国际丝绸市场的优势^[2,3]。提高桑叶产量, 是发展蚕桑丝绸事业的基础, 而经营好桑园又是桑叶丰产的根本。土壤是桑树生存的基础, 不同土壤、不同施肥方法及不同肥料品种会直接影响桑树对矿质营养成分的吸收量及各元素间的比例, 进而影响桑叶的产量及品质^[4], 又因为桑叶基本上是家蚕的惟一饲料, 桑叶质量的优劣直接影响茧丝的质量^[5], 另外桑叶的产量高低也直接影响单位面积的经济效益, 所以利用各种农艺措

施提高桑园桑叶的产量、质量是增强产业竞争力的根本所在。湖北省的桑园主要集中在鄂东大别山区, 根据初步调查分析, 发现其环境条件差、土壤肥力低, 另外肥料使用不科学, 包括施肥盲目(如未根据土壤养分状况和桑树需肥规律决定肥料品种和数量)、蚕农长期偏施氮肥、部分偏施磷肥、忽视钾和微量元素投入、施肥方法不当(主要是时期和深度不当)等, 造成土壤营养元素缺乏和不平衡, 氮磷肥利用率低, 致使桑叶产量低、质量差, 全省平均单位面积桑园蚕茧生产能力比全国平均低 40% 左右, 不及浙江、广东、广西的 1/2, 与日本相比则更低, 许多桑园的年产叶量仅 15 $t\ hm^{-2}$ 左右, 导致经济效益较低, 从而严重制约了本省蚕桑生产的发展^[6,7]。因此, 研究桑园养分状况、因地制宜地推广桑园平衡施肥技术是当务之急。

* 国际钾肥研究所 (IPI) 和湖北省重点科研项目(编号: 2001AA201C09) 资助

[†] 通讯作者, E-mail: fchenppi@public.wh.hb.cn

作者简介: 鲁剑巍(1967~), 男, 博士, 副教授, 从事作物营养与平衡施肥科研和教学工作

收稿日期: 2003-09-23; 收到修改稿日期: 2004-02-05

近年来,我们对桑园养分状况及平衡施肥配套技术进行了系列研究,本文是该研究的部分结果,主要探讨钾肥用量及钾肥品种对桑叶产量、品质及蚕茧质量的影响,为桑园科学施钾提供依据。

1 材料与方法

1.1 桑树施肥田间试验

田间试验布置在湖北省蚕桑主产区罗田县,试验地处于大别山主峰天堂山南麓的九资河镇汪家畈村,为该村老桑园。试验地海拔 900 m 左右,供试土壤为花岗片麻岩发育的山地黄棕壤,质地偏砂,养分较瘠薄,具体养分状况如下: pH6.2(水浸提,水土比 2.5:1),有机质 8.7 g kg⁻¹,全氮(N) 0.521 g kg⁻¹,全磷(P₂O₅) 2.73 g kg⁻¹,全钾(K₂O) 32.4 g kg⁻¹,缓效钾(K) 395.0 mg kg⁻¹,速效氮(碱解氮,N) 70.7 mg kg⁻¹,速效磷(P) 8.6 mg kg⁻¹,速效钾(K) 45.0 mg kg⁻¹,有效硫(S) 16.2 mg kg⁻¹,有效氯(Cl) 3.8 mg

kg⁻¹,阳离子代换量(CEC) 8.94 cmol kg⁻¹。

供试桑树品种为湖桑 7 号,1995 年栽植,密度为 12 000 株 hm⁻²。田间施肥试验起止时间为 1999 年 3 月~2002 年 11 月。

试验设计 5 个施肥处理,4 个施钾水平(分别以 K1、K2、K3、K4 表示),2 个钾肥品种(K₂SO₄ 和 KCl),具体方案见表 1。除钾肥在各处理中不同外,其他养分施用各处理均相同,各肥料具体用量分别为: N, 300 kg hm⁻² a⁻¹; P₂O₅, 75 kg hm⁻² a⁻¹; ZnSO₄·H₂O, 30 kg hm⁻² a⁻¹; 硼砂, 15 kg hm⁻² a⁻¹。N 肥品种为尿素, P 肥用钙镁磷肥。肥料施用方法: 钾肥各时期用量见表 1; 氮肥(N) 春季施用 100 kg hm⁻², 夏季施用 125 kg hm⁻², 秋季施用 75 kg hm⁻²; 磷肥、锌肥和硼肥全部在春季施用。春季肥料在两行桑树间离桑树 40 cm 处挖 20 cm 深沟条施后覆土, 夏季和秋季肥料在离桑树 25~30 cm 处挖 20 cm 左右穴, 施肥后覆土。田间试验小区面积 30 m², 4 次重复, 随机区组排列。

表 1 田间试验方案

Table 1 Design of field trial

处理 Treatment	K ₂ O 用量 K ₂ O rate (kg hm ⁻² a ⁻¹)	钾肥品种 K source	施钾时期和用量 K application time and rate (K ₂ O, kg hm ⁻²)		
			春季(3月上旬) Early March	夏季(6月上旬) Early June	秋季(8月上旬) Early August
			K1	0	—
K2(-S)	150	K ₂ SO ₄	150	0	0
K3(-S)	300	K ₂ SO ₄	150	150	0
K4(-S)	375	K ₂ SO ₄	150	150	75
K4(-Cl)	375	KCl	150	150	75

1.2 桑叶养蚕试验

养蚕试验于施肥试验的第 4 年即 2002 年 7 月上旬在试验农户汪芝兰家养蚕室进行,供试夏蚕品种为湖北省农业科学院蚕业研究所选育的“黄鹤-朝霞”。用相应施肥处理的桑叶喂蚕,每小区养蚕 500 头,4 次重复。蚕的管理除桑叶来源不同外,其他管理措施各处理均相同。待桑蚕成蛹化茧后,养蚕试验结束。

1.3 观察及测定内容和方法

土壤养分的测定方法为常规方法^[8],由湖北省农业科学院植保土肥研究所分析室完成。

桑叶产量为小区实收鲜产量。每年分 3 次收获,分别在 5 月中下旬(养春蚕)、7 月中下旬(养夏蚕)和 10 月上中旬(养秋蚕)。

2001 年(施肥试验进行的第三年)对春季桑叶

的养分(N、P、K、Ca、Mg、S、Zn、B)含量和品质(包括蛋白质、糖分、油脂、氨基酸含量)进行测定。养分含量用常规方法^[8],蛋白质用开氏法,糖分用盐酸水解-铜还原直接滴定法,油脂用索氏提取法,氨基酸用氨基酸分析仪法^[9]。桑叶养分含量和品质分析由农业部食品质量测试中心(武汉)完成。

茧丝品质测定项目有全茧量、上茧率、茧丝长、解舒率、茧丝净度。茧丝品质由湖北省农业科学院果茶蚕业研究所完成,测定方法为常规方法^[10]。

2 结果与分析

2.1 钾肥用量及品种对桑叶产量的影响

通过连续 4 年试验,桑叶产量结果表明(表 2),

桑树施钾能显著提高桑叶产量,且具有随着施钾年限的延长桑叶产量的增加量不断提高的趋势。从4年的平均产量结果看,施钾(以 K_2O 计,钾肥品种为 K_2SO_4) 150 kg hm^{-2} (K2水平,下同)、 300 kg hm^{-2} (K3水平,下同)和 375 kg hm^{-2} (K4水平,下同)分别平均增产桑叶 $4\ 712\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 、 $6\ 251\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$ 和

$7\ 093\text{ kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$,即桑叶产量随着钾肥用量的增加而提高,但K3水平与K4水平对桑叶总产量的影响效果差异不显著。结果还显示,在同等钾肥用量时,尽管 K_2SO_4 施用效果比 KCl 好,4年平均分别比不施钾对照增产 36.0% 和 33.6% ,但二者的差异也不显著(表2)。

表2 钾肥对不同年度和不同收获季节桑叶产量的影响(鲜重)

Table 2 Effect of application rate and form of K fertilizer on mulberry leaf yield in different harvest seasons and years

年度 Year	处理 Treatment	春季 Spring (kg hm^{-2})		夏季 Summer (kg hm^{-2})		秋季 Autumn (kg hm^{-2})		全年 All year ($\text{kg hm}^{-2}\text{ a}^{-1}$)	
		鲜重	相对值	鲜重	相对值	鲜重	相对值	鲜重	相对值
		FW	Index	FW	Index	FW	Index	FW	Index
1999	K1	5 537 b	100	6 876 d	100	4 061 b	100	16 474 c	100
	K2(- S)	6 574 a	118.7	8 422 c	122.5	4 201 b	103.4	19 197 b	116.5
	K3(- S)	6 525 a	117.8	9 334 b	135.7	5 410 a	133.2	21 269 a	129.1
	K4(- S)	6 383 a	115.3	10 049 a	146.1	5 344 a	131.6	21 776 a	132.2
	K4(- Cl)	6 774 a	122.3	8 954 bc	130.2	5 456 a	134.4	21 184 a	128.6
2000	K1	9 090 c	100	8 183 d	100	2 879 c	100	20 152 c	100
	K2(- S)	10 902 b	119.9	10 555 bc	129.0	3 918 ab	136.1	25 375 b	125.9
	K3(- S)	12 700 a	139.7	10 188 c	124.5	3 184 bc	110.6	26 072 b	129.4
	K4(- S)	12 066 ab	132.7	11 370 a	138.9	3 539 b	122.9	26 975 ab	133.9
	K4(- Cl)	12 603 a	138.6	10 757 b	131.5	4 211 a	146.3	27 571 a	136.8
2001	K1	9 261 c	100	6 502 d	100	4 367 c	100	20 130 c	100
	K2(- S)	11 775 b	127.1	8 018 c	123.3	5 844 b	133.8	25 637 b	127.4
	K3(- S)	12 666 a	136.8	9 537 a	146.7	6 170 a	141.3	28 373 a	140.9
	K4(- S)	13 038 a	140.8	9 046 b	139.1	5 736 b	131.3	27 820 a	138.2
	K4(- Cl)	12 201 ab	131.7	9 179 b	141.2	6 089 a	139.4	27 469 a	136.5
2002	K1	8 866 c	100	7 159 d	100	6 054 c	100	22 079 c	100
	K2(- S)	11 004 b	124.1	9 391 bc	131.2	7 078 b	116.9	27 473 b	124.4
	K3(- S)	11 615 ab	131.0	9 289 c	129.8	7 218 b	119.2	28 122 b	127.4
	K4(- S)	12 617 a	142.3	10 238 a	143.0	7 780 a	128.5	30 635 a	138.8
	K4(- Cl)	12 183 a	137.4	9 776 b	136.6	7 140 b	117.9	29 099 ab	131.8
4年平均 Aver.	K1	8 189 c	100	7 180 d	100	4 340 c	100	19 709 c	100
	K2(- S)	10 064 b	122.9	9 097 c	126.7	5 260 b	121.2	24 421 b	123.9
	K3(- S)	10 877 a	132.8	9 587 b	133.5	5 496 ab	126.6	25 960 a	131.7
	K4(- S)	11 026 a	134.6	10 176 a	141.7	5 600 a	129.0	26 802 a	136.0
	K4(- Cl)	10 940 a	133.6	9 667 b	134.6	5 724 a	131.9	26 331 a	133.6

注:产量结果后的不同小写英文字母表示 $LSR_{0.05}$ 检验有显著性差异,下同 Note: Different letters means significant at 5% levels ($LSR, p = 0.05$). The same as below

不同年度的桑叶产量结果表明,桑叶年度总产量随试验时间的延续而增加,这是因为试验开始时桑树树龄才5年,尚处在幼龄阶段,其产量存在自然

增长的规律。然而,试验结果表明,不同处理对年度产量增加产生明显影响(表2)。例如,对照处理(K1水平,下同)2000年桑叶产量比1999年增加 22.3% ,

而同期 K2 水平的产量增加了 32.2%; 又如, 2002 年产量与 1999 年相比, 对照提高 34.0%, K2 水平提高 43.1%, K4 水平提高 40.7%。由于试验第一年各处理的产量因施钾不同而有很大的差别, 因而施钾对当年产量的增加及对往后生产所产生的后续作用是非常明显的, 说明应重视幼龄桑树钾肥的施用。

钾肥用量和品种对不同季节的桑叶增产效果基本一致, 即随着钾肥用量的增加桑叶产量不断提高, 在等养分时 K_2SO_4 效果略好于 KCl, 但差异不显著(表 2)。然而, 不同年度、不同季节的桑叶对钾肥施用的反应不尽相同, 现分析如下。

春季桑叶产量结果表明, 在试验第一年, 与对照相比, 各施钾处理均表现明显的增产作用, 其效果基本相当, 原因是各施钾处理此时的钾肥用量完全相同(表 2)。随着年限的延长, 钾肥施用增产效果愈加明显, 且在随后的年度里不同处理的产量差距在拉大。总体而言, K3 与 K4 水平的春叶产量相差不大, 但产量均明显高于 K2 水平, 在所有处理中, K4 (K_2SO_4) 处理的春季桑叶产量最高, 尤其在试验进行的第 3~4 年表现最明显。就不同钾肥来源来看, K_2SO_4 和 KCl 处理的春叶产量差异不大。

夏季桑叶产量结果表明, 施钾显著提高桑叶产量(表 2)。尽管各年度中不同施钾处理的夏叶增产效果顺序有变化, 但总体趋势是随着钾肥用量的增加桑叶产量不断提高, 且不同水平间存在显著性差异。在等量施钾水平时, 不同钾肥品种对桑叶的增产效果存在差异, K_2SO_4 效果明显好于 KCl。导致这种结果的原因可能与夏季一次性施用 KCl 250 kg hm^{-2} (K_2O 用量 150 kg hm^{-2}) 有关, 因为在试验地区 7~8 月份是干旱季节, 而该地区的桑园一般没有灌溉设施, 此时高量 KCl 的施用可能造成土壤 Cl 离子积累, 这种现象在柑橘施肥中出现过^[11], 但对于桑树尚未见报道, 具体原因尚有待进一步研究。

秋季桑叶产量结果表明, 钾肥施用具有明显的增产效果, 春夏季施用的钾肥对秋季桑叶具有明显的后效作用, 秋叶产量随钾肥用量增加而提高, K3 水平与 K2 水平及 K4 水平间的差异不显著, 而 K4 水平与 K2 水平的产量存在显著差异。对于秋叶, KCl 施用效果好于 K_2SO_4 , 但未达到显著水平(表 2)。

2.2 钾肥用量及品种对桑叶养分含量及叶片养分积累量的影响

2000~2002 年三年春季桑叶含钾量测定结果表明, 钾肥施用显著提高桑叶中钾素含量, 其提高幅度

随着钾肥用量的提高而增加, 与 K1 相比, K2、K3 和 K4 水平的桑叶含钾量 3 年测定结果分别相对提高 5.5%、9.9% 和 15.8%(图 1)。结果还显示, 随着施钾年限的增加, 桑叶含钾量增加的幅度在增大, 说明施钾效果在逐年增加, 这与产量结果的趋势是一致的。在等量钾肥条件下, K_2SO_4 和 KCl 均能有效地增加桑叶含钾量, 2000 年和 2001 年 KCl 处理桑叶含钾量略高于 K_2SO_4 处理, 2002 年结果相反, 但二者之间连续三年的测定值均无显著差异(图 1), 试验说明钾肥品种对桑叶含钾量影响程度的差异不明显, 影响含钾量的主要因素是钾肥用量。

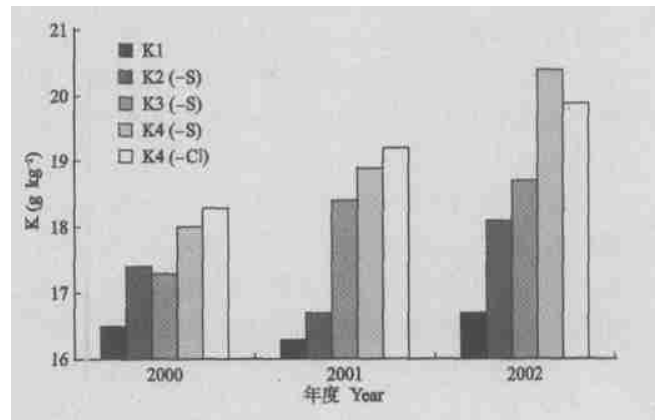


图 1 不同施钾处理对春季桑叶(干重)含钾量的影响
Fig. 1 Effect of application rate and form of K fertilizer on K content (DW) of mulberry leaf harvested in spring

桑叶中其他养分含量测定结果表明, 钾肥施用明显影响其他养分的含量(P 含量除外), 从而对养分吸收产生影响(表 3)。桑叶中 N 含量随全年钾肥用量的增加而提高, 反映出钾肥施用对 N 素吸收的促进作用, 结果证实钾和氮的正交互作用。钾肥品种对桑叶 N 含量影响结果表明, K_2SO_4 对桑叶 N 含量的增加幅度高于 KCl 处理。桑叶中 Ca 和 Mg 含量因施钾均有较大幅度的下降, 说明钾的存在影响 Ca 和 Mg 的吸收, 这一结果说明在生产中应注意可能会出现因增施钾肥而导致 Ca、Mg 的缺乏, 在酸性土壤中尤其应引起重视。KCl 对桑叶 Ca 含量的影响不大, 而 Mg 含量则明显下降。桑叶中 S 含量随钾肥(K_2SO_4 品种)用量的增加而提高, 这可能是因为 K_2SO_4 中提供的 S 量在增加, 而 KCl 施用则导致桑叶中 S 含量明显下降, 结果说明 K_2SO_4 既给桑树生长提供钾, 同时又提供硫, 在土壤含 S 较低又没有其他 S 素来源时 K_2SO_4 是一种很好的肥料。表 3 结果还表明, 钾肥施用引起桑叶 Zn 含量出现下降趋势, 而对 B 含量影响的规律不明显。

表 3 钾肥用量和品种对桑叶中养分含量的影响(2001 年春季)

Table 3 Effect of application rate and form of K fertilizer on nutrient content in mulberry leaf (Spring leaf of 2001)

处理 Treatment	N	P	K (g kg ⁻¹)	Ca	Mg	S	Zn (mg kg ⁻¹)	B
K1	31.5 b	2.9 ns	16.3 b	18.3 a	3.9 a	1.56 c	26.1 a	37.3 bc
K2(-S)	32.3 b	3.0 ns	16.7 b	15.9 a	3.6 b	1.76 b	24.5 b	37.4 bc
K3(-S)	34.5 a	3.1 ns	18.4 a	16.0 a	3.5 bc	1.83 a	24.0 b	41.4 a
K4(-S)	36.2 a	2.9 ns	18.9 a	16.7 b	3.4 bc	1.81 a	24.7 b	36.5 c
K4(-Cl)	35.5 a	3.2 ns	19.2 a	18.0 a	3.3 c	1.45 d	23.3 b	38.5 ab

根据表 2 产量结果和表 3 养分含量结果可分别计算出 2001 年春季及试验期内平均每年桑叶对各养分的积累量(表 4, 5)。结果表明, 钾肥施用对各养分含量产生影响, 有些养分如 N、K 和 S 的含量随钾肥用量增加而提高, 同时由于施钾促使桑叶产量大幅度提高, 在双重因素作用下促进了养分积累量大幅度提高; 而对另外一些养分如 Ca、Mg 和 Zn, 尽管钾肥施用导致养分含量下降, 但由于施钾对桑叶的增产幅度大于养分含量下降的程度, 因此养分的积累量也明显增加。表 4 和表 5 的结果显示, 桑叶

每季和全年带走的养分量是很大的, 因此应注意各种养分的田间补充, 以促进桑叶产量的提高, 同时也利于桑叶中各种矿质养分处于丰富水平, 这对蚕的生长发育尤为重要。表 4 和表 5 中的结果还说明, 钾肥施用能明显提高其他养分的利用率, 以表 5 为例, K4 处理的桑叶积累的 N、P 量分别是对照的 1.54 倍和 1.34 倍, 结果显示, 若只偏施氮肥或磷肥将导致桑园生产潜力得不到应有的发挥, 同时还会引起施入桑园的氮肥和磷肥的浪费。

表 4 钾肥用量和品种对 2001 年春季桑叶对养分积累量的影响

Table 4 Nutrient accumulation in mulberry leaves as influenced by application rate and form of K fertilizer (Spring leaf in 2001)

处理 Treatment	N	P	K (kg hm ⁻²)	Ca	Mg	S	Zn (g hm ⁻²)	B
K1	71.3	6.6	36.9	41.4	8.8	3.5	59.1	84.4
K2(-S)	95.9	8.9	49.6	47.2	10.7	5.2	72.7	111.0
K3(-S)	101.1	9.1	53.9	46.9	10.3	5.4	70.3	121.3
K4(-S)	113.6	9.1	59.3	52.4	10.7	5.7	77.5	114.5
K4(-Cl)	106.2	9.6	57.4	53.8	9.9	4.3	69.7	115.1

注: (1) 各处理产量基数为 2001 年春季桑叶产量; (2) K1、K2(-S)、K3(-S)、K4(-S) 和 K4(-Cl) 处理的桑叶含水量测定结果分别为 755.6、747.9、768.6、759.3 和 754.9 g kg⁻¹。Note: (1) Nutrient accumulation based on spring harvest leaf yield in 2001; (2) Leaf water content for Treatment K1, K2(-S), K3(-S), K4(-S) and K4(-Cl) were 755.6, 747.9, 768.6, 759.3 and 754.9 g kg⁻¹, respectively

表 5 钾肥用量和品种对年度收获桑叶平均养分积累量的影响(1999~2002)

Table 5 Annual nutrient accumulation in leaves as influenced by application rate and form of K fertilizer

处理 Treatment	N	P	K (kg hm ⁻² a ⁻¹)	Ca	Mg	S	Zn (g hm ⁻² a ⁻¹)	B
K1	151.7	14.0	78.5	88.2	18.8	7.5	125.7	179.7
K2(-S)	198.9	18.5	102.8	97.9	22.2	10.8	150.8	230.3
K3(-S)	207.2	18.6	110.5	96.1	21.0	11.0	144.2	248.7
K4(-S)	233.5	18.7	121.9	107.7	21.9	11.7	159.3	235.5
K4(-Cl)	229.1	20.7	123.9	116.2	21.3	9.4	150.4	248.5

注: 各处理产量基数为 4 年平均年度桑叶产量, 桑叶含水量同表 4 Note: Nutrient accumulation based on leaf yield in 2001 and H₂O content was the same as in Table 4

2.3 钾肥用量及品种对桑叶品质的影响

桑叶品质分析结果表明, 各施钾处理均明显提高桑叶的几个品质分析参数值, 说明施钾能够促进桑叶品质的提高(表 6)。结果表明, 随着钾肥用量的增加, 桑叶中必需氨基酸、粗蛋白、糖分含量均呈增加趋势, 在必需氨基酸组份中含硫氨基酸如胱氨酸、蛋氨酸含量随 K_2SO_4 用量增加而提高的幅度尤为明显, 说明加大 K_2SO_4 用量有利于桑叶品质的提高。在等量钾用量条件下, KCl 与 K_2SO_4 对桑叶大多品质参数的促进作用基本一致, 说明 KCl 是提高桑叶产量和品质的一种好的肥料。然而, 结果显示, KCl 处理的桑叶必需氨基酸占氨基酸总量的比例, 粗蛋白和油脂含量均比 K_2SO_4 处理低, 但差异大多

不显著, 结果说明在供试条件下 K_2SO_4 对桑叶品质的作用略优于 KCl, KCl 的施用导致桑叶油脂含量下降的原因有待作进一步研究。

表 7 结果表明, 由于钾肥施用对桑叶中必需氨基酸、氨基酸总量、蛋白质、糖分和油脂含量均有明显促进作用, 同时又能提高桑叶产量, 因此施钾能显著促进桑叶中这些成分的积累, 钾肥对 2001 年春叶和 4 年平均年度收获的桑叶中各成分收获量的影响趋势基本相同, 总体结果是随着钾肥用量增加各成分积累量也呈增加趋势, 同等钾素施用水平时 K_2SO_4 效果好于 KCl。表 7 结果说明施钾可以较大幅度提高桑叶中的有效成分产量, 从而为提高蚕茧产量及质量和整个桑园的生产力奠定了基础。

表 6 钾肥用量及品种对桑叶品质的影响(2001 年春叶)

Table 6 Effect of application rate and form of K fertilizer on mulberry leaf quality (Spring leaf of 2001) (DW, g kg⁻¹)

处理 Treatment	必需氨基酸 Essential amino acid										氨基酸总量 Total amino acid	粗蛋白 Crude protein	糖分 Sugar	油脂 Fat
	苏氨酸 Threonine	胱氨酸 Cystine	缬氨酸 Valine	蛋氨酸 Methionine	异亮氨酸 Isoleucine	亮氨酸 Leucine	酪氨酸 Tyrosine	苯丙氨酸 Phenylalanine	赖氨酸 Lysine	总数 Total				
K1	7.1	0.6	10.7	1.4	8.9	14.7	5.3	10.2	9.2	68.1	166.3	189.7	107	52.2
K2(-S)	8.2	0.7	11.9	1.9	9.7	15.9	5.6	10.3	10.1	74.3	183.6	194.6	117	54.1
K3(-S)	7.8	0.8	11.8	1.9	9.8	16.4	5.9	10.8	10.8	76.0	179.5	207.8	118	52.6
K4(-S)	8.4	1.1	12.1	2.2	9.7	16.2	5.5	10.2	11.1	76.5	182.5	217.7	119	55.9
K4(-Cl)	8.5	0.9	11.8	1.9	9.8	16.4	5.7	10.9	9.9	75.8	186.5	213.6	120	51.8

注: 桑叶粗蛋白由含氮量转换而来, 转换系数为 6.02。Note: The converting coefficient from N to mulberry protein is 6.02

表 7 钾肥用量和品种对桑叶中氨基酸、蛋白质、糖分和油脂积累量的影响

Table 7 Effect of application rate and form of K fertilizer on amino acids, protein, sugar and fat accumulation in mulberry leaves (kg hm⁻²)

处理 Treatment	必需氨基酸 Essential amino acid		总氨基酸量 Total amino acid		粗蛋白 Crude protein		糖分 Sugar		油脂 Fat	
	2001 春叶 2001 spring	年度平均 Yearly aver.	2001 春叶 2001 spring	年度平均 Yearly aver.	2001 春叶 2001 spring	年度平均 Yearly aver.	2001 春叶 2001 spring	年度平均 Yearly aver.	2001 春叶 2001 spring	年度平均 Yearly aver.
	K1	154	328	376	801	429	914	242	515	118
K2(-S)	221	457	545	1 130	578	1 198	347	720	161	333
K3(-S)	223	457	526	1 078	609	1 248	346	709	154	316
K4(-S)	240	494	573	1 177	683	1 404	373	768	175	361
K4(-Cl)	227	489	558	1 204	639	1 379	359	774	155	334

注: 各处理产量基数分别为 2001 年春季和 4 年平均年度桑叶产量, 桑叶含水量同表 4。Note: Based on leaf yield in 2001 and 1999~ 2002 average yield, H₂O content was the same as in Table 4

2.4 不同施钾处理的桑叶对蚕茧质量的影响

用不同施钾处理的桑叶喂饲桑蚕后对蚕和茧的相关性状指标的检测结果表明, 桑园施钾对蚕和茧的品质产生影响(表 8)。结果显示, 随着 K_2SO_4 用量增加, 单个成熟蚕的重量呈递增趋势, KCl 施用也

促进了蚕重量的增加。蚕茧中的上等茧比例、解舒率、茧丝净度均随钾肥(品种为 K_2SO_4) 用量增加而提高, 在试验条件下, 全茧量和茧丝长以 K3 水平时最大。

试验结果表明, 两种钾肥品种均有提高蚕茧质

量的作用。对两钾肥品种的作用进行比较, 测试数据显示, 在等量钾素施用水平下, K_2SO_4 对蚕茧质量

的促进作用明显好于 KCl, 这可能与 K_2SO_4 中 S 对桑叶品质的作用有关, 具体原因有待进一步研究。

表 8 不同施钾处理的桑叶对成熟蚕重及蚕茧质量的影响(2001 年夏蚕)

Table 8 Effect of feeding mulberry leaves from different treatments on mature silkworm weight and cocoon quality characters

处理 Treatment	蚕重 Ave. worm weight (g)	全茧量 Ave. cocoon weight (g)	上茧率 Reelable cocoon percentage (%)	茧丝长 Filament length (m)	解舒率 Reelability percentage (%)	茧丝净度 Silk neatness (%)
K1	3.82 ns	1.70 ns	90.03 c	1 170 c	80.0 b	90.1 c
K2	3.91 ns	1.74 ns	92.39 b	1 204 b	82.4 ab	92.3 b
K3	3.95 ns	1.78 ns	94.30 a	1 277 a	83.0 ab	93.9 b
K4(-S)	3.98 ns	1.76 ns	95.60 a	1 258 a	84.8 a	95.2 a
K4(-Cl)	3.89 ns	1.74 ns	92.71 b	1 218 b	77.5 c	90.4 c

3 讨论

3.1 钾肥用量

连续 4 年的研究结果表明, 桑树施用钾肥显著提高桑叶产量, 与 K1 水平相比, K2、K3 和 K4 水平 (K_2SO_4 品种) 4 年平均年度增产 23.9%、31.7% 和 36.0%, 其中 K3 和 K4 水平间的差异不显著, 因此从产量角度看 K3 水平(年施 K_2O 300 kg hm^{-2}) 是较适宜的施钾水平。然而, 从经济学分析结果来看, K4 水平的净收益高于 K3 水平, 平均每年增加纯利 121 元 hm^{-2} (按 700 kg 桑叶养一张蚕、每张蚕产茧 35 kg 计算, 蚕茧价格按 10 元 kg^{-1} , K_2SO_4 价格按 $2\ 000\text{ 元 t}^{-1}$ 计算), 因此 K4 水平在经济上收益最高。另外, 从钾肥用量对桑叶和蚕茧的品质影响来看, 钾肥用量的提高有改善品质的作用, 而桑叶是家蚕的唯一食源, 因此在生产中施用足量的钾肥是有必要的。

3.2 钾肥品种

KCl 和 K_2SO_4 均明显提高桑叶产量、品质和改善蚕茧质量, 在桑园中施用均有明显的效果。然而, 两品种钾肥的施用效果存在差别。尽管在等养分投入(K4 水平)时, K_2SO_4 对桑叶的增产效果高于 KCl, 年均多收桑叶 471 kg hm^{-2} , 但二者间的差异不显著, 由于两种钾肥的市场价格相差较大(KCl 价格 $1\ 400\text{ 元 t}^{-1}$, K_2SO_4 价格 $2\ 000\text{ 元 t}^{-1}$), 且养分含量也有差别(KCl 含 K_2O 60%, K_2SO_4 含 K_2O 50%), 在试验条件下 KCl 处理比 K_2SO_4 处理年均增加利润 390 元 hm^{-2} , 由此可见在桑园上施用 KCl 在经济上更合算。从对品质的改善作用来看, K_2SO_4 的作用则更大, 这可能与 K_2SO_4 中 S 的作用有关^[12], 本研究结

果也表明施用 K_2SO_4 后桑叶中的 S 含量及含 S 氨基酸含量均有增加, KCl 中的 Cl 是否对桑叶和蚕茧品质产生负面影响仍不清楚, 但本研究结果已表明在干旱季节一次性大量施用 KCl 会对桑叶产量产生负作用, 在生产中应注意施肥技术。当桑园缺 S 时施用 K_2SO_4 是非常合适的, 而对一般桑园用 KCl 作钾肥来源是可行的。

3.3 钾肥施用对其他养分吸收的影响

钾肥施用除显著提高桑叶中的钾素含量外还明显影响其他养分状况, 桑叶中的氮含量因施钾而提高, 硫含量因施 K_2SO_4 而提高, 施 KCl 时桑叶 S 含量则降低, 对钙、镁、锌则因施钾而降低含量, 由于钾肥施用对桑叶的增产程度大于对养分含量的影响, 因此几乎所有养分的积累量均因施钾而大幅度增加。结果说明, 钾肥施用一方面提高了其他养分的利用率, 对于偏施氮肥(或氮磷肥)的桑园增施钾肥可明显减少氮磷肥浪费和提高桑园生产力, 在施肥时要做到氮、磷、钾平衡; 另一方面, 钾肥施用导致其他养分吸收量增加, 表 4 和表 5 结果已显示每年通过收获桑叶从桑园带走的各种养分量是很大的, 如果加上每年伐枝则养分移出量更大, 若不进行必要的养分补充(通过施肥措施)必定导致桑园肥力水平下降, 从而影响蚕桑业的持续发展, 因此在强调桑园施钾的同时应切实做到包括各种养分在内的平衡施肥。

另外, 值得引起注意的还有施钾后桑叶钾含量增加对钙和镁明显的抑制作用可能会对蚕的生长发育产生不利影响, 因为除进食桑叶外蚕一般没有其他途径获得矿质养分, 桑叶中 Ca、Mg 等养分含量下降就会导致蚕对这些必需养分元素摄取量降低, 因

此, 应该特别注意在桑园施用钾肥时补充必要的钙、镁肥料。

3.4 桑园施钾对蚕茧质量的影响

本研究涉及到钾肥施用对蚕茧质量有改善作用, 部分结果与 Shankar 的研究基本一致^[13], 但这方面的工作仅仅是个开端, 有许多问题值得作进一步探讨, 如钾如何影响蚕茧质量、KCl 与 K₂SO₄ 的作用为什么有差别、从影响桑叶品质开始到影响蚕的生长发育最终影响茧丝的整个过程是怎样的, 等等, 均需要作进一步研究, 但无论如何本研究的一些结果可为科学施肥提供依据。

致谢 本研究田间试验得到湖北省罗田县蚕经委、罗田县九资河镇蚕桑办、汪家畈村村委会、农户汪芝兰等的协助, 深表感谢。

参考文献

- [1] 鲁成, 向仲怀, 黄君霆. 21 世纪蚕业科学基础研究发展趋势. 蚕业科学, 2000, 26(2): 105 ~ 114. Lu C, Xiang Z H, Huang J T. Fundamental research trends of sericulture in the 21st century (In Chinese). Sericultural Science, 2000, 26(2): 105 ~ 114
- [2] 顾国达. 世界蚕茧和生丝生产量及其产地变迁的研究. 蚕业科学, 1999, 25(2): 120 ~ 125. Gu G D. Studies on the output of cocoon and raw silk and distribution of sericultural area in the world (In Chinese). Sericultural Science, 1999, 25(2): 120 ~ 125
- [3] 顾国达, 王昭荣, 张磊. 世界蚕茧和生丝生产量的预测. 蚕业科学, 2002, 28(3): 242 ~ 246. Gu G D, Wang Z R, Zhang L. Prediction on the production of cocoon and raw silk in the world (In Chinese). Sericultural Science, 2002, 28(3): 242 ~ 246
- [4] 王波, 戴璇颖, 丁悦等. 不同施肥对比对桑产量和质量的影响. 江苏蚕业, 2001, (1): 13 ~ 15. Wang B, Dai X Y, Ding R, *et al.* Effect of fertilizer combination on mulberry leaf yield and quality (In Chinese). Jiangsu Sericulture, 2001, (1): 13 ~ 15
- [5] 王泽林. 不同配方施肥对种茧育的影响. 蚕桑通报, 2001, 32(2): 31 ~ 33. Wang Z L. The influence of different recipe fertilizer in mulberry field on parent silkworm rearing (In Chinese). Bulletin of Sericulture, 2001, 32(2): 31 ~ 33
- [6] 叶伟彬. 我国桑树栽培技术的现状及发展对策. 蚕业科学, 1996, 22(4): 235 ~ 240. Ye W B. Status of mulberry cultivation technique and its development strategy in China (In Chinese). Sericultural Science, 1996, 22(4): 235 ~ 240
- [7] 赵卫国, 吴惠就. 种茧育桑园化肥配施与氮肥单施的肥效试验. 土壤肥料, 2001, (2): 41 ~ 42. Zhao W G, Wu H J. Trial of chemical fertilizers combined application and only N application on mulberry orchards cocoon product (In Chinese). Soil and Fertilizer, 2001, (2): 41 ~ 42
- [8] 中国土壤学会. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000. Soil Science Society of China. ed. Soil Agricultural Chemical Analysis Method (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2000.
- [9] 鲍士旦. 农牧水产品品质分析. 北京: 中国农业科技出版社, 1996. Bao S D. ed. Agriculture, Herd and Aquatic Product Quality Analysis (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1996
- [10] 黄国瑞. 茧丝学. 北京: 农业出版社, 1994. 89 ~ 144. Huang G R. ed. Silk Science (In Chinese). Beijing: Agricultural Press, 1994. 89 ~ 144
- [11] 鲁剑巍, 陈防, 刘冬碧等. 柑橘施用硫酸钾和氯化钾效果研究. 土壤肥料, 2002, (4): 30 ~ 34. Lu J W, Chen F, Liu D B, *et al.* Study of SOP and MOP application on citrus (In Chinese). Soil and Fertilizer, 2002, (4): 30 ~ 34
- [12] 鲁剑巍, 陈防, 陈行春等. 钾、硫肥配施对作物产量与品质的影响. 土壤通报, 1994, 25(5): 215 ~ 218. Lu J W, Chen F, Chen X C, *et al.* Effect of potash and sulfur combined application on crops yield and quality (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 1994, 25(5): 215 ~ 218
- [13] Shankar M A, Rangaswamy B T. Effect of applied nitrogen and potassium on mulberry leaf yield and quality in relation to silkworm cocoon characters. Better Crops International, 1999, 13(2): 20 ~ 21

EFFECT OF APPLICATION RATE AND FORM OF K FERTILIZER ON MULBERRY (*MORUS ATROPURPUREA ROXB.*) LEAF PRODUCTION AND SILK COCOON QUALITY

Lu Jianwei Chen Fang Wan Yunfan Wu Hui Liu Dongbi Rolf Hårdter

(Resources & Environment College, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

(Wuhan Botanical Garden, Wuhan Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430074, China)

(Agricultural Weather Institute, China Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081, China)

(Fruit, Tea and Sericulture Institute, Hubei AAS, Wuhan 430064, China)

(Plant Protection and Soil Fertilizer Institute, Hubei AAS, Wuhan 430064, China)

(International Potash Institute, Basel, Switzerland)

Abstract A four-year field trial was carried out to determine the effect of application rate and form of K fertilizer on mulberry (*Morus atropurpurea Roxb.*) during 1999~2002 and a silk worm (*Bombyx mori Linne*) experiment to determine their consequential effect on silk cocoon yield and quality in summer of 2001. The results showed that in comparison with the leaf yield in Treatment Zero K, it increased by 23.9%, 31.7% and 36.0% in Treatments K₂O 150, 300 and 375 kg hm⁻² a⁻¹, respectively, and that when the K application rates were the same, the two different forms of K fertilizer, K₂SO₄ and KCl, were quite similar to each other in effect on mulberry leaf yield. Crop response to K application seemed to increase with the time of the experiment and the post effect of the application was also quite significant. Leaf nutrient determination showed N, K and S contents increased whereas Ca, Mg and Zn decreased with K application in the form of K₂SO₄, but no change for P content. The results showed that mulberry nutrient uptake increased greatly with K application, which led to better fertilizer utilization efficiency. As a result, the essential amino acids, total amino acid, protein, sugar and fat contents in the leaves increased with the K application rate. KCl also improved leaf quality but not so much as K₂SO₄ did. The silk cocoon quality test showed that silk worms fed with mulberry leaves from K treatments produced cocoons better in quality in terms of silk worm weight, cocoon weight, reelable cocoon rate, filament length, reelability and silk neatness. The higher the K application rate, the better the cocoon quality. And the effect of K₂SO₄ was more significant than that of KCl in this aspect when the K application rates were the same.

Key words Potassium (K); Mulberry (*Morus atropurpurea Roxb.*); Silk cocoon; Yield; Quality; Nutrients; Balanced fertilization