

土壤含硒量对玉米农艺性状、产量及籽粒硒含量的影响^①

王 孟^{1,2,3}, 张军强⁴, 谭亚华⁵, 商水根^{1,2,3}, 徐印印^{1,2,3}, 石 垒^{1,2,3}, 姜硕琛^{1,2,3},
姜汉峰^{1,2,3}, 熊瑞刚⁶, 贾旭东^{1,2}, 邢丹英^{1,2,3*}, 谢义梅⁷

(1 长江大学作物富硒应用技术研究所, 湖北荆州 434025; 2 长江大学农学院, 湖北荆州 434025; 3 主要粮食作物产业化湖北省协同创新中心, 湖北荆州 434025; 4 恩施州土壤肥料工作站, 湖北恩施 445000; 5 恩施市土壤肥料工作站, 湖北恩施 445000; 6 恩施市新塘乡农技推广服务中心, 湖北恩施 445012; 7 国家硒产品质量监督检测中心, 湖北恩施 445000)

摘 要:在 2 个硒含量的土壤背景下, 种植 8 个不同遗传背景的玉米品种, 研究土壤硒含量对玉米品种的农艺性状、产量及硒含量的差异, 结果表明: ①土壤硒含量对玉米的株高、穗位、可见叶片数有增加效应, 富硒区玉米的 3 个指标高于非富硒区, 但富硒区的单产未能表现高于非富硒区。②供试品种的产量依次为康农玉 108(7 822.6 kg/hm²)>华玉 11 号(7 302.11 kg/hm²)>双玉 919(6 940.47 kg/hm²)>禾盛玉 718(6 860.41 kg/hm²)>正大 999(6 374.98 kg/hm²)>万玉 168(5 964.29 kg/hm²)>恩单 804(5 889.69 kg/hm²)>兴农单 3 号(5 692.68 kg/hm²)。③土壤硒含量对玉米籽粒的硒含量有促进作用, 供试品种籽粒硒含量依次为: 兴农单 3 号>双玉 919>万玉 168>恩单 804>康农玉 108>正大 999>华玉 11 号>禾盛玉 718。

关键词:玉米品种; 硒含量; 硒土壤背景

中图分类号: S513 **文献标识码:** A

硒(Se)是人体必需的微量元素之一^[1], 对防治疾病、增进健康和延缓衰老具有重要意义^[2]。世界上土壤含硒量一般在 0.01 ~ 2.00 mg/kg 之间^[3], 且土壤中硒的分布极不均匀, 在我国多数地区处于缺硒地带^[4-6], 无法满足人体所需的硒含量, 致使人体缺硒, 导致克山病、大骨节病等疾病^[7]。要改变目前缺硒的状态, 通过作物富硒来补充人体硒含量是公认的直接、安全有效的补硒途径^[8]。玉米是我国三大禾谷类作物之一, 也是重要的饲料作物^[9]。目前玉米富硒的主要途径有: 叶面喷硒、根外施硒、土壤硒源^[10-13]。在不同土壤硒含量的条件下, 筛选较高富硒性能的玉米品种对玉米富硒生产有着积极的意义。基于这一设想, 2017 年, 在湖北省恩施市新塘乡下塘坝村(富硒区)和白杨坪乡桥头坝村(非富硒区)进行了不同土壤硒含量对玉米农艺性状、产量及籽粒硒含量的研究, 获得了初步结果。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试玉米品种为: 恩单 804、华玉 11、双玉 919、

兴农单 3 号、万玉 168、禾盛玉 718、康农玉 108、正大 999, 由恩施市新塘乡农技服务中心提供。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计, 小区面积 6 m × 3 m, 株距 0.4 m, 33 333 株/hm², 重复 3 次, 试验于 2017 年分别在恩施市新塘乡下塘坝村(土壤总硒 0.469 mg/kg, 代表富硒区)、恩施市白杨坪乡桥头坝村(土壤总硒 0.195 mg/kg, 代表非富硒区)进行。下塘坝试验点土壤的碱解氮 108.56 mg/kg, 有效磷 19.76 mg/kg, 速效钾 129.23 mg/kg, 有机质 24.36 g/kg, 总硒 0.469 mg/kg。桥头坝试验点的碱解氮 63.00 mg/kg, 有效磷 13.43 mg/kg, 速效钾 81.90 mg/kg, 有机质 13.59 g/kg, 总硒 0.195 mg/kg。

1.3 测定项目和方法

1.3.1 考种 玉米成熟后分小区收获, 每小区取具有代表性 3 株玉米样, 主要测定指标为株高、茎粗(从地下到地上第三节)、穗位、可见叶片数、果穗长、果穗粗、秃顶长、每穗粒数、百粒重、产量。

1.3.2 硒含量测定 将考种完成后的材料, 放入电热鼓风干燥箱中, 设置 60 °C 至样品恒重, 取玉米棒

①基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项(201303106)和湖北省富硒产业研究院项目(XKJ-201501-15)资助。

* 通讯作者(xingdy_2006@126.com)

作者简介: 王孟(1992—), 女, 湖北恩施人, 硕士研究生, 主要从事作物栽培学研究。E-mail: twodream@yeah.net

的中间部位(2/3)的籽粒,用检验粉碎机(JFSJ-100-1)玉米籽粒粉碎,样品粉碎过 1 mm 筛后,混合酸(硝酸:高氯酸=4:1)在 170 °C 下消解至无色透明,用 AFS-9700 原子荧光光度计(北京海光)测定硒含量(具体方法参照 GB/T5009.93—2003《食品中硒的测定》)。土壤样品采用风干土样测定,土壤中硒含量测定参照标准 NY/T 1104—2006《土壤中全硒的测定》。

1.4 数据分析

相关数据采用 Microsoft Excel 2003 录入和整理,用 SAS8.0 数据分析软件进行多重比较(Duncan 法)分析。

2 结果与分析

2.1 农艺性状

不同玉米品种农艺性状的测定结果见表 1。由表 1 可知,在非富硒区,不同品种间在株高、穗位、可见叶片数、茎粗、穗粗、秃顶长间均有差异($P<0.05$),其果穗长差异不显著($P>0.05$)。康农玉 108 的株高显

著高于其他品种($P<0.05$) ;华玉 11 的穗位显著高于其他品种($P<0.05$) ;康农玉 108、万玉 168、华玉 11 的茎粗显著高于除华玉 11、双玉 919 以外的其他品种($P<0.05$) ;品种间果穗长没有差异($P>0.05$) ;万玉 168 的穗粗显著高于其他品种($P<0.05$) ;禾盛玉 718 的秃尖长最长,华玉 11 的秃尖长最短。由此可见,在非富硒区,康农玉 108、万玉 168、华玉 11 的农艺性状最佳。在富硒区,不同品种间在株高、可见叶片数、茎粗、穗粗、秃顶长均有差异($P<0.05$),其穗位、果穗长差异不显著($P>0.05$)。康农玉 108 的株高显著高于除万玉 168 以外的其他品种($P<0.05$) ;万玉 168 的茎粗显著高于除康龙玉 108、双玉 919、恩单 804 以外的其他品种($P<0.05$) ;康龙玉 108 的穗粗显著高于除禾盛玉 718、双玉 919 以外的其他品种($P<0.05$) ;禾盛玉 718 的秃尖长最长,华玉 11 的秃尖长最短。由此可见,在富硒区,康农玉 108、万玉 168、华玉 11 的农艺性状最佳。综上所述,在富硒区、非富硒区,康农玉 108、万玉 168、华玉 11 的农艺性状最佳。

表 1 土壤含硒量对玉米农艺性状的影响
Table 1 Effect on maize agronomic characters under the soil selenium contents

处理	品种	株高(cm)	穗位(cm)	可见叶片数	茎粗(cm)	果穗长(cm)	穗粗(cm)	秃尖长(cm)
非富硒区	华玉 11	255.00 ± 20.98 bc	131.00 ± 8.50 a	12.40 ± 0.49 ab	8.10 ± 0.57 ab	23.52 ± 2.22 a	17.97 ± 0.58 de	0.00 ± 0.00 d
	康农玉 108	330.33 ± 26.58 a	111.50 ± 5.57 bc	12.50 ± 0.58 ab	8.20 ± 0.85 a	21.38 ± 0.95 a	19.48 ± 1.05 bc	3.48 ± 0.28 a
	恩单 804	273.33 ± 15.15 b	106.25 ± 3.60 c	12.50 ± 1.05 ab	7.15 ± 1.17 bc	21.76 ± 1.83 a	19.28 ± 0.90 cd	1.43 ± 0.22 c
	禾盛玉 718	255.33 ± 10.84 bc	97.75 ± 4.58 d	12.83 ± 0.75 ab	7.20 ± 0.44 bc	22.63 ± 4.65 a	17.87 ± 1.14 e	3.80 ± 0.38 a
	兴农单 3 号	235.50 ± 21.01 cd	110.00 ± 6.32 bc	12.00 ± 0.89 b	6.78 ± 0.58 c	21.33 ± 1.97 a	18.28 ± 1.84 cde	2.70 ± 0.80 b
	万玉 168	261.00 ± 21.00 b	118.33 ± 5.74 bc	13.17 ± 0.75 a	8.28 ± 0.88 a	23.67 ± 2.25 a	20.80 ± 1.52 a	2.57 ± 0.37 b
	双玉 919	274.00 ± 22.95 b	114.80 ± 10.87 b	12.67 ± 1.03 ab	7.65 ± 0.92 abc	21.60 ± 0.06 a	20.63 ± 0.32 ab	1.80 ± 0.41 c
	正大 999	232.00 ± 10.35 d	110.00 ± 6.32 bc	12.75 ± 0.74 ab	6.95 ± 0.85 c	21.53 ± 0.75 a	19.25 ± 0.24 cd	2.74 ± 0.59 b
	华玉 11	324.50 ± 4.95 b	140.83 ± 12.46 a	12.50 ± 0.84 b	7.55 ± 0.78 c	20.83 ± 1.03 a	18.98 ± 0.21 abc	0.53 ± 0.83 d
富硒区	康农玉 108	353.17 ± 19.32 a	124.17 ± 8.26 a	14.00 ± 1.10 a	8.44 ± 0.71 ab	19.73 ± 1.26 a	20.27 ± 1.37 a	2.37 ± 0.95 abc
	恩单 804	316.67 ± 7.02 b	123.67 ± 13.20 a	14.17 ± 0.98 a	7.75 ± 0.53 bc	20.63 ± 2.54 a	17.58 ± 1.18 d	1.57 ± 0.60 c
	禾盛玉 718	322.42 ± 14.98 b	126.50 ± 7.98 a	14.33 ± 0.82 a	7.15 ± 0.07 c	19.75 ± 1.68 a	20.15 ± 0.69 a	3.23 ± 1.28 a
	兴农单 3 号	322.58 ± 24.94 b	134.50 ± 12.79 a	13.83 ± 1.60 a	7.28 ± 0.46 c	21.38 ± 1.97 a	17.42 ± 0.88 d	2.705 ± 0.31ab
	万玉 168	305.33 ± 18.60 b	125.83 ± 9.45 a	14.50 ± 0.55 a	8.53 ± 0.55 a	19.62 ± 1.60 a	18.4 ± 1.08 bcd	1.97 ± 0.97 bc
	双玉 919	331.00 ± 15.69 ab	130.67 ± 15.58 a	13.67 ± 0.82 ab	8.33 ± 0.77 ab	21.88 ± 1.48 a	19.62 ± 0.91 ab	2.00 ± 0.78 bc
	正大 999	310.83 ± 16.42 b	128.83 ± 12.77 a	14.33 ± 1.37 a	7.30 ± 1.04 c	21.65 ± 3.33 a	17.95 ± 1.48 cd	2.47 ± 0.29 abc

注:同列数据小写字母不同表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著(平均值±标准差, Duncan 法),下表同。

不同玉米品种在富硒区的株高、穗位、可见叶片数均高于非富硒区,说明土壤中一定硒含量有利于提高玉米的株高、穗位,缓解玉米叶片的衰老。这与刘爱华等^[14]研究结果一致,适量的硒进入植物体后,其过氧化物酶活性增高,可提高植株的抗逆性、抗衰

老的能力。

2.2 产量

不同玉米品种的产量表现见表 2。由表 2 可以看出,在非富硒区,供试品种的产量均值为 6 839.09 kg/hm²,产量较高的品种为康农玉 108(7 803.93 kg/hm²)、华玉

11(7 776.68 kg/hm²), 产量较低的品种有兴农单 3 号(6 060.60 kg/hm²); 在富硒区, 供试品种的产量均值为 6 372.71 kg/hm², 产量较高的品种为康农玉 108(7 841.27 kg/hm²)、双玉 919(7 272.33 kg/hm²), 产量较低的品种有兴农单 3 号(5 324.76 kg/hm²)。从试验产量上看, 土壤富硒量未对产量形成积极的影响。分析两个试验点的结果, 供试玉米品种的平均产量依次为: 康农玉 108(7 822.60 kg/hm²)>华玉 11 号(7 302.11 kg/hm²)>双玉 919(6 940.47 kg/hm²)>禾盛玉 718(6 860.41 kg/hm²)>正大 999(6 374.98 kg/hm²)>万玉 168(5 964.29 kg/hm²)>恩单 804(5 889.69 kg/hm²)>兴农单 3 号(5 692.68 kg/hm²)。有研究显示, 施一定含量的硒肥能提高作物的产量^[15-16], 但在本研究中, 供试品种的产量没有表现出正向的变化趋势, 这可能与海拔、积温、生产水平等有关, 富硒区的海拔高于非富硒区, 其积温和生产水平却低于非富硒区, 这对产量有一定影响。在以后的研究中, 除了对试验中的相关研究外, 还应考虑生产水平的一致性。

表 2 土壤含硒量对玉米产量及其相关因子的影响
Table 2 Effect on maize yields and correlation factors under the soil selenium contents

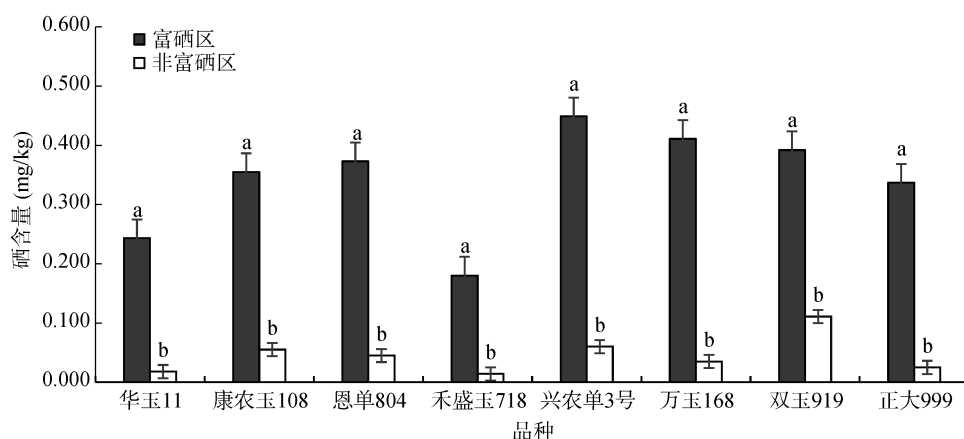
处理	品种	每穗粒数	百粒重(g)	产量(kg/hm ²)
非富硒区	华玉 11	635.20 ± 34.49 cd	40.47 ± 0.82 a	7 776.68 ± 100.67 a
	康农玉 108	779.31 ± 30.75 a	35.37 ± 3.48 bc	7 803.93 ± 120.45 a
	恩单 804	600.20 ± 44.01 de	33.38 ± 3.48 bc	6 386.38 ± 121.51 d
	禾盛玉 718	725.67 ± 22.93 b	36.80 ± 2.90 b	7 552.73 ± 141.49 b
	兴农单 3 号	580.19 ± 46.04 e	35.85 ± 2.04 bc	6 060.60 ± 104.65 e
	万玉 168	633.95 ± 44.01 cd	32.23 ± 3.17 d	6 161.80 ± 113.14 e
	双玉 919	667.41 ± 34.17 c	32.68 ± 2.11 d	6 608.61 ± 169.27 c
	正大 999	671.41 ± 40.36 c	29.29 ± 1.34 e	6 361.99 ± 120.79 d
富硒区	华玉 11	566.70 ± 45.05 c	40.16 ± 0.98 a	6 827.53 ± 114.54 c
	康农玉 108	755.73 ± 33.18 a	34.09 ± 0.90 bc	7 841.27 ± 140.01 a
	恩单 804	561.79 ± 49.08 c	32.01 ± 1.72 d	5 392.99 ± 184.84 g
	禾盛玉 718	639.12 ± 22.35 b	31.92 ± 2.69 d	6 168.09 ± 112.67 e
	兴农单 3 号	552.94 ± 27.01 c	32.10 ± 1.29 d	5 324.76 ± 136.46 g
	万玉 168	557.02 ± 35.97 c	34.79 ± 1.54 b	5 766.77 ± 155.55 f
	双玉 919	745.20 ± 31.72 a	32.53 ± 1.78 cd	7 272.33 ± 139.35 b
	正大 999	643.89 ± 35.79 b	33.07 ± 1.61 bcd	6 387.97 ± 158.21 d

进一步分析可以看出, 不同玉米品种在非富硒区、富硒区的产量表现不一。以正大 999 为对照, 在非富硒区, 康农玉 108 的产量最高, 其次是华玉 11、禾盛玉 718、双玉 919, 分别高于对照 1 441.94、1 414.69、1 190.74、246.62 kg/hm²; 兴农单 3 号的产量最低, 低于对照 301.39 kg/hm²。在富硒区, 康农玉 108 的产量最高, 其次是双玉 919、华玉 11, 分别高于对照 1 453.30、884.36、439.56 kg/hm²; 兴农单 3 号的产量最低, 低于对照 1 063.21 kg/hm²。由此可知, 康农玉 108、双玉 919、华玉 11 较为适合在富硒区、非富硒区种植。

2.3 硒含量

两个试点的玉米品种籽粒硒含量见图 1。由图 1

可知, 不同品种富硒区籽粒硒含量极显著高于非富硒区($P<0.01$), 说明不同玉米品种籽粒的硒含量会随着土壤中硒含量的增加而增加。以正大 999 为对照, 在富硒区, 玉米籽粒富硒能力较强的为: 兴农单 3 号、万玉 168、双玉 919, 其硒含量分别比对照高 0.112、0.074、0.055 mg/kg; 玉米籽粒硒含量较低的为华玉 11、禾盛玉 718, 其硒含量分别比对照低 0.094、0.157 mg/kg。在非富硒区, 玉米籽粒富硒能力较强的为: 双玉 919、兴农单 3 号、康农玉 108, 其硒含量分别比对照高 0.086、0.035、0.03 mg/kg; 玉米籽粒硒含量较低的为华玉 11、禾盛玉 718, 其硒含量分别比对照低 0.007、0.011 mg/kg。由此可见, 双玉 919 在富硒区和非富硒区的适应性最强, 其籽粒富硒能力强。



(图中小写字母不同表示同一玉米品种在两种硒含量区差异达到 $P < 0.05$ 显著水平)

图 1 不同处理玉米籽粒硒含量积累差异

Fig. 1 Maize selenium contents under different treatments

3 小结

1) 土壤硒含量对玉米的株高、穗位、可见叶片数有增加效应, 富硒区玉米的 3 个指标高于非富硒区, 但富硒区的单产未能表现高于非富硒区。

2) 供试品种的产量依次为康农玉 108 ($7\ 822.6\ \text{kg}/\text{hm}^2$) > 华玉 11 号 ($7\ 302.11\ \text{kg}/\text{hm}^2$) > 双玉 919 ($6\ 940.47\ \text{kg}/\text{hm}^2$) > 禾盛玉 718 ($6\ 860.41\ \text{kg}/\text{hm}^2$) > 正大 999 ($6\ 374.98\ \text{kg}/\text{hm}^2$) > 万玉 168 ($5\ 964.29\ \text{kg}/\text{hm}^2$) > 恩单 804 ($5\ 889.69\ \text{kg}/\text{hm}^2$) > 兴农单 3 号 ($5\ 692.68\ \text{kg}/\text{hm}^2$)。

3) 土壤硒含量对玉米籽粒的硒含量有促进作用, 供试品种籽粒硒含量依次为: 兴农单 3 号 > 双玉 919 > 万玉 168 > 恩单 804 > 康农玉 108 > 正大 999 > 华玉 11 号 > 禾盛玉 718。

参考文献:

- [1] 张均华, 朱练峰, 禹盛苗, 等. 稻田硒循环转化与水稻硒营养研究进展[J]. 应用生态学报, 2012, 23(10): 2900–2906
- [2] 张现伟, 郑家奎, 张涛, 等. 富硒水稻的研究意义与进展[J]. 杂交水稻, 2009, 24(2): 5–9
- [3] zhu T G, Pilon-Snnibs E A H, zhao F J, et al. Selenium in higher plants: Understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation[J]. Trends in Plant Science, 2009, 14(8): 436–442
- [4] 迟凤琴, 徐强, 匡恩俊, 等. 黑龙江省土壤硒分布及其影响因素研究[J]. 土壤学报, 2016, 53(5): 1262–1274
- [5] 戴慧敏, 宫传东, 董北, 等. 东北平原土壤硒分布特征及影响因素[J]. 土壤学报, 2015, 52(6): 1356–1364
- [6] 罗友进, 韩国辉, 孙协平, 等. 三峡库区(重庆段)土壤硒分布特征及影响因素[J]. 土壤, 2018, 50(1): 131–138
- [7] 李日邦, 谭见安, 王五一, 等. 提高食物链硒通量防治大骨节病和克山病示范研究[J]. 地理学报, 1999(2): 64–70
- [8] 刘春菊, 刘夫国, 陈伟, 等. 叶面喷施硒肥对鲜食玉米硒富集的影响[J]. 江苏农业学报, 2012, 28(4): 713–716
- [9] 王空军, 董树亭, 胡昌浩, 等. 我国 1950s~1990s 推广的玉米品种叶片光合特性演进规律研究[J]. 植物生态学报, 2001(2): 247–251
- [10] 黄丽美, 徐宁彤, 曲琪环. 硒对玉米产量及籽粒营养品质、重金属含量的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(10): 59–61
- [11] 樊文华, 郭利刚. 硒、钴配施对玉米产量及籽粒蛋白质和硒、钴含量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(2): 299–302
- [12] 咎亚玲, 王朝辉, 毛晖, 等. 施用硒、锌、铁对玉米和大豆产量与营养品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(1): 252–256
- [13] 杨德平, 周成河, 饶莉, 等. 玉米籽粒含硒量与土壤硒的关系及施硒肥的富硒效应[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(33): 195–196
- [14] 刘爱华, 段克清, 张大明. 硒对农作物影响的探讨[J]. 现代农业科技, 2008(22): 209–208
- [15] 段门俊, 田玉聪, 吴芸紫, 等. 叶面喷施亚硒酸钠对再生稻产量及品质的影响[J]. 中国水稻科学, 2018, 32(1): 96–102
- [16] 郑甲成, 刘婷. 不同浓度硒肥对粳稻硒含量和产量的影响[J]. 土壤, 2014, 46(1): 88–93

Effects of Soil Selenium Content on Agronomic Traits, Yield and Selenium Content of Maize

WANG Meng^{1,2,3}, ZHANG Junqiang⁴, TAN Yahua⁵, SHANG Shuigen^{1,2,3}, XU Yinyin^{1,2,3},
SHI Lei^{1,2,3}, JIANG Shuochen^{1,2,3}, JIANG Hanfeng^{1,2,3}, XIONG Ruigang⁶, JIA Xudong^{1,2},
XING Danying^{1,2,3*}, XIE Yimei⁷

(1 *Crop Se-rich Application Technology Institute, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China*; 2 *College of Agronomy, Yangtze University, Jingzhou, Hubei 434025, China*; 3 *Collaborative Innovation Center for Grain Industry, Jingzhou, Hubei 434025, China*; 4 *Soil and Fertilizer Workstation of Enshi Prefecture, Enshi, Hubei 445000, China*; 5 *Soil and Fertilizer Workstation of Enshi City, Enshi, Hubei 445000, China*; 6 *Xintang Technology Extension Service Center for Agricultural in Enshi, Enshi, Hubei 445012, China*; 7 *National Quality Supervision and Testing Center for Selenium Products, Enshi, Hubei 445000, China*)

Abstract: Eight maize varieties with different genetic backgrounds were planted in two kinds of soils with different selenium contents to study the differences of agronomic characters, yield and selenium content of maize. The results showed that soil selenium content had increasing effects on plant height, ear position and visible leaf number of maize, the three indexes of maize in selenium-enriched region were higher than those in non-selenium-rich region, but maize yield in selenium-enriched region was not higher than that of non-selenium-rich region. The yields of the tested varieties were 7 822.6 kg/hm² for Kangnongyu 108, 7 302.11 kg/hm² for Huayu 11, 6 940.47 kg/hm² for Shuangyu 919, 6 860.41 kg/hm² for Heshengyu 718, 6 374.98 kg/hm² for Zhengda 999, 5 964.29 kg/hm² for Wanyu 168, 5 889.69 kg/hm² for Endan 804 and 5 692.68 kg/hm² for Xingnongdan No. 3, respectively. Selenium content in soil promoted the selenium content in maize kernels, and selenium content in grains of the tested varieties was in an order of Xingnongdan No.3 > Shuangyu 919 > Wanyu168 > Endan 804 > Kangnongyu 108 > Zhengda 999 > Huayu 11 > Heshengyu 718.

Key words: Maize variety; Selenium content; Selenium soil background