

一次施钾对夏玉米产量·钾素积累及钾肥利用率的影响

王清和 (安徽省来安县农业农村局种子管理站, 安徽来安 239200)

摘要 [目的]研究一次性施用钾肥用量对夏玉米产量和钾肥利用率的影响,为明确钾肥适宜用量和玉米高产稳产提供参考。[方法]以夏玉米品种隆平206为试验材料,在一次施用条件下,设置不同钾肥用量(0、45、135、270、540 kg/hm²),研究钾肥用量对玉米产量、钾素吸收和利用的影响。[结果]玉米产量呈随着施钾量增加先增加后减少的趋势,各处理玉米产量呈 $K_{270} \approx K_{135} \geq K_{45} \approx K_{540} \geq K_0$ 的规律,其中, K_{270} 和 K_{135} 处理的产量最高,比对照分别增产20%和18%。兼顾玉米产量、肥料养分利用和损失,认为钾肥用量135 kg/hm²是较为适宜的施钾量,该施钾量条件下,钾肥的表现利用率为64.8%。[结论]综合考虑玉米产量、籽粒钾含量和钾肥利用效率等因素,皖南地区隆平206一次性施用的适宜施钾量为135 kg/hm²。

关键词 夏玉米;一次施肥;施钾量;肥料利用率;养分吸收

中图分类号 S143.3 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)12-0149-03

doi:10.3969/j.issn.0517-6611.2020.12.042



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of One-time Application of Potassium Fertilization on Potassium Accumulation and Utilization Rate of Potassium and Yield of Summer Maize

WANG Qing-he (Lai'an County Seed Management Station, Agricultural and Rural Bureau, Lai'an, Anhui 239200)

Abstract [Objective] The effect of potassium fertilizer on summer maize yield and utilization rate of potassium fertilizer was studied, which provided reference for determining the appropriate amount of potassium fertilizer application and the high and stable yield of summer maize. [Method] Summer maize variety "Longping 206" was used as the material. Under the condition of one-time application of potassium fertilizer, different rate of potassium fertilizers (0, 45, 135, 270, 540 kg/hm²) were set to study the effect of potassium on its absorption and utilization, and the yield of summer maize. [Result] The yield was increased first and then decreased with the increase of potassium application rate. The yield of maize for each treatment was as followed: $K_{270} \approx K_{135} \geq K_{45} \approx K_{540} \geq K_0$. Treatments K_{270} and K_{135} produced the highest yield, which was 20% and 18% higher than the control, respectively. Taken into account of the fertilizer utilization and loss of maize yield, the appropriate rate of potassium fertilizer was 135 kg/hm². Under this rate of potassium fertilizer application, the apparent recovery efficiency was 64.8%. [Conclusion] Comprehensive factors such as yield, potassium concentration of grain and potassium utilization efficiency, the optimum one-time application rate of potassium fertilizer was 135 kg/hm² for summer maize in South Anhui Province.

Key words Summer maize; One fertilization; Potassium application; Fertilizer utilization; Nutrient uptake

钾是作物高产稳产和品质提升的重要基础保障^[1-2]。我国农田复种指数高、追求高产,导致土壤钾素亏缺,因此提高作物的钾肥吸收利用、降低肥料养分损失对稳定粮食产量和减少环境污染至关重要^[3-4]。目前,已有大量研究探索了钾肥施用对作物产量、钾素吸收积累和钾肥利用率等方面的影响,相关作用和机制也较为清楚^[5-7]。但不同作物品种钾肥需求特性差异较大,不同种植区域土壤钾素状况相差甚远,因此,作物钾肥施用技术和适宜施钾量一直是农业科研工作的重点和热点^[7-9]。

为了提高钾肥利用率、降低损失,大多数研究集中在改进钾肥施用方式和应用缓控释钾肥等方面^[10-12]。研究发现,改进施钾施用方式和适宜的钾肥用量能够提高玉米产量和钾肥利用率,在一定范围内,玉米籽粒产量随着施钾量的增加而增加,但过量施钾则会降低玉米产量^[5,13]。王火焰等^[14]研究认为根区一次施肥能够提高作物产量的同时,提高肥料利用率、降低损失。王宜伦等^[11]研究发现,采用粒片状肥料能够实现夏玉米一次施肥,随着农业全程机械化进程的推荐,钾肥一次施用将成为主推技术,但目前钾肥一次施用技术研究较少,优化的施肥方式和适宜的钾肥用量尚不明确。为此,笔者在皖南夏玉米区采用一次性施钾的方式,设置不同水平的钾肥施用量,研究一次性施钾对玉米产量和钾素吸

收利用的影响,以期对夏玉米钾肥一次性高效施用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验地位于安徽皖南夏玉米种植区,试验土壤为红黄壤,供试土壤(0~20 cm) pH 5.6,有机质18.6 g/kg,碱解氮89.1 mg/kg,有效磷28.3 mg/kg,速效钾128.1 mg/kg。试验地多年年平均气温16.9℃,年平均降水量1554.4 mm,属于湿性亚热带季风气候。

1.2 试验材料 供试玉米品种选用隆平206,种子购自安徽隆平高科种业有限公司。

1.3 试验设计 试验设施钾量(K_2O)为0、45、135、270、540 kg/hm² 5个水平,分别用 K_0 、 K_{45} 、 K_{135} 、 K_{270} 、 K_{540} 表示。所用钾肥为氯化钾(含 K_2O 60%),分别于播种时一次性条施入土壤,每个处理氮、磷用量相同,施N 225 kg/hm², P_2O_5 90 kg/hm²,氮肥在拔节期、大喇叭口期按4:6的比例施入,磷肥在播种前全部施入。小区面积为16.8 m²(3.0 m × 5.6 m),3次重复,随机区组排列。

1.4 样品采集与指标测定

1.4.1 土壤样品的采集及测定 在试验整地前和玉米收获后采集0~20 cm 土层土壤,用于测定土壤的基础肥力和钾素含量。土壤基础理化性质按常规方法测定^[15]:采用重铬酸钾容量法-外加热法测定土壤有机质含量,采用碱解扩散法测定土壤碱解氮含量;采用0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼蓝比

作者简介 王清和(1973—),男,安徽来安人,助理农艺师,从事农业技术推广和种业管理工作。

收稿日期 2020-05-26

色法测定土壤有效磷含量,采用 NH_4OAc 浸提-火焰光度法测定土壤速效钾含量。

1.4.2 植株样品的采集及测定。在玉米成熟期,对每个小区进行单独采收,测定籽粒和秸秆鲜重。取部分代表性植株的根系、秸秆和籽粒,于 $105\text{ }^\circ\text{C}$ 下杀青 30 min , $65\text{ }^\circ\text{C}$ 烘干至恒重,计算含水量,折算籽粒和秸秆干物质量。烘干样品经粉碎过筛,经浓 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 消煮,采用火焰光度法测定钾含量。

1.5 数据处理与统计分析 利用 SPSS 19.0 软件进行方差分析, Duncan 新复极差法多重比较判断处理间差异显著性 ($P < 0.05$)。

养分积累量 ($\text{kg}/\text{株}$) = [秸秆干重 ($\text{kg}/\text{株}$) \times 秸秆养分含量 (g/kg) + 籽粒干重 ($\text{kg}/\text{株}$) \times 籽粒养分含量 (g/kg)] / 1 000

肥料表观利用率 = [施肥区养分吸收量 (kg/hm^2) - 对照养分吸收量 (kg/hm^2)] / 养分施入量 (kg/hm^2) $\times 100\%$

农学利用率 (kg/kg) = [施肥区产量 (kg/hm^2) - 对照产量 (kg/hm^2)] / 养分施入量 (kg/hm^2)

2 结果与分析

2.1 一次施钾对玉米干物质积累和产量的影响 由表 1 可知,一次施用不同钾肥用量对玉米株高有显著影响,玉米株高随着施钾量的增加而增加,但过量施用钾肥 (K_{540}) 降低了玉米植株株高, K_{270} 处理株高 (207.7 cm) 最大, K_{135} (205.7 cm) 和 K_{270} 处理株高无显著差异。与此类似,钾肥用量显著影响籽粒干重和地上部干重,随着施钾量的增加籽粒干重和地上部干重均呈先增加后降低的趋势;其中, K_{270} 处理籽粒干重 ($148.8\text{ g}/\text{株}$) 和地上部干重 ($306.5\text{ g}/\text{株}$) 均最大, K_{135} 和 K_{270} 处理间无显著差异。一次施钾钾肥用量对玉米根干重无显著影响。

表 1 不同施钾量对夏玉米干物质积累的影响

Table 1 Effects of K application rates on biomass of summer maize

处理 Treatment	株高 Plant height cm	根干重 Root dry weight g/株	籽粒干重 Seed dry weight g/株	地上部干重 Aboveground dry weight g/株
K_0	189.3 d	11.7 a	121.3 b	253.1 c
K_{45}	198.3 bc	12.8 a	135.5 ab	273.4 b
K_{135}	205.7 ab	13.2 a	146.0 a	299.0 a
K_{270}	207.7 a	13.2 a	148.8 a	306.5 a
K_{540}	194.3 cd	11.3 a	130.3 ab	283.0 b

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercases in the same column indicate significant differences between different treatments at 0.05 level

由表 2 可知,一次施用不同钾肥用量对玉米产量和产量构成因素有显著影响, K_{135} 和 K_{270} 处理穗粒数显著高于其他处理,比对照 (K_0) 分别高 11% 和 12%。 K_{135} 和 K_{270} 处理间的百粒重和产量无显著差异,为各处理最高。与对照 (K_0) 相比, K_{135} 和 K_{270} 处理产量分别增加 18% 和 20%。各处理玉米产量表现为 $\text{K}_{270} \approx \text{K}_{135} \geq \text{K}_{45} \approx \text{K}_{540} \geq \text{K}_0$ 。

2.2 一次施钾对玉米植株钾含量的影响 由表 3 可知,与不施钾肥的对照相比,施用钾肥玉米茎秆、叶片和籽粒的钾含量均显著提高。随着钾肥施用量的增加各器官钾含量呈增加趋势,各处理植株根系、茎秆、叶片和籽粒的钾含量均以

K_{540} 处理最高。施用钾肥的 K_{45} 、 K_{135} 、 K_{270} 和 K_{540} 籽粒钾含量比不施钾肥的对照分别显著增加 15%、23%、26% 和 30%,施钾处理间籽粒钾含量无显著差异。

表 2 不同施钾量对夏玉米产量及其构成因素的影响

Table 2 Effect of K application rates on yield and yield components of summer maize

处理 Treatment	穗粒数 Grains per ear//粒	百粒重 100-grain weight//g	产量 Yield kg/hm ²
K_0	419.3 c	30.9 b	7 279.4 b
K_{45}	444.0 bc	31.7 ab	8 129.4 ab
K_{135}	466.0 a	32.6 a	8 759.6 a
K_{270}	474.0 a	32.7 a	8 930.2 a
K_{540}	436.7 bc	31.0 b	7 819.0 ab

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercases in the same column indicate significant differences between different treatments at 0.05 level

表 3 不同施钾量对夏玉米植株钾含量的影响

Table 3 Effect of K application rates on K concentration of summer maize

处理 Treatment	根系 Root	茎秆 Stem	叶片 Leaf	籽粒 Grain
K_0	7.72 c	10.21 e	6.17 d	3.84 b
K_{45}	9.54 c	14.62 d	9.20 c	4.43 a
K_{135}	11.74 b	19.39 c	11.67 b	4.73 a
K_{270}	13.35 ab	23.38 b	13.23 ab	4.85 a
K_{540}	14.00 a	28.70 a	14.68 a	4.98 a

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercases in the same column indicate significant differences between different treatments at 0.05 level

2.3 一次施钾对玉米钾肥利用率的影响 由表 4 可知,钾肥施用量对玉米植株的吸钾量和钾肥利用率有显著影响。随着钾肥施用量的增加植株的吸钾量显著增加,其中 K_{135} 和 K_{540} 植株的吸钾量比对照增加了 101% 和 165%。钾肥的表观利用率则随着钾肥用量的增加显著下降,其中 K_{45} 和 K_{135} 钾肥表观利用率分别为 83.8% 和 64.8%。与此类似,钾肥农学利用率也随着钾肥用量的增加而呈下降趋势,其中 K_{135} 钾肥农学利用率为 9.9 kg/kg 。

表 4 不同施钾量对玉米钾肥利用率的影响

Table 4 Effects of the K application rates on K utilization rate of summer maize

处理 Treatment	吸钾量 K accum- ulation g/株	表观利用率 Apparent recovery efficiency//%	农学利用率 Agronomy efficiency kg/kg
K_0	2.00 e	—	—
K_{45}	2.93 d	83.8 a	17.1 a
K_{135}	4.02 c	64.8 b	9.9 b
K_{270}	4.78 b	44.6 c	5.5 bc
K_{540}	5.29 a	26.8 d	0.9 c

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercases in the same column indicate significant differences between different treatments at 0.05 level

2.4 一次施钾对土壤钾含量的影响 由表 5 可知,随着钾肥施用量的增加,土壤速效钾含量呈增加趋势,其中 K_{540} 处理

土壤速效钾含量最高,显著高于其他处理。与对照相比, K_{135} 处理土壤速效钾含量(157.5 mg/kg)增加,但无显著差异。各处理玉米收获后土壤全钾和缓效钾含量均无显著差异。

表 5 不同施钾量对夏玉米土壤钾含量的影响

Table 5 Effects of the K application rates on soil K concentration

处理 Treatment	全钾 Total K g/kg	缓效钾 Slowly available K mg/kg	速效钾 Rapidly available K mg/kg
K_0	10.2 a	183.2 a	96.7 c
K_{45}	10.2 a	199.3 a	102.2 c
K_{135}	10.4 a	198.2 a	157.5 bc
K_{270}	10.4 a	201.3 a	212.2 b
K_{540}	10.8 a	208.9 a	504.1 a

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercases in the same column indicate significant differences between different treatments at 0.05 level

3 结论与讨论

合理施用钾肥是作物高产稳产的重要技术措施,适宜的钾肥用量不仅要兼顾玉米高产稳产,也要考虑提高钾肥的利用率^[8-9]。该研究采用一次性施用钾肥的方式研究不同施钾量对玉米产量和钾肥利用率的影响,探讨适宜的钾肥用量。结果表明,各处理玉米产量呈 $K_{270} \approx K_{135} \geq K_{45} \approx K_{540} \geq K_0$ 的规律,其中, K_{270} 和 K_{135} 处理的产量最高,比对照分别增产20%和18%。李波等^[16]对高产夏玉米的研究发现,登海661和郑单958最高产量的施钾量分别为184和201 kg/hm²,但在获得玉米高产和较高钾肥利用率的同时,适宜的施钾量为180 kg/hm²。该研究发现,施钾量135 kg/hm²时(K_{135} 处理)玉米产量、穗粒数和籽粒的百粒重与施钾量270 kg/hm²(K_{270} 处理)均无显著差异。因此,兼顾作物高产和化肥减量施用,该研究认为皖南夏玉米种植区隆平206钾肥一次施用适宜用量为135 kg/hm²。

表观利用率和农学利用率是表示养分利用率的常用指标,能够从不同方面反映作物对肥料的利用率^[10]。该研究发现,钾肥的表观利用率随着钾肥用量的增加显著下降, K_{45} 处理钾肥表观利用率为83.8%,但钾肥用量增加至135和270 kg/hm²时钾肥表观利用率分别为64.8%和44.6%。同样,钾肥用量增加,钾肥农学利用率也显著降低。与该研究结果一致,李波等^[16]研究发现,高产夏玉米钾肥偏生产力、农学利用率和钾素回收率均呈随着钾肥用量的增加而显著下降的趋势,施钾肥量为120 kg/hm²时,钾肥农学效率和钾素回收率最高。兼顾玉米产量、肥料养分利用和损失,该研究认为钾肥用量135 kg/hm²是较适宜的施钾量,该施钾量条件下,钾肥

的表观利用率和农学利用率分别为64.8%和9.9%。

如何科学施肥,提高肥料利用率,在获得作物高产稳产的同时,将肥料养分的损失降到最低是农业生产和环境保护亟待解决的战略问题^[17]。研究发现,优化施肥方式结合控释肥料,能够实现一次性施肥的作物高产和提高肥料养分利用率^[11,18]。王火焰等^[14]研究认为,探索最佳的施肥方式和施肥位点促进肥际与根际的最佳匹配,一次性精准施肥能够实现作物高产、养分高效、损失减少。该研究发现,不同施钾量对玉米收获后土壤速效钾含量有显著影响,施钾量为270和540 kg/hm²土壤全钾和缓效钾均呈增加趋势,且速效钾显著增加,分别为对照的2.2和5.2倍,说明当季施入的肥料钾素有大量残留于土壤,淋溶和径流损失风险严重,将产生较为严重的水体污染问题。与对照相比,施钾量为135 kg/hm²土壤速效钾含量(157.5 mg/kg)虽然略有增加,但无显著差异。

参考文献

- [1] 张磊,张维乐,鲁剑巍,等. 秸秆还田条件下不同供钾能力土壤水稻、油菜、小麦钾肥减量研究[J]. 中国农业科学, 2017, 50(19): 3745-3756.
- [2] 康利允,常高正,高宇宁,等. 不同氮、钾肥施用量对甜瓜养分吸收、分配及产量的影响[J]. 中国农业科学, 2018, 51(9): 1758-1770.
- [3] 何萍,金继运,李文娟,等. 施钾对高油玉米和普通玉米吸钾特性及子粒产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 620-626.
- [4] 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.
- [5] 李文娟,何萍,金继运. 钾素营养对玉米生育后期干物质和养分积累与转运的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(4): 799-807.
- [6] 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, 20(5): 1110-1118.
- [7] 王寅,高强,李翠兰,等. 吉林省玉米施钾增产效应及区域差异[J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25(8): 1335-1344.
- [8] 王宜伦,谭金芳,韩燕来,等. 不同施钾量对潮土夏玉米产量、钾素积累及钾肥效率的影响[J]. 西南农业学报, 2009, 22(1): 110-113.
- [9] 李书田,邢素丽,张炎,等. 钾肥用量和施用时期对棉花产量品质和棉田钾素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(1): 111-121.
- [10] 侯云鹏,张磊,孔丽丽,等. 施钾对不同肥力土壤玉米钾素吸收、分配及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2013, 21(11): 1333-1339.
- [11] 王宜伦,白由路,谭金芳,等. 采用粒片状肥料实现夏玉米一次施肥的可行性研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(4): 1126-1132.
- [12] 韩丹,刘金,黎妍妍,等. 烤烟缓/控释钾肥研究进展[J]. 生物技术进展, 2017, 7(4): 261-265.
- [13] 谭德水,金继运,黄绍文,等. 东北地区黑土、草甸土长期施钾对玉米产量及耕层土钾素形态的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(5): 850-855.
- [14] 王火焰,周健民. 根区施肥——提高肥料养分利用率和减少面源污染的关键和必需措施[J]. 土壤, 2013, 45(5): 785-790.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2007.
- [16] 李波,张吉旺,靳立斌,等. 施钾量对高产夏玉米产量和钾素利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(4): 832-838.
- [17] 姜超强,王火焰,卢殿君,等. 一次性根区穴施尿素提高夏玉米产量和养分吸收利用率[J]. 农业工程学报, 2018, 34(12): 146-153.
- [18] 葛均筑,展茗,赵明,等. 一次性施肥对长江中游春玉米产量及养分利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(5): 1073-1082.

(上接第144页)

- [6] 黄晓磊,乔格侠. 动物学——蚜虫类昆虫生物学特性及蚜虫学研究现状(1)[J]. 中国学术期刊文摘, 2006, 12(7): 4-5.
- [7] LOMBAERT E, CARLETTO J, PIOTTE C, et al. Response of the melon aphid, *Aphis gossypii*, to host-plant resistance: Evidence for high adaptive potential despite low genetic variability[J]. Entomol Exp Appl, 2009, 133(1):

46-56.

- [8] 曾令祥. 药用植物病虫害[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 2017: 501-503.
- [9] 严林,郭蕊,李亚娟,等. 枸杞棉蚜形态和生物学特性研究[J]. 昆虫学报, 2017, 60(6): 666-680.
- [10] 王向东,罗林军. 攀西桑粉虱的形态研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2007, 32(3): 121-125.