

秸秆钾替代化肥钾对莴笋的营养效应研究^①

谷守宽¹, 袁 婷¹, 陈 益¹, 杨 东¹, 文 娟², 熊小莉², 李 戎³, 李振轮¹, 王正银^{1*}

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2 重庆市铜梁区农业委员会, 重庆铜梁 402560;

3 重庆市九龙坡区农林水利局, 重庆九龙坡 400039)

摘 要:在重庆地区多年种植蔬菜的两个基地进行田间试验, 研究了秸秆钾替代化肥钾对莴笋的产量、品质、养分吸收量和钾素利用率的影响。秸秆钾替代化肥钾较无钾肥处理极显著提高两个试验点莴笋产量, 增产 11.4% ~ 13.7% 和 11.4% ~ 15.3%, 各处理产量大小为: M_H+K_L (有机肥钾 50%+化肥钾 50%)> M_M+K_M (有机肥钾 30%+化肥钾 70%)> M_L+K_H (有机肥钾 10%+化肥钾 90%)> CK_2 (常规施钾处理)> CK_1 (无钾肥处理), 以高量(50%)秸秆钾处理(M_H+K_L)增产作用最大。秸秆钾替代化肥钾较常规施钾提高莴笋产量, 但增产作用不显著。两个试验点秸秆钾替代化肥钾显著降低莴笋叶维生素 C 和可溶性糖含量, 降幅分别为 4.7% ~ 16.8% 和 3.2% ~ 30.5%, 但对莴笋茎该两个品质指标略有提高; 莴笋叶硝酸盐含量增加 8.0% ~ 8.2% 和 11.4% ~ 17.2%, 莴笋茎硝酸盐含量在试验点 1 降低 2.5% ~ 11.5%, 而试验点 2 则增加 8.0% ~ 13.5%。试验点 1 莴笋叶钙、镁、铁和锰含量为高, 试验点 2 降低。两个试验点秸秆钾替代化肥钾均显著提高莴笋对氮、磷和钾吸收量, 以 M_H+K_L 处理莴笋钾素利用率最高。综合莴笋产量、品质、养分吸收和钾素利用效率, 以 M_H+K_L 处理效果最佳。

关键词: 秸秆钾肥; 替代; 化学钾肥; 莴笋

中图分类号: S143.3+2 文献标识码: A

莴笋(*Lactuca sativa* L.)为菊科(Compositae)莴苣属(*Lactuca* L.)一年生或两年生草本植物^[1], 其营养价值高, 生长期短, 是重庆地区广泛栽培和食用的主要叶类蔬菜之一。集约化高产条件下蔬菜收获每年都输出大量的土壤养分, 而长期以来我国菜农普遍沿用的是经验性偏施氮磷肥, 轻视钾肥和有机肥的合理施用^[2-3]。目前, 蔬菜生产中钾肥的投入远不能维持钾素平衡, 菜田钾素亏缺已成为蔬菜生产持续发展的限制因素之一^[4-6]。近年来, 我国农作物秸秆大量增加, 据统计, 2013 年我国玉米、水稻和小麦三大作物的秸秆产量达 6.46 亿吨, 秸秆钾素含量较高, 且易溶解释放, 是我国主要的有机肥钾来源^[7-8]。因此, 研究有机钾肥对化肥钾的替代施用是关系到拓宽我国钾资源、农作物特别是蔬菜生产和农业可持续发展的重大问题。本文以莴笋为供试材料, 选取两个蔬菜基地作为试验点, 研究秸秆钾替代化肥钾对莴笋产量、品质和养分效率的影响, 以期为重地区蔬菜有机肥应用和化肥钾高效利用提供依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试作物为莴笋(*Lactuca sativa* L.), 品种为香优 9 号。供试土壤为重庆市九龙坡区含谷镇宝洪村(试验点 1)和重庆市铜梁县侣俸镇新学村蔬菜基地(试验点 2)由侏罗纪遂宁组母质发育的红棕紫泥, 两基地均已种植蔬菜多年, 土壤基本农化性状列于表 1。供试化学肥料为尿素(N, 46%)、磷酸二氢铵(P_2O_5 , 44%; N, 11%)、氯化钾(K_2O , 60%), 有机肥料为玉米秸秆(N 1.25%; P 0.18%; K 2.1%), 来自当地收获玉米后的玉米秸秆, 粉碎后直接翻压。

表 1 供试土壤基本农化性状
Table 1 Basic agro-chemical properties of tested soil

试验地点	pH	有机质 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)
试验点 1	7.50	26.4	131	52.2	126
试验点 2	7.69	23.7	141	57.4	145

①基金项目: 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(2013-Chongqing-02)资助。

* 通讯作者(wang_zhengyin@163.com)

作者简介: 谷守宽(1987—), 男, 山东嘉祥人, 硕士研究生, 主要从事植物营养资源利用研究。E-mail: gushoukuan@163.com

1.2 试验设计

田间试验于 2013 年 3 月至 5 月在重庆市九龙坡区含谷镇宝洪村(试验点 1)和铜梁区侣俸镇新学村(试验点 2)进行, 试验点 1 地处 29°51'N、105°59'E, 海拔 296 m; 试验点 2 地处 29°51'N、105°59'E, 海拔 314 m。试验各处理氮磷钾养分施用量相同, 氮、磷、钾肥分别为 N 300 kg/hm²、P₂O₅150 kg/hm²、K₂O 150 kg/hm², 主要探索玉米秸秆钾替代化肥钾的比例。试验采用随机区组设计, 设 5 个处理(表 2), 3 次重复, 两个试验点小区面积分别为 16 m²(8 m × 2 m)和 10.8 m²(6 m × 1.8 m)。试验于 2013 年 3 月将玉米秸秆切碎与磷钾肥一次性施入各处理小区后, 人工进行翻压, 肥料混匀于土地耕层并移栽莴笋。化学氮肥全部作追肥施用, 共追施 3 次, 分别在莲座期、开盘期、旺长期按照 30%、40%、30% 的比例进行, 试验期间田间管理措施与当地大田栽培相同。于 2013 年 5 月收获(试验点 1 和试验点 2 莴笋生长期分别为 79 d 和 70 d)时测定莴笋生物产量, 同时取样测定可食部分硝酸盐、营养品质, 同时将样品烘干测定其干样养分含量。

表 2 田间小区试验方案和施肥量(kg/hm²)
Table 2 Designed K treatments in field experiment

处理	内容	K ₂ O(OF)	K ₂ O(CF)
CK ₁	不施钾肥	0	0
CK ₂	常规施钾肥	0	150
M _L +K _H	玉米秆钾 10% + 化肥钾 90%	15	135
M _M +K _M	玉米秆钾 30% + 化肥钾 70%	45	105
M _H +K _L	玉米秆钾 50% + 化肥钾 50%	75	75

注: OF 代表有机肥, CF: 代表无机肥。

1.3 测定方法

土壤 pH、碱解氮、有效磷、速效钾和有机质的测定采用常规方法^[9]; 莴笋叶片和茎可溶性糖采用 3,5-二硝基水杨酸显色分光光度法测定; 维生素 C 采用 2,6-二氯酚靛酚法测定; 游离氨基酸采用水合茚三酮溶液显色分光光度法测定; 硝酸盐含量采用紫外分光光度法测定。莴笋叶片和茎全氮、磷、钾采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消化, 蒸馏法测定氮、钼钼黄显色分光光度法测定磷、火焰光度法测定钾^[9]。试验数据用最小显著差数法(LSD)进行多重比较。

1.4 数据处理

数据结果采用 Excel 2003 和 SPSS 18.0 软件进行统计分析。

主要公式:

1) 莴笋吸钾量(kg/hm²)= 莴笋干样钾素含量 ×

(1-水分含量)×莴笋产量

2) 钾肥偏生产力(partial factor productivity from applied potash, PFPK(kg/kg))= 施钾处理莴笋产量/钾肥施用量

3) 钾肥农学效率(potash agronomic efficiency, AEK(kg/kg))=(施钾处理作物产量-无钾处理作物产量)/钾肥施用量

4) 钾肥利用率(potash recovery efficiency, REK(%))=(施钾处理莴笋总吸钾量-无钾处理莴笋总吸钾量)/钾肥施用量×100

2 结果与分析

2.1 秸秆钾替代化肥钾对莴笋产量的影响

由表 3 可知, 两个试验点施钾各处理较不施钾肥处理(CK₁)莴笋增产极显著, 增幅分别为 11.4% ~ 13.7%和 11.4% ~ 15.3%, 显示出钾肥对莴笋增产的重要作用。秸秆钾替代化肥钾较常规施用化肥钾处理(CK₂)对莴笋产量略有提高作用, 但不显著。试验点 2 莴笋产量高于试验点 1, 且秸秆钾替代化肥钾处理的增产效果大于试验点 1, 增幅为 2.7% ~ 3.6%, 而试验点 1 仅增产 0.4% ~ 2.1%。各替代处理中, 以 M_H+K_L 处理产量均高于其他处理且增产幅度最大, 产量分别达 33 142 kg/hm² 和 35 975 kg/hm²。在秸秆钾替代化肥钾处理中, 两个试验点莴笋产量均随着秸秆替代化肥钾的比例增大而增大, 增产效果表现为 M_H+K_L>M_M+K_M>M_L+K_H, 但均不显著, 其中均以 M_H+K_L 处理即秸秆钾 50% 与化肥钾 50% 配施产量最高。

表 3 秸秆钾替代化肥钾对莴笋产量的影响
Table 3 Lettuce yields under different K treatments

试验点	处理	产量(kg/hm ²)	相对产量(%)	
			CK ₂	CK ₁
试验点 1	CK ₁	29 139 ± 187 bB	89.8	100.0
	CK ₂	32 454 ± 381 aA	100.0	111.4
	M _L +K _H	32 578 ± 225 aA	100.4	111.8
	M _M +K _M	32 891 ± 190 aA	101.3	112.8
	M _H +K _L	33 142 ± 253 aA	102.1	113.7
试验点 2	CK ₁	31 188 ± 267 bB	89.80	100.0
	CK ₂	34 739 ± 464 aA	100.0	111.4
	M _L +K _H	35 666 ± 463 aA	102.7	114.4
	M _M +K _M	35 820 ± 267 aA	103.1	114.9
	M _H +K _L	35 975 ± 267 aA	103.6	115.3

注: 产量均以鲜基计算; 同列数据小写字母不同表示处理间差异达 P<0.05 显著水平, 大写字母不同表示处理间差异达 P<0.01 显著水平, 下表同。

2.2 秸秆钾替代化肥钾对莴笋品质的影响

2.2.1 维生素 C 维生素 C 是衡量蔬菜营养品质的重要指标^[10]。表 4 可知，两个试验点秸秆替代化肥钾处理莴笋叶维生素 C 含量较不施钾肥处理(CK₁)均显著降低，降幅分别为 7.4% ~ 16.8% 和 4.7% ~ 12.1%。可见，产量大幅增加对维生素 C 具有一定的稀释作用。相比化肥钾处理(CK₂)，秸秆替代化肥钾处理试验点 1 维生素 C 含量极显著增加，试验地 2 却显著降低，且莴笋叶维生素 C 含量均随秸秆钾

替代比例的增加而降低，即 $M_L+K_H>M_M+K_M>M_H+K_L$ ，均以 M_H+K_L 处理即秸秆钾 50% 替代化肥钾的降低最为明显，但处理间差异不大(表 4)。相比 CK₁ 和 CK₂，秸秆替代化肥钾处理莴笋茎维生素 C 含量在试验点 1 均不同程度地增加，其中，以 M_L+K_H 处理即秸秆钾 10% 与化肥钾 90% 配施的增幅最为明显；而试验点 2 莴笋茎维生素 C 含量相比 CK₁ 有显著降低，降幅为 5.5% ~ 21.9%，且以 M_H+K_L 处理的降低作用最为明显。

表 4 秸秆钾替代化肥钾对莴笋品质的影响
Table 4 Indexes of lettuce quality under different K treatments

试验点	部位	处理	维生素 C(mg/kg)	氨基酸(mg/kg)	可溶性糖(%)	硝酸盐(mg/kg)
试验点 1	叶	CK ₁	298 aA	1 209 eE	0.607 aA	2 711 bB
		CK ₂	251 dC	1 411 bB	0.499 dD	2 931 aA
		M_L+K_H	276 bB	1 359 cC	0.585 bB	2 994 aA
		M_M+K_M	270 bcB	1 268 dD	0.583 bB	2 997 aA
		M_H+K_L	267 cB	1 695 aA	0.552 cC	2 715 bB
	茎	CK ₁	94.3 cB	2 801 aA	0.949 bB	2 323 aA
		CK ₂	87.7 dC	2 472 cC	1.022 aA	2 265 bAB
		M_L+K_H	108.0 aA	2 257 dD	0.802 dD	2 199 cB
		M_M+K_M	96.1 bB	2 072 eE	0.854 cC	2 238 bcB
		M_H+K_L	97.7 bB	2 618 bB	0.999 aA	2 056 dC
试验点 2	叶	CK ₁	385 aA	1 696 aA	1.310 aA	2 330 cC
		CK ₂	367 bB	1 574 bB	1.270 bB	2 305 cC
		M_L+K_H	356 cB	1 415 cC	1.040 cC	2 731 aA
		M_M+K_M	356 cB	1 092 dD	0.948 dD	2 728 aA
		M_H+K_L	338 dC	1 093 dD	0.925 dD	2 597 bB
	茎	CK ₁	91.4 aA	3 518 aA	1.45 aA	2 487 cC
		CK ₂	76.1 dD	2 784 bB	1.32 cB	2 446 cC
		M_L+K_H	86.4 bB	2 176 eD	1.29 bD	2 686 bB
		M_M+K_M	83.1 cC	2 355 dC	1.41 bA	2 823 aA
		M_H+K_L	71.3 eE	2 708 cB	1.42 bA	2 713 bB

2.2.2 氨基酸 由表 4 可知，试验点 1 秸秆替代化肥钾处理较 CK₁ 显著提高莴笋叶氨基酸含量，增幅为 4.9% ~ 40.5%，其中以 M_H+K_L 处理的增幅最大；而秸秆替代化肥钾处理相比 CK₁ 和 CK₂ 均显著降低了莴笋茎氨基酸含量，降幅为 6.5% ~ 26.0%。试验点 2 秸秆替代化肥钾处理较 CK₁ 和 CK₂ 均显著降低了莴笋叶和茎氨基酸含量，降幅分别为 8.2% ~ 35.7% 和 20.9% ~ 38.2%。可能是因为钾素能活化植物体内的合成酶类、氧化还原酶类和转移酶类，参与糖代谢、蛋白质代谢与核酸代谢等生物化学过程，从而促进大量氨基酸转化合成为蛋白质所致。莴笋叶和茎氨基酸含量均随秸秆钾替代比例的增加而降低，但莴笋叶以 M_M+K_M 处理即秸秆钾 30% 与化肥钾 70% 的降低作

用最大，莴笋茎以 M_L+K_H 处理即秸秆钾 10% 与化肥钾 90% 的降低作用最为明显，且莴笋茎氨基酸含量均明显高于叶。

2.2.3 可溶性糖 由表 4 可知，两个试验点秸秆替代化肥钾处理较 CK₁ 和 CK₂ 均显著降低了莴笋叶可溶性糖含量，降幅分别为 3.6% ~ 17.8% 和 3.1% ~ 29.4%，试验点 1 莴笋叶可溶性糖均随有机肥钾替代比例的增加而降低，各处理以 $M_L+K_H>M_M+K_M>M_H+K_L$ 。因为钾素能极大地促进植物体内光合产物糖分的运输，加之产量增加产生的稀释效应所致。其中，以 CK₂ 处理即常规施钾肥的降低作用最为明显，试验点 2 以 M_H+K_L 处理即秸秆钾 50% 替代化肥钾的降幅最大。而莴笋茎可溶性糖含量变化均不一致。

2.2.4 硝酸盐 蔬菜硝酸盐过量对人体健康存在着潜在危害,因此蔬菜硝酸盐含量高低是衡量蔬菜卫生品质的重要指标^[11-12]。由表 4 可知,两个试验点秸秆钾替代化肥钾处理较 CK₁ 显著增加了莴笋叶硝酸盐含量(除试验点 1 M_H+K_L 处理),增幅分别为 8.0%~8.2% 和 11.4%~17.2%;试验点 1 秸秆钾替代化肥钾处理莴笋茎硝酸盐含量显著降低,降幅为 2.5%~11.5%;而试验点 2 则极显著增加,增幅达 8.0%~13.5%,莴笋硝酸盐含量均在国家规定的安全水平(<3 000 mg/kg)。两个试验点相同处理下莴笋茎、叶硝酸盐含量变化差异大,可能与生长期长短差异(试验点

1 为 79 d、试验点 2 为 70 d)有关。

2.3 秸秆钾替代化肥钾对莴笋矿质营养品质的影响

2.3.1 钙 由表 5 可知,相比 CK₁,试验点 1 秸秆钾替代化肥钾处理莴笋叶钙含量有极显著升高,增幅达 1.66%~19.0%,随有机肥钾替代比例的增大而增加;秸秆替代化肥钾处理中莴笋叶钙含量均逐渐增高,莴笋茎钙含量变化无规律。而相比化肥钾处理试验点 2 莴笋叶和茎钙含量均有不同程度的提高,且莴笋叶和茎钙含量均随秸秆钾替代比例的增大而增加,且莴笋叶钙含量显著高于茎。

表 5 秸秆钾替代化肥钾对莴笋矿质元素的影响
Table 5 Contents of mineral elements in lettuce under different K treatments

试验点	部位	处理	Ca(g/kg)	Mg(g/kg)	Fe(g/kg)	Mn(g/kg)	Cu(g/kg)	Zn(g/kg)
试验点 1	叶	CK ₁	5.876 dC	3.272 dD	327 dD	37.3 dE	10.3 aA	45.8 cC
		CK ₂	6.546 bB	3.691 bB	342 cC	40.4 cD	8.12 cC	48.4 bB
		M _L +K _H	5.974 dC	3.744 bB	390 bB	41.7 cC	9.73 bB	52.1 aA
		M _M +K _M	6.363 cB	3.574 cC	411 aA	51.4 aA	7.91 cC	40.0 dD
		M _H +K _L	6.994 aA	4.159 aA	397 bB	44.9 bB	7.64 dD	38.2 eE
	茎	CK ₁	2.739 bB	2.334 bB	264 dD	16.5 bB	16.7 cC	34.4 bB
		CK ₂	2.695 cC	2.417 aA	304 cC	18.3 aA	19.3 bB	35.8 aA
		M _L +K _H	2.416 cC	1.823 cC	330 aA	16.3 bB	21.3 aA	33.8 bB
		M _M +K _M	2.595 cC	2.086 cC	322 bB	16.8 bB	15.2 dD	33.3 bB
		M _H +K _L	3.111 aA	2.274 bB	268 dD	18.2 aA	15.5 dD	33.5 bB
试验点 2	叶	CK ₁	5.435 aA	3.847 aA	450 aA	52.6 cC	11.4 aA	46.0 bB
		CK ₂	4.942 dD	3.359 cC	359 cC	61.9 bB	9.69 bB	42.1 cC
		M _L +K _H	4.934 dD	3.441 aA	325 dD	55.3 cC	9.23 cC	40.7 dD
		M _M +K _M	5.060 cC	3.159 cC	336 dD	63.2 bB	9.14 cC	40.7 dD
		M _H +K _L	5.231 bB	3.408 bB	381 bB	68.7 aA	8.35 dD	52.8 aA
	茎	CK ₁	2.330 cC	2.834 bB	435 aA	15.8 cC	18.3 aA	36.1 aA
		CK ₂	2.165 dD	2.802 bB	322 cC	16.2 cC	18.0 aA	31.9 cC
		M _L +K _H	2.429 bB	2.998 aA	312 dD	18.7 bB	16.3 bB	28.6 dD
		M _M +K _M	2.456 bB	2.696 bB	339 cC	20.3 bB	15.4 cC	28.9 dD
		M _H +K _L	2.465 aA	2.646 cC	353 bB	20.9 aA	14.2 dD	33.7 bB

2.3.2 镁 由表 5 可知,试验点 1 秸秆替代化肥钾处理莴笋叶镁含量具有增加作用,随秸秆钾替代比例的增大,莴笋叶镁含量先降低后增大,莴笋茎则逐渐增加。而试验点 2 莴笋叶和茎镁含量变化不一致,莴笋叶镁含量随秸秆钾替代化学钾肥比例的增大而先降低后增加,莴笋茎则随替代比例的增加而逐渐降低,钾肥对莴笋叶镁含量有明显的增加作用,增幅为 9.23%~27.1%。

2.3.3 铁 由表 5 可知,试验点 1 秸秆钾替代化肥钾中莴笋叶和茎的铁含量变化不一致,但总体莴笋铁含量有不同程度的增加,但随秸秆钾替代比例的增

大,莴笋叶和茎铁含量逐渐降低。而试验点 2 秸秆钾替代化肥钾处理相比 CK₁ 莴笋叶和茎铁含量均有显著降低作用,降幅分别为 13.4%~27.8% 和 19.9%~28.4%,而较 CK₂ 则变化不显著,且以叶的降幅大于茎;莴笋叶和茎铁含量均随秸秆钾替代比例的增大而增加。

2.3.4 锰 由表 5 可知,两个试验点秸秆钾替代化肥钾处理相比 CK₁ 莴笋叶和茎锰含量均有不同程度的提高(除茎 M_M+K_M 处理),增幅分别为 8.31%~37.8%、1.80%~10.9% 和 5.13%~30.6%、2.53%~32.3%,而较 CK₂ 则变化不一致,且莴笋叶的增幅大

于莴笋茎,随秸秆钾替代比例的增大,试验点 1 莴笋叶锰含量先升高后降低,而莴笋茎锰含量则逐渐升高;试验点 2 莴笋叶和茎锰含量均随秸秆钾替代比例的增大而增加,莴笋叶锰含量明显高于茎。

2.3.5 铜 由表 5 可知,两个试验点莴笋秸秆钾替代化肥钾处理相比 CK₁ 和 CK₂ 莴笋茎铜含量在施钾后均显著降低,试验点 1 莴笋茎变化不一致,随秸秆钾替代比例的增大,莴笋叶铜含量显著降低,且随秸秆钾和高钾有机肥钾替代比例的增大,莴笋叶铜含量逐渐降低,而莴笋茎铜含量先降低后升高,且莴笋茎铜含量明显高于叶。

2.3.6 锌 由表 5 可知,相比 CK₁ 和 CK₂,试验点 1 秸秆钾替代化肥钾处理莴笋叶锌含量变化不一致,且随秸秆钾替代比例的增大,其锌含量逐渐降低,以 M_H+K_L 处理即有机肥钾 50% 配合化肥钾 50% 的降低作用最为明显,含量最低。而莴笋茎以秸秆钾和化肥钾配施对锌含量有降低作用。试验点 2 秸秆钾替代化肥钾处理相比 CK₁ 莴笋叶和茎锌含量总体呈降低趋势,但莴笋叶和茎的锌含量均随秸秆钾替代比例的增大而增加,且莴笋叶的锌含量高于茎。

2.4 秸秆钾替代钾肥对莴笋养分吸收量的影响

由表 6 可知,两个试验点秸秆钾替代化肥钾处理莴笋对氮、磷和钾吸收量均有不同程度的增加,增幅分别为 20.2% ~ 32.4%、25.5% ~ 39.8%、29.6% ~ 66.4% 和 17.5% ~ 27.9%、28.5% ~ 43.4%、27.9% ~ 40.7%;秸秆替代化肥钾处理中,随替代比例的增大,莴笋对磷和钾的吸收量均逐渐提高。可见,施用钾肥提高土壤钾浓度后作物能以较高速度吸收钾离子,当作物体内钾浓度增加后对氮的吸收具有促进作用,对磷的吸收也有明显效果。

表 6 秸秆钾替代化肥钾对莴笋养分吸收量的影响
(kg/hm²)
Table 6 N, P and K uptake of lettuce under different K fertilizer treatments

试验点	处理	N	P	K
试验点 1	CK ₁	69.4 dC	9.80 eD	65.5 dC
	CK ₂	83.4 cB	12.3 bB	84.9 cC
	M _L +K _H	91.5 aA	11.5 dC	85.1 cC
	M _M +K _M	84.3 cB	11.9 cB	89.1 bB
	M _H +K _L	86.0 bB	13.7 aA	109 aA
试验点 2	CK ₁	77.1 dD	7.71 bB	67.8 dC
	CK ₂	90.6 cC	9.91 bB	95.4 aA
	M _L +K _H	92.1 cBC	9.18 cC	86.7 cC
	M _M +K _M	93.9 bB	10.9 aA	90.4 bB
	M _H +K _L	98.6 aA	11.1 aA	91.7 bB

2.5 秸秆钾替代化肥钾对肥料利用效率的影响

由表 7 可知,两个试验点秸秆钾替代化肥钾处理中,均以 M_H+K_L 处理中莴笋偏生产力、农学效率、钾素利用率最高,分别为 221 kg/kg、26.5 g/kg、20.4% 和 240 kg/kg、31.9 kg/kg、19.9%,但各施秸秆处理偏生产力和农学效率差异均不显著(表 7)。秸秆施入土壤后,养分会随浇水、秸秆腐烂等过程缓慢释放,避免了一定程度上化学钾肥一次性基施后的损失,加之莴笋生长初期需肥量低,旺长期需肥量大,有机肥中的缓效养分大量释放,保证了莴笋的养分需求,从而提高了钾素等养分的利用效率。

表 7 秸秆钾替代化肥钾莴笋钾素利用效率
Table 7 K utilization efficiencies of lettuce under different K fertilizers

试验点	处理	偏生产力 (kg/kg)	农学效率 (kg/kg)	生理效率 (kg/kg)	钾素利 用率(%)
试验点 1	CK ₂	217	22.2	1 391	13.6
	M _L +K _H	217	22.9	1 300	15.7
	M _M +K _M	219	24.9	1 416	18.8
	M _H +K _L	221	26.5	1 260	20.4
试验点 2	CK ₂	232	23.7	305	14.8
	M _L +K _H	238	29.9	675	16.4
	M _M +K _M	239	30.9	584	17.3
	M _H +K _L	240	31.9	756	19.9

3 讨论

我国生产的钾肥仅能满足国内钾肥需求量的 30% 左右,农田缺钾面积逐年扩大,钾素亏缺已成为农业生产持续发展的限制因素之一^[13]。而我国秸秆资源丰富^[14],秸秆还田具有替代化学钾肥的作用^[15],故实施秸秆还田,对减少化学钾肥的依赖具有重要的理论和实践意义^[16]。

研究钾肥配合秸秆还田长期定位试验表明,钾肥配合秸秆还田不但促进作物增产,还能提高增产的持续稳定性^[17]。施钾肥和秸秆还田能提高玉米产量,最高增产达到了 13.8%^[18]。本研究在田间试验条件下,秸秆钾替代化肥钾较无钾处理极显著提高两个试验点莴笋产量,增幅为 11.4% ~ 13.7% 和 11.4% ~ 15.3%,以高量(50%)秸秆钾处理(M_H+K_L)增产作用最大;秸秆钾替代化肥钾较常规施化肥钾处理增产作用不显著。这说明秸秆钾能够替代化学钾肥,并且有一定的增产效果。这可能是因为秸秆在土壤分解释放钾过程中,带来了大量的有机物质,改善了土壤物理结构。

蔬菜品质包括维生素、糖分、硝酸盐、氨基酸,以及蛋白质和矿质元素等,其中以维生素 C 最为重要,因为人体不能合成,需要从蔬菜和水果中摄取;其次是糖分和氨基酸的含量,而硝酸盐含量对蔬菜的负面影响非常大^[19]。有研究表明,施用秸秆能提高球莴苣的维生素 C 和可溶性糖含量^[20],秸秆还田改善了稻米的外观品质与蒸煮品质^[21]。本试验结果,秸秆钾替代化肥钾较无钾处理降低两个试验点莴笋叶维生素 C 和可溶性糖含量,而莴笋茎维生素 C 和可溶性糖在试验点 1 略有增加,试验点 2 有所降低;试验点 1 秸秆钾替代化肥钾提高莴笋叶、降低莴笋茎氨基酸含量,而试验点 2 则相反。秸秆钾替代化学钾施入土壤中,改变了土壤中养分含量,使得莴笋营养品质发生了变化。两个试验点莴笋叶硝酸盐含量增加 8.0%~8.2% 和 11.4%~17.2%;莴笋茎硝酸盐含量试验点 1 降低 2.5%~11.5%,试验点 2 显著增加 8.0%~13.5%,莴笋硝酸盐含量均在国家规定的安全水平。两个试验点相同处理下莴笋茎、叶硝酸盐含量变化差异大,可能与生长期长短差异(试验点 1 为 79 d、试验点 2 为 70 d)有关。

矿质元素与人类健康关系密切,它们的摄入过量、不足与缺乏都会不同程度地引起人体生理机能的异常或发生疾病^[22]。莴笋矿质元素含量的变化受施肥措施影响很大。本试验结果,秸秆钾替代化肥钾提高试验点 1 莴笋叶钙、镁、铁和锰含量,而铜和锌含量有所降低;试验点 2 则显著降低莴笋叶钙、镁、铁和铜含量;两个试验点莴笋茎矿质元素变化不一致,这可能是因为两个点基础土壤中矿质元素含量不同所致。

钾肥利用率的高低与蔬菜品种、土壤养分、钾肥及用量等有关^[23-24]。张洋洋等^[25]研究不同形态的钾肥配比均能显著提高油菜钾素利用效率,且含枸溶性钾的钾硅肥处理效果好于水溶性钾肥处理,随着水溶性钾比例的增加钾肥利用率有先上升后下降的趋势。本试验结果,秸秆钾替代化肥钾提高两个试验点莴笋氮、磷和钾吸收量,增幅分别为 2.4%~15.3%、6.6%~27.3%和 2.9%~32.1%;莴笋钾素利用效率以 M_H+K_L 处理最高(20.4%和 19.9%)。这可能是因为秸秆钾增加了莴笋吸收钾肥的途径,提高了钾肥吸收量,从而增加了钾肥利用率。

综上所述,秸秆钾替代化肥钾较无钾处理极显著提高两个试验点莴笋产量,以高量(50%)秸秆钾处理(M_H+K_L)增产作用最大,在等量钾投入条件下,对增产效果上秸秆钾可以替代化肥钾。秸秆钾替代化肥钾

较无钾处理整体提高莴笋的品质,在等量钾投入条件下,对保障莴笋品质和降低硝酸盐作用方面,秸秆钾可以替代化肥钾。综合产量、品质、养分吸收和钾素利用效率,以 M_H+K_L 处理即 50% 秸秆钾替代化肥钾 50% 为莴笋高产优质的最佳处理。

参考文献:

- [1] 袁庆军, 杨昌熙. 四川莴苣属及近缘属 10 种植物的核型研究[J]. 西南农业大学学报, 2002, 24(1): 30-33
- [2] 张明聪, 刘元英, 罗盛国, 等. 养分综合管理对寒地水稻抗倒伏性能的影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(21): 4536-4542
- [3] 曾祥明, 韩宝吉, 徐芳森, 等. 不同基础地力土壤优化施肥对水稻产量和氮肥利用率的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(14): 2886-2894
- [4] Subba R A, Srinivasarao C, Srivastava S. Potassium status and crop response to potassium on the soils of agroecological regions of India[M]. Horgen, Switzerland: International Potash Institute, 2010
- [5] 汤宏, 张杨珠, 龙怀玉, 等. 洞庭湖平原菜园土壤养分径流规律及其影响因素[J]. 土壤学报, 2012, 49(1): 111-120
- [6] 黄运湘, 侯金权, 汤宏, 等. 洞庭湖平原冲积性菜园土壤养分径流规律研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(1): 8-11
- [7] 中国统计年鉴编辑委员会. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国农业出版社, 2014
- [8] 刘晓燕, 金继运, 任天志, 等. 中国有机肥料养分资源潜力和环境风险评价[J]. 应用生态学报, 2010, 21(8): 2092-2098
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2007: 25-139
- [10] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems[J]. Aust. J. Agric. Res., 1995, 46: 1459-1466
- [11] 都韶婷, 章永松, 林咸永, 等. 蔬菜积累的硝酸盐及其对人体健康的影响[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 2007-2014
- [12] 王小晶, 王正银, 赵欢, 等. 钾肥对大白菜和莴苣产量、重金属和硝酸盐含量的影响[J]. 中国蔬菜, 2011(10): 64-68
- [13] 白由路. 高价格下我国钾肥的应变策略[J]. 中国土壤与肥料, 2009(3): 1-4
- [14] 王亚静, 毕于运, 高春雨. 中国秸秆资源可收集利用量及其适宜性评价[J]. 中国农业科学, 2010(43): 1852-1859
- [15] 李继福, 鲁剑巍, 任涛, 等. 稻田不同供钾能力条件下秸秆还田替代钾肥效果[J]. 中国农业科学, 2014(47): 292-302
- [16] 宋光雷, 睢宁, 余超然, 等. 秸秆还田替代化学钾肥对棉麦轮作中棉仁油分累积的效应[J]. 作物学报, 2015(10): 1548-1556

- [17] 邢素丽, 刘孟朝, 何萍, 等. 用增稳系数评价钾肥配合秸秆还田对作物的增产稳定性效应[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(5): 47–51
- [18] 谢佳贵, 侯云鹏, 尹彩侠, 等. 施钾和秸秆还田对春玉米产量、养分吸收及土壤钾素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014(5): 1110–1118
- [19] 郭熙盛, 吴礼树. 施用氮钾肥料对蔬菜品质影响的研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(6): 593–598
- [20] 吴建新, 左强, 王甲辰, 等. 不同施肥措施对球茎茴香产量、品质及氮平衡的影响[J]. 北方园艺, 2010(10): 15–18
- [21] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J]. 土壤学报, 2008, 45(5): 915–924
- [22] 夏敏. 必需微量元素的生理功能[J]. 微量元素与健康研究, 2003, 20(3): 41–42
- [23] 任国博, 史春余, 姚海兰, 等. 施钾时期对甘薯产量及钾肥利用率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2015(5): 33–36
- [24] 李银水, 鲁剑巍, 廖星, 等. 钾肥用量对油菜产量及钾素利用效率的影响[J]. 中国油料作物学报, 2011, 33(2): 152–156
- [25] 张洋洋, 任涛, 鲁剑巍, 等. 不同形态钾肥对比对油菜生物量及钾肥利用率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2013(3): 74–77

Effects of Straw Potassium Replacing Chemical Potash Fertilizer in Lettuce Production

GU Shoukuan¹, YUAN Ting¹, CHEN Yi¹, YANG Dong¹, WEN Juan², XIONG Xiaoli², LI Rong³,
LI Zhenlun¹, WANG Zhengyin^{1*}

(1 College of Resources and Environmental Sciences, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2 Agriculture Committee of Tongliang District, Tongliang, Chongqing 402560, China; 3 Agricultural Bureau of Jiulongpo District, Jiulongpo, Chongqing 400039, China)

Abstract: Field experiments were carried out in two vegetables planting bases of Chongqing to study the effects of straw potassium replacing chemical fertilizer potassium on the yield, quality, nutrient uptake and potassium utilization rate of lettuce. 5 treatments were designed, including CK₁ (no chemical K), CK₂ (ordinary chemical K), M_L+K_H (10% maize straw K + 90% chemical K), M_M+K_M (30% maize straw K + 70% chemical K), M_H+K_L (50% maize straw K + 50% chemical K). The results showed that lettuce yields were significantly increased in the two bases (by 11.4%–13.7% and 11.4%–15.3%, respectively) with an order of M_H+K_L>M_M+K_M>M_L+K_H>CK₂>CK₁. Compared with CK₂, the treatments with maize straw K replacing chemical K was not significant in increasing lettuce yield, while reduced significantly Vc and sugar contents in lettuce leaves (by 4.7%–16.8% and 3.2%–30.5%, respectively), while slightly increased the two indexes in lettuce stem. Nitrate contents were increased significantly in lettuce leaves (by 8.0%–8.2% and 11.4%–17.2%, respectively), while nitrate content in lettuce stems decreased by 2.5%–11.5% in basis 1 but increased by 8.0%–13.5% in Basis 2. The contents of calcium, magnesium, iron and manganese in lettuce leaves were increased in Basis 1, but calcium content was decreased in Basis 2. Straw K replacing chemical fertilizer K increased significantly the uptake of lettuce to nitrogen, phosphorus and potassium, and M_H+K_L treatment had the maximum K utilization efficiency, which is the optimal for lettuce production if taking yield, quality and nutrient uptake into consideration.

Key words: Straw potassium; Substitution; Chemical fertilizer; Lettuce