

施钾对饲用玉米产量与营养品质的影响

左启华^{1,2}, 李会彬¹, 张立峰^{1,2}, 杜雄¹, 边秀举¹

(1 河北农业大学农学院, 河北保定 071001; 2 农业部张北农业资源与生态环境重点野外观测试验站, 河北张家口 076450)

摘要: 在冀西北高寒区旱砂地条件下, 研究了钾肥施用量对饲用玉米产量和营养品质形成、根系吸收能力的影响。结果表明, 钾肥显著提高了饲用玉米的生物产量, 增产 5.3%~27.7%; 施用钾肥降低了粗蛋白、粗脂肪、全磷含量, 显著增加了粗纤维、粗灰分 and 全钾含量及其生物累积量, 含量增幅分别高达 6.9%、18.0% 和 85.9%, 生物累积量增幅分别高达 36.1%、50.4% 和 137.1%; 钾肥明显提高了伤流强度、各养分流量和钾离子浓度, 其中钾离子流量和浓度分别提高了 240.7% 和 42.9%, 降低了茎基部伤流液中全氮和无机磷的浓度。说明均衡的养分管理是提高饲用玉米产量及肥料效应的关键。

关键词: 饲用玉米; 生物产量; 钾肥; 伤流液; 营养品质

冀西北高原地处内蒙古高原南缘, 高寒干旱、土瘠地薄的资源环境成为植被生产的制约因素, 区域内农牧兼业, 少投多求, 管理粗放, 作物、牧草低产且不稳产^[1], 高达 40% 的畜群超载所产生的巨大环境负外部效应^[2], 使之成为华北地区重要的风沙源之一, 威胁着下风地区的生态安全, 严重影响了区域农牧业的协调与可持续发展^[3], 高产优质饲草的人工栽培是支撑区域畜牧业生产的必需。近来, 新兴作物饲用玉米的发展成为冀西北高寒区饲草增产的重要方面。

冀西北高原土壤以砂质栗钙土为主, 约占土地面积的 65%, 是饲用玉米主要种植区。砂质栗钙土土壤养分含量低、水肥储蓄力差, 传统作物秸秆麦所进行的施肥研究显示了氮肥高达 109.4% 的增产效应, 相应土壤磷素却亏缺 1.13 公斤/公顷^[4]; 新兴营养体作物饲用玉米同样表现出增产 36.1% 的氮肥效果^[5]。因此, 为了作物快速增产, 生产上普遍重施氮肥, 而少施或不施磷钾肥。长此以往, 将由于养分失衡而降低肥效。本研究旨在揭示砂质栗钙土农田下施钾对饲用玉米生物量、饲用品质、肥水利用效率的影响机制与效果, 为冀西北高寒区的饲草高效生产、优化饲用玉米养分管理技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

田间试验于 2006 年 5 月~9 月在河北省张家口市的农业部张北农业资源与生态环境重点野外科学观测试验站进行。试验站生态条件代表了冀西北高原, 年均气温 2.6℃, 降水量 400 毫米, 无霜期 103 天。试验田土壤类型为砂质栗钙土, 采用 ASI 法^[6]测定耕层土壤养分含量, 有机质 0.7%, 铵态氮 20.5 毫克/升, 速效磷 9.85 毫克/升, 速效钾 43 毫克/升, 有效钙 1789.55 毫克/升, pH 值为 7.2。

试验共设 4 个钾肥处理: 在施用 6 公斤/亩纯氮、4 公斤/亩五氧化二磷基础上, 分别施用 0、2.5、5、7.5 公斤/亩氧化钾, 相应以 K0、K1、K2、K3 表示。磷肥全部基施, 氮钾肥 1/2 基施, 1/2 于拔节期追施。氮肥选用尿素, 磷肥选用重过磷酸钙, 钾肥选用加拿大产氯化钾。试验设 3 次重复, 小区面积 25m²。

饲用玉米品种选择杂交品种“金坤8号”，种植密度1万株/亩，5月10日播种，8月31日收获。

1.2 测定项目与方法

1.2.1 生物量以及饲用营养品质的测定 从2006年6月20日至收获期2006年8月31日每隔10天取地上生物量一次。样品在105℃烘箱内杀青30分钟，然后在80℃条件下烘干至恒重。

植株样品全钾含量采用干灰化—火焰光度法测定；全磷含量采用干灰化—钒钼黄比色法测定；粗蛋白含量采用 $H_2SO_4-CuSO_4-K_2SO_4$ -凯式定氮法测定；粗脂肪（EE）含量采用索氏提取器—油重法测定；粗纤维（CF）含量采用酸碱法测定粗纤维（CF）含量；粗灰分（Ash）含量采用高温灼烧法测定。

1.2.2 茎基部伤流液的收集与测定 2006年7月3日拔节期后，收取地上秸秆的同时使用脱脂棉吸收法收集茎基部全天伤流液。伤流液经与脱脂棉分离后过滤待测。

游离氨基酸含量采用茚三酮法测定；铵态氮含量采用奈氏比色法测定；硝态氮含量采用硫酸—水杨酸比色法测定；无机磷含量采用钼黄法测定；钾离子含量采用火焰光度法测定。

1.2.3 计算方法

钾肥表观利用率% = [施钾处理的饲用玉米植株吸收钾量 - 未施钾处理的饲用玉米植株吸收钾量] × 100 / 施钾量；钾肥生理效率 = [施钾处理的饲用玉米生物产量 - 未施钾处理的饲用玉米生物产量] / [施钾处理的饲用玉米植株吸收钾量 - 未施钾处理的饲用玉米植株吸收钾量。^[7]

试验结果统计与分析应用 EXCEL2003 和 SAS V8 统计软件。

2 结果分析

2.1 不同施钾处理的饲用玉米产量和干物质积累特征

试验结果表明（表1），施钾有促进饲用玉米增产的趋势，除2.5公斤氧化钾/亩外，施钾与不施钾相比增产5.3%~27.7%。统计分析表明，只有当施钾量达到7.5公斤/亩时产量差异方达显著水平。

表1 不同钾肥处理饲用玉米生物产量

处理	重复 (公斤 / 亩)				平均产量 (公斤 / 亩)
K0	405.9	407.2	411.0	404.8	407.2 ^b
K1	461.1	362.7	384.2	387.8	399.0 ^b
K2	428.7	390.3	460.6	435.8	428.9 ^b
K3	513.7	485.4	619.1	462.2	520.1 ^a

注：表中同列数字后不同小写字母表示5%显著差异，下同；

2.2 不同施钾处理的饲用玉米营养品质

2.2.1 不同施钾处理的饲用玉米营养品质指标结果（表2）表明，施钾显著降低了饲用玉米粗蛋白、粗脂肪和全磷的含量，K3处理的三指标含量分别比K0降低23.6%、16.0%和38.3%，全磷含量降低幅度最大。

施钾显著增加了饲用玉米粗纤维、粗灰分 and 全钾的含量。施钾处理的粗纤维、粗灰分 and 全钾的含量分别比 K0 提高了 4.8%~6.9%、7.3%~18.0% 和 42.2%~85.9%，全钾含量增幅最大。

表 2 不同钾肥处理饲用玉米的营养品质指标含量

处理	粗蛋白(%)	粗脂肪(%)	粗纤维(%)	粗灰分(%)	全磷(%)	全钾(%)
K0	8.86 ^a	1.69 ^a	23.1 ^b	4.40 ^d	0.164 ^a	0.64 ^d
K1	8.85 ^a	1.53 ^b	23.1 ^b	4.72 ^c	0.139 ^b	0.91 ^c
K2	7.91 ^b	1.59 ^{ab}	24.2 ^a	4.90 ^b	0.122 ^c	0.93 ^{bc}
K3	6.77 ^c	1.42 ^c	24.7 ^a	5.19 ^a	0.101 ^d	1.19 ^a

2.2.2 不同钾肥处理的饲用玉米品质指标生物累积量

由于钾肥对饲用玉米的产量和品质指标含量的双重作用，饲用玉米的各品质指标生物累积量出现了与两者不同的变化特征（表 3）。

施钾显著提高了粗纤维、粗灰分 and 全钾生物累积量，K3 比 K0 分别提高了 36.1%、50.4% 和 137.1%。全钾的生物累积量增幅最大。

施钾使饲用玉米全磷生物累积量降低 16.4%~21.1%，施钾处理间差异并不显著。

表 3 还表明，施钾对饲用玉米的粗蛋白与粗脂肪累积量没有产生生产意义的显著影响。

表 3 不同钾肥处理饲用玉米各品质指标生物累积量

处理	粗蛋白 (公斤/亩)	粗脂肪 (公斤/亩)	粗纤维 (公斤/亩)	粗灰分 (公斤/亩)	全磷 (公斤/亩)	全钾 (公斤/亩)
K0	36.1	6.9	94.2	17.9	0.7	2.6
K1	35.3	6.1	92.0	18.8	0.6	3.6
K2	33.9	6.8	103.7	21.0	0.5	4.0
K3	35.2	7.4	128.2	27.0	0.5	6.2

2.3 不同施钾处理的饲用玉米根系吸收能力

不同施钾处理的茎基部伤流液数量与浓度分析结果（表 4）表明，施钾显著提高了饲用玉米根系对土壤溶液的吸收能力，有利于向地上部输送更多的水分和养分。K3 处理的伤流强度、全氮、无机磷以及钾离子流量较 K0 分别增加了 94.8%、24.3%、61.0% 和 240.7%，其中钾离子流量增幅最大，其次为伤流强度。可见施钾显著增强了玉米植株对土壤水分和钾离子的摄取能力。这对于冀西北高寒区雨养农作下的降水高效利用具有重要意义。

茎基部伤流液中钾离子浓度明显增加，K3 比 K0 提高了 42.9%。施钾降低了茎基部伤流液中全氮、无机磷的浓度，K3 比 K0 分别下降了 22.7% 和 18.9%。施钾对伤流液 N、P 和 K 浓度的影响与生物量中诸营养元素的浓度效果相一致。

钾肥显著增强了水分和钾离子的吸收能力，但是氮素、磷素供应受限而降低伤流液中全氮和无机磷的浓度，生物量增产受到限制。表 4 中，钾离子浓度和流量均高于全氮和无机磷，相比钾肥的增产作用，钾离子的渗透调节作用显得尤为突出。

监测表明,施钾稳定的增加了茎基部伤流液中各营养成分的流量以及钾离子含量,而相应降低了氮、磷营养成分的含量。

表4 不同钾肥处理饲用玉米根系吸收能力

处理	流量 (克 / · m ² / 天)				含量 (毫克 / 公斤)		
	伤流液	全氮	无机磷	钾离子	全氮	无机磷	钾离子
K0	245.8	0.0378	0.0082	0.0337	146.0	33.3	161.5
K1	305.7	0.0411	0.0105	0.0483	129.3	29.0	142.3
K2	289.1	0.0467	0.0120	0.0841	151.2	28.2	217.0
K3	479.0	0.0470	0.0132	0.1148	112.8	27.0	230.7

注:表中各项数据均为各时期结果之平均。

3 结论与讨论

饲用玉米以生物量为核心,并不刻意追求籽粒产量,这就为冀西北高寒区极不稳定的水土资源环境下发展饲草生产提供了方向。研究表明,在无霜期只有110天的冀西北高原,增加肥料投入成为饲草增产的先决因素,增肥增产稳产的农作实践昭示了环境恶劣的寒旱地投入区资源深度合理开发的技术潜力。

施钾利于根系的生长发育^[9]以及钾离子作为渗透调节物质^[9]促进植株吸收土壤水分的效应,对冀西北高寒区雨养条件下的饲用玉米及时吸收土壤水起了重要作用。随施钾量的提高,株体递增的伤流总量以及钾离子浓度,表明饲用玉米生物量形成的钾肥增产机制;而相应伤流液以及玉米植株氮、磷营养成分含量的降低,则源于土壤中氮、磷营养存量较低及其加强的水分吸收、生物量增产对氮、磷的稀释作用。均衡农田的养分管理^[10]成为提高饲用玉米产量及肥料效应的关键。

研究表明,钾肥提高了饲用玉米的粗纤维、粗灰分 and 全钾的含量及其生物累积量,降低了粗蛋白、粗脂肪和全磷的含量以及全磷的生物累积量。钾肥提高了钾离子的吸收能力,而抑制了氮磷的吸收。在氮磷肥没有增加的情况下,增加施钾量的增产效应所产生的稀释作用^[11]使得植株体内全氮、全磷含量降低。钾肥对粗纤维生物累积量的增幅也超过了钾肥的增产幅度。可见钾肥促进了饲用玉米的光合作用,由于相对缺乏氮、磷元素的供应,光合产物更多地转化为利用价值较低的粗纤维,而不是与氮、磷元素有关的粗蛋白和粗脂肪。通过氮磷钾合理的配合施用以获得高产优质的饲用玉米成为冀西北高寒区畜牧业生产发展的有力保障。

参考文献

- [1] 张立峰. 论华北农牧交错带生态与经济建设的策略与途径[J]. 应用生态学报, 2003, 14 (11): 2054 ~ 2056.
- [2] 冯立肖, 杜雄, 张立峰. 华北农牧交错带畜牧业外部经济效应解析[J]. 草业学报, 2009, 18 (2): 155 ~ 162.
- [3] 杜雄, 张立峰, 李会彬, 等. 钾素营养对饲用玉米养分吸收动态及产量品质形成的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13 (3): 393 - 397.

- [4] 刘建玲, 杨福存, 李仁岗, 等. 长期肥料定位试验栗钙土中磷肥在苜蓿上的产量效应及行为研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12 (2): 201 - 207.
- [5] 杜雄, 左启华, 冯丽肖, 等. 华北农牧交错区两种土壤类型下青饲玉米的施氮效应[J]. 作物学报, 2008, 34 (6): 1051 ~ 1059.
- [6] 加拿大钾磷肥研究所北京办事处. 土壤养分状况系统研究法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1992.
- [7] 吴萍萍, 刘金剑, 周毅, 等. 长期不同施肥制度对红壤稻田肥料利用率的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14 (2): 277 ~ 283.
- [8] 邹春琴, 李振声, 李继云. 小麦对钾高效吸收的根系形态学和生理学特征[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7 (1): 36 ~ 43.
- [9] 蔡昆争, 吴学祝, 骆世明. 不同生育期水分胁迫对水稻根叶渗透调节物质变化的影响[J]. 植物生态学报, 2008, 32 (2): 491 ~ 500.
- [10] 陈祥, 同延安, 杨倩. 氮磷钾平衡施肥对夏玉米产量及养分吸收和累积的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2008 (6): 19 ~ 22.
- [11] 汪建飞, 邢素芝, 杨久峰. 施用 N, P, K 肥对杂交苏丹草吸收 Cu, Zn, Mn 的影响[J]. 草业科学, 2005, (6): 42 ~ 45.