

施钾对青引 1 号燕麦草产量及根系的影响

刘文辉, 周青平*, 贾志锋, 梁国玲

(青海省畜牧兽医科学院, 青海西宁 810016)

摘要: 在缺钾地区, 开展了不同施钾对青引 1 号燕麦 (*Avena sativa* cv. Qingyin No.1) 干物质产量和根系的影响, 找出最佳施钾量, 为青海省燕麦种子生产提供依据。结果表明, 在施 N 54.75 kg/hm² 和施 P₂O₅ 51.75 kg/hm² 的基础上, 施 K₂O 40 kg/hm², 青引 1 号燕麦开花期收获时可获得最高的干物质产量和蛋白产量, 分别为 29575.0 和 2099.8 kg/hm², 二者均符合 $Y = a + bK + cK^2$ 函数变化。施 K₂O 40 kg/hm², 青引 1 号燕麦株高、总分蘖数、根长和根数最大, 分别为 184.5 cm、3.22 个/株、15.90 cm 和 26.17 条/株; 施 K₂O 20 kg/hm² 时, 植株茎粗和根量达最大, 分别为 0.585 cm 和 0.540 g/株。各产量性状、地下生物量以及饲草和蛋白产量间均存在显著或极显著正相关关系。

关键词: 青引 1 号燕麦; 钾肥; 饲草产量; 根系

中图分类号: S543+.7.06

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2010)02-0419-06

Effects of potassium fertilization on fodder yield and root system of *Avena sativa* cv. Qingyin No.1

LIU Wen-hui, ZHOU Qing-ping*, JIA Zhi-feng, LIANG Guo-ling

(Qinghai Academy of Animal Science and Veterinary Medicine, Xining 810016, China)

Abstract: Effects of potassium fertilization on dry matter yield and root system of *Avena sativa* cv. Qingyin No.1 were studied to optimize the potassium application for oats production in a potassium deficient area. The results show that the optimum fodder and protein yields of the cultivar are 29575.0 kg/ha and 2099.8 kg/ha respectively at the blossom stage under the N 54.75 kg/ha, P₂O₅ 51.75 kg/ha and K₂O 40 kg/ha fertilization. Relation between dry matter, protein yield and K application can be described as $Y = a + bK + cK^2$. Under the K₂O 40 kg/ha treatment, the plant height, tiller, root length and root number of the cultivar are the highest, are about 184.5 cm, 3.22 till/plant, 15.90 cm and 26.17 roots/plant, respectively. Under the 20 kg/ha K₂O fertilization, diameter of stem and root weight are the highest, 0.585 cm and 0.540 g/plant, respectively. There are significant correlations between above-ground, under-ground yields and fodder, protein yields.

Key words: *Avena sativa* cv. Qingyin No.1; potassium fertilizer; fodder yield; root system

燕麦 (*Avena sativa*) 属禾本科早熟禾亚科燕麦属一年生饲草料作物, 原产地中海及中国, 已有 2000 多年的栽培历史, 是世界上栽培面积最大的六大作物之一。世界上燕麦种植面积最大的国家是俄罗斯、地中海沿岸的国家、美国、加拿大、澳大利亚和德国^[1]。燕麦性喜凉爽湿润、耐寒, 对土壤要求不十分严格, 抗逆性强, 病虫害少, 耐瘠薄、抗杂类草等性能都比较强, 是适宜在青藏高原高寒牧区和半农半牧

区种植的高产优质草料兼用作物^[2,3]。因其适口性好, 易于栽培、贮藏, 已成为青海省当前冬春季节家畜补饲的重要饲草来源, 对青海省畜牧业生产的稳定发展起到了重要作用^[4-5]。近年来由国家投资在青海省建设了国家级燕麦种子生产基地, 建立燕麦原种田、良种繁育田和购置燕麦种子清选加工设备, 使燕麦种子生产上规模、上档次、上效益, 提升了青海省生产的燕麦种子等级, 加快了燕麦种子产业化

收稿日期: 2009-04-03 接受日期: 2009-09-07

基金项目: 农业部行业专项项目 (nyhyzx07-022, nyhyzx07-009-5); 国际植物营养研究所 (IPNI) 国际合作项目 (NMBF-Qinghai-2009) 资助。

作者简介: 刘文辉 (1979—), 男, 青海贵德人, 硕士, 助理研究员, 主要从事牧草栽培育种研究。E-mail: qhliuwenhui@163.com

* 通讯作者 E-mail: qpingzh@yahoo.com.cn

快速发展。目前青海省每年可为青藏高原及周边地区提供燕麦种子 $1300 \times 10^4 \sim 1800 \times 10^4 \text{ kg}^{[2-3]}$ 。

燕麦的产量不仅由其本身的遗传特性决定,也受外界环境的影响。其中肥、水、气、温等均是影响其产量的重要因素。钾是植物生长发育所需的三大养分之一,它以多种方式参与植物体内的各种代谢过程,对作物高产及保持品种的优良特性具有明显的作用^[6-7]。青海主要农业土壤其成土母质是富含水花云母、蒙脱石和绿泥石的黄土母质,按照全钾量、缓效性钾量和速效钾量的数值划分,耕作土壤属于土壤钾素养分高潜力地区,近期内施钾无效^[8]。然而,青海地区具有特殊的地理位置、生态气候条件,川、浅、脑三个种植层带作物种类有明显的差异,因而,土壤钾素含量呈现较大差别。目前,青海省有关燕麦的研究主要集中在丰产栽培、遗传育种、抗逆性评价、品质及燕麦草加工等方面^[9-13],施氮、磷肥对燕麦产量影响的研究有所报道^[1-3,14],但施钾对燕麦产量影响的报道较少。为此,于2007年对选育的青引1号燕麦进行单因子施钾试验,研究不同施钾水平对燕麦草产量及其根系的影响研究,旨在探明该地区施钾肥与产量和根系的积累关系,以及最佳施钾量,为青海省燕麦种子生产提供科学依据和技术指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于青海省西宁市湟中县上新庄镇东沟滩村,位于 $E101^{\circ}47'$, $N36^{\circ}21'$,海拔 2700 m,气候寒冷潮湿,无绝对无霜期,年平均气温 3.7°C ,年降水量 553 mm,且多集中在 7、8、9 三个月,年蒸发量 1830 mm, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温 1630.4°C , $\geq 0^{\circ}\text{C}$ 积温 2773.7°C 。地带性植被类型属高山草原,为西宁市主要产粮区之一。农作物主要以小麦、马铃薯、蚕豆、豌豆、油菜为主。试验地土壤属栗钙土,试验前土壤养分状况为全氮 1.55 g/kg 、全磷 2.24 g/kg 、全钾 24.90 g/kg 、有机质 26.60 g/kg 、pH 值 8.06、速效钾 127 mg/kg 、碱解氮 147 mg/kg 、速效磷 35 mg/kg 、全盐 1.02 g/kg 。试验前茬作物为小麦。

1.2 试验设计

试验采用全因子组合,在施纯 N 54.75 kg/hm^2 和 P_2O_5 51.75 kg/hm^2 基础上,设施 K_2O 0、10、20、30、40、50、60 kg/hm^2 7 个水平,分别用 K_0 、 K_{10} 、 K_{20} 、 K_{30} 、 K_{40} 、 K_{50} 、 K_{60} 表示;另设一个不施任何肥料对照(CK),共 8 个处理,完全随机区组排列,3 次重复。

供试作物青引 1 号燕麦 (*Avena sativa* cv. Qingyin No.1,由青海省畜牧兽医科学院草原所提供,为上年收获种子)。所用肥料为尿素(N 46%,青海产),过磷酸钙(P_2O_5 12%,四川产)和氯化钾(K_2O 60%,青海产)。试验小区面积为 $2 \text{ m} \times 5 \text{ m}$,小区间隔 0.3 m,保护行为 1 m。净试验面积 240 m^2 。青引 1 号燕麦播量 180 kg/hm^2 。条播,播深 3~4 cm,行距 30 cm,每小区共种植 7 行。出苗后,人工除杂草 2 次,田间管理和观测项目在同日完成。

1.3 测定项目与方法

分别在孕穗期、开花期、乳熟期测定每一小区干草产量,每小区取 3 个 1 m 样段,测定鲜草产量和风干草产量。在测过鲜草的样方内挖出 20 个分蘖株的地下部分,挖取深度 30 cm(据试验前观测,其根系主要分布在 0—20 cm 土层),洗净,风干,统计分蘖株的根量、根数、根长,每小区 3 个重复。各小区选取长势均匀的 10 株分蘖株,分别测定其总分蘖数、有效分蘖数、株高、茎粗(第二茎节处直径)。测产结束后留草样,凯氏定氮法测定其粗蛋白含量^[15]。

1.4 数据处理

对 1m 样段上所测得的数据折算成每 m^2 上的量(即按每 10m^2 35m 样段计)。

所得到的数据采用 Excel 2003 进行初步整理,用 SPSS for Windows 11.5 和 DPS 数据处理系统进行方差分析、相关分析和回归分析,多重比较采用 Duncan 在 0.05 水平上进行比较。

2 结果与分析

2.1 产量性状

不同施钾处理青引 1 号燕麦总分蘖数、有效分蘖数、茎粗和株高差异均达显著水平(表 1)。随着施钾量的增加,各产量性状也随之提高,总分蘖数显著增加至施钾 40 kg/hm^2 后无显著变化, K_{40} 处理分别较 CK 和 K_0 高 1.05 和 0.75 个/株;有效分蘖数显著增加至施钾 60 kg/hm^2 , K_{60} 处理分别较 CK 和 K_0 高 2.59 和 1.53 个/株;茎粗显著增加至施钾 20 kg/hm^2 后无显著变化, K_{20} 处理分别较 CK 和 K_0 高 0.089 cm 和 0.023 cm;株高显著增加至施钾 40 kg/hm^2 后无显著变化, K_{40} 处理分别较 CK 和 K_0 高 26.4 cm 和 19 cm。表明施钾能有效增加株高,茎粗,提高单株分蘖能力。

对各产量性状与施钾量间的回归分析结果表明,总分蘖数(TT)、有效分蘖数(AT)、茎粗(SD)与施钾量(K)间存在线性关系: $\text{TT} = 2.47 + 0.018 \text{ K}$ (R^2

表 1 青引 1 号燕麦产量性状

Table 1 The yield characteristics of *Avena sativa* cv. Qingyin No.1

处理 Treatment	总分蘖数 Total tiller (No./Plant)	有效分蘖 Avail. tiller (No./Plant)	茎粗 Stem diameter (cm)	株高 Plant height (cm)
CK	2.17 ± 0.14 f	0.58 ± 0.14 f	0.496 ± 0.034 d	158.1 ± 1.4 e
K ₀	2.47 ± 0.21 ef	1.64 ± 0.17 e	0.562 ± 0.008 c	164.6 ± 7.7 d
K ₁₀	2.67 ± 0.14 def	2.00 ± 0.00 d	0.575 ± 0.013 bc	176.7 ± 1.6 c
K ₂₀	2.81 ± 0.21 cde	2.39 ± 0.10 c	0.585 ± 0.001 abc	181.5 ± 3.8 b
K ₃₀	3.00 ± 0.25 bcd	2.50 ± 0.00 c	0.590 ± 0.002 ab	183.2 ± 0.9 b
K ₄₀	3.22 ± 0.21 abc	2.64 ± 0.13 bc	0.599 ± 0.016 ab	184.5 ± 0.7 ab
K ₅₀	3.33 ± 0.63 ab	2.83 ± 0.38 b	0.604 ± 0.012 a	184.7 ± 1.5 ab
K ₆₀	3.58 ± 0.14 a	3.17 ± 0.14 a	0.611 ± 0.004 a	186.9 ± 0.9 a

注(Note): 同列数值后不同字母表示差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters in the same column means significant at 5% level.

= 0.9954, $P = 0.0000$); $AT = 1.76 + 0.023K$ ($R^2 = 0.9651$, $P = 0.0001$); $SD = 0.57 + 0.00078K$ ($R^2 = 0.9790$, $P = 0.0000$); 而株高(PH)与施钾量(K)间存在一元二次函数关系 $PH = 166.69 + 0.83K - 0.0087K^2$ ($R^2 = 0.9350$, $P = 0.0042$), 各方程均达到

显著水平。

2.2 干草和蛋白质产量

表 2 表明,青引 1 号燕麦在不同收获时期和不同施肥处理下,风干草产量均存在显著差异($P < 0.05$)。开花期不同施钾处理风干草产量显著高于

表 2 施钾对青引 1 号风干草和蛋白产量的影响(kg/hm²)Table 2 Effects of the potassium fertilization on hay grass and protein yields of *Avena sativa* cv. Qingyin No.1

处理 Treatment	干草产量 Hay grass yield			
	孕穗期 Booting stage	开花期 Flowering stage	乳熟期 Milk stage	平均 Average
CK	6966.7 ± 278.8 gA	7010.0 ± 409.8 fA	7210.0 ± 482.1 fA	7062.2 ± 129.8 g
K ₀	8081.7 ± 60.3 fB	14675.0 ± 544.9 eA	15223.3 ± 321.5 eA	12660.0 ± 3974.4 f
K ₁₀	8941.7 ± 236.3 eC	15036.7 ± 749.0 eB	17263.3 ± 162.9 dA	13747.2 ± 4308.1 e
K ₂₀	9500.0 ± 216.5 dC	22623.3 ± 374.8 dB	23320.0 ± 238.1 bA	18481.1 ± 7785.7 d
K ₃₀	11500.0 ± 433.0 cC	28140.0 ± 727.5 bA	22866.7 ± 83.3 bB	20835.6 ± 8503.9 b
K ₄₀	14291.7 ± 72.2 aC	29575.0 ± 305.5 aA	28308.3 ± 249.7 aB	24058.3 ± 8481.9 a
K ₅₀	13125.0 ± 250.0 bB	24103.3 ± 609.6 cA	23341.7 ± 515.0 bA	20190.0 ± 6130.3 c
K ₆₀	11708.3 ± 314.6 cC	22668.3 ± 280.5 dA	20768.3 ± 867.5 cB	18381.7 ± 5856.8 d
平均 Average	10514.4 ± 2549.1 C	20479.0 ± 7640.8 A	19787.7 ± 6475.8 B	
处理 Treatment	蛋白产量 Protein yield			
	孕穗期 Booting stage	开花期 Flowering stage	乳熟期 Milk stage	平均 Average
CK	285.6 ± 11.4 gB	343.5 ± 20.1 gA	282.6 ± 18.9 gB	303.9 ± 34.3 h
K ₀	407.3 ± 3.0 f B	688.3 ± 25.6 fA	654.6 ± 13.8 fA	583.4 ± 153.4 g
K ₁₀	504.3 ± 13.3 eC	759.4 ± 37.8 eB	906.3 ± 8.6 eA	723.3 ± 203.4 f
K ₂₀	587.1 ± 13.4 dC	1486.4 ± 24.6 dA	1443.5 ± 14.7 dB	1172.3 ± 507.3 e
K ₃₀	770.5 ± 29.0 cC	1905.1 ± 49.2 cA	1458.9 ± 5.3 dB	1378.2 ± 571.6 d
K ₄₀	1073.3 ± 5.4 aC	2099.8 ± 21.7 aA	1922.1 ± 17.0 aB	1698.4 ± 548.6 a
K ₅₀	1014.6 ± 19.3 bC	2034.3 ± 51.5 bA	1629.2 ± 35.9 bB	1559.4 ± 513.5 b
K ₆₀	988.2 ± 26.6 bC	1960.8 ± 24.3 cA	1559.7 ± 65.1 cB	1502.9 ± 488.8 c
平均 Average	703.9 ± 301.1 C	1409.7 ± 707.3 A	1232.1 ± 557.9 B	

注(Note): 同列数值后不同小写字母和同行数值后不同大写字母在 5% 水平上差异显著 Values followed by different small letters in the same column and different capital letter in the same row are significantly different at the 0.05 level.

乳熟期和孕穗期产量,分别较乳熟期和孕穗期高 691.3 和 9964.6 kg/hm²。各施钾处理不同收获时的平均风干草产量,以 K₄₀ 最高,平均达 24058.3 kg/hm²,较 CK 和 K₀ 处理分别提高 16996.1 和 11398.3 kg/hm²,增幅达 240.66% 和 90.03%。不同收获时期的风干草产量也以 K₄₀ 处理最高,孕穗、开花和乳熟期,分别较 CK 高 7325.0、22565.0 和 21098.3 kg/hm²;较 K₀ 处理分别高 6210.0、14900.0 和 13085.0 kg/hm²。可见,青引 1 号燕麦采用 K₂O 40 kg/hm² 施肥处理,开花期收获可获得较高的干物质产量。

不同施钾处理下不同收获时期青引 1 号燕麦的蛋白产量变化与干草产量相同。开花期平均蛋白产量最高达 1409.7 kg/hm²;施钾处理中以 K₄₀ 蛋白产量最高,为 1698.4 kg/hm²,较 CK、K₀ 处理分别高 1394.5 和 1115.0 kg/hm²,增幅达 458.87% 和 191.12%。孕穗期、开花期、乳熟期蛋白产量也均以 K₄₀ 施钾处理最高,分别较 CK 高 787.7、1756.3 和 1639.5 kg/hm²,增幅达 275.81%、511.30% 和 580.15%;较 K₀ 处理分别高 666.0、1411.5 和 1267.5 kg/hm²,增幅达 233.19%、410.92% 和 448.51%,增产效果明显。说明青引 1 号燕麦采用 K₂O 40 kg/hm² 施肥处理,开花期收获可获较高的蛋白产量。

各时期不同施钾处理下青引 1 号燕麦干物质产量(Y_g)和蛋白产量(Y_p)与施钾量(K)的回归分析表明(表 3),干物质产量和蛋白产量与施钾量间均符合 $Y = a + bK + cK^2$ 一元二次函数变化,且方程均达到显著水平($P < 0.05$)。方程中,一次项系数为施钾对产量的直接贡献率,正负号表示贡献方向;二次项为间接贡献率,当系数为正时,表示为叠加正效应;当系数为负时,表明到一定程度(临界点)会出现报酬递减。

根据各回归方程分析表明,孕穗期、开花期、乳熟期施钾对于干物质产量和蛋白产量的直接共享率均为正效应,且施钾对于干物质产量的直接贡献率大小依次为开花期(764.08) > 乳熟期(594.88) > 孕穗期(217.46);对蛋白产量的直接贡献率依次为开花期(61.60) > 乳熟期(51.29) > 孕穗期(19.36)。这一结果与上述的分析结果一致。从二次项的系数分析结果看,各时期施钾对于干物质产量和蛋白产量均为叠加负效应,这符合肥料报酬递减规律^[16-17]。

根据方程求得孕穗期、开花期、乳熟期获得最高干物质产量和蛋白产量时的最佳施钾量(表 3)。各时期干物质产量和蛋白产量所得出的最高产量偏低,而产量最高时的最佳施钾量与上述分析中所得出的结果(K₂O 40 kg/hm²)相比较偏低或偏高。

表 3 青引 1 号燕麦产量回归分析

Table 3 Regression analysis of yield of *Avena sativa* cv. Qingyin No.1

产量 Yield	生育期 Growth stage	拟合方程 Fitted equation	R^2	P	最佳施钾量 Optimum K ₂ O (kg/hm ²)	最大产量 Max yeild (kg/hm ²)
干草产量 Hay grass yield	孕穗期 Booting stage	$Y_g = 7348.96 + 217.46 K - 2.19 K^2$	0.7934	0.0427	49.6	12747.2
	开花期 Flowering stage	$Y_g = 12239.10 + 764.08 K - 9.81 K^2$	0.8288	0.0293	38.9	27117.2
	乳熟期 Milk stage	$Y_g = 14013.21 + 594.88 K - 7.90 K^2$	0.8268	0.0300	37.7	25212.0
	平均 Average	$Y_g = 11200.42 + 525.47 K - 6.64 K^2$	0.8601	0.0196	39.6	21596.5
蛋白产量 Protein yield	孕穗期 Booting stage	$Y_p = 350.83 + 19.36 K - 0.13 K^2$	0.8997	0.0101	74.5	1071.6
	开花期 Flowering stage	$Y_p = 508.52 + 61.60 K - 0.61 K^2$	0.9327	0.0045	50.5	2063.7
	乳熟期 Milk stage	$Y_p = 681.31 + 51.29 K - 0.58 K^2$	0.9147	0.0073	44.2	1815.2
	平均 Average	$Y_p = 480.20 + 44.08 K - 0.44 K^2$	0.9432	0.0032	50.1	1584.2

2.3 根系生物量

不同施钾处理对青引 1 号燕麦成熟期、根干重、根长、根数(表 4)看出,施钾量在 K₂O 0—20 kg/hm² 时根干重无显著变化,仅分别较 CK 和 K₀ 提高 0.158 和 0.103 g/株;根数在施钾量增加至 40 kg/hm² 后无显著变化,K₄₀ 分别较 CK 和 K₀ 高 13.25 和

10.56 条/株;而根长在施 K₂O 40—50 kg/hm² 时最大,随后又显著减少。施钾能显著增加根干重、根长和根数的积累,但施钾超过 20 和 40 kg/hm² 时对根干重和根长的增加无显著影响。施钾量及各性状之间的相关分析表明(表 5),各产量性状、根干重各指标间均呈显著或极显著正相关。表明施钾可促进青

表 4 青引 1 号燕麦不同施钾处理根长、根量、根数比较

Table 4 Root dry weight, root length and root number of *Avena sativa* cv. Qingyin No.1 under the potassium fertilization

处理 Treatment	根干重 Root dry weight (g/plant, DW)	根长 Root length (cm)	根数 Root No. (No./plant)
CK	0.382 ± 0.008 c	10.22 ± 0.37 d	12.92 ± 0.63 c
K ₀	0.437 ± 0.0028 c	12.06 ± 0.39 c	15.61 ± 0.24 c
K ₁₀	0.522 ± 0.013 b	12.44 ± 0.86 c	15.83 ± 1.91 c
K ₂₀	0.540 ± 0.040 ab	13.41 ± 0.27 b	16.33 ± 2.67 c
K ₃₀	0.602 ± 0.008 a	13.76 ± 0.41 b	20.50 ± 4.36 b
K ₄₀	0.587 ± 0.043 a	15.90 ± 0.61 a	26.17 ± 1.61 a
K ₅₀	0.583 ± 0.008 ab	15.47 ± 0.36 a	24.11 ± 0.84 ab
K ₆₀	0.568 ± 0.0066 ab	13.63 ± 0.52 b	22.83 ± 2.47 ab

引 1 号燕麦株高、茎粗、分蘖数、根生物量、根干重、根长增加,有利于饲草干物质的积累。

3 讨论

据报道,速效钾含量 < 90 mg/kg,属土壤肥力极低; 90 ~ 187.5mg/kg,土壤肥力低; 187.5 ~ 337.5 mg/kg,土壤肥力中等; 337.5 ~450 mg/kg,土壤肥力高; 速效钾含量 > 450 mg/kg,土壤肥力极高^[18]。本试验土壤基础养分中速效钾含量为 127 mg/kg,属缺钾土壤。钾肥的施入能有效促进氮、磷、钾的平衡,互相促进吸收,达到牧草干物质积累。近年来,有关栽培措施对燕麦产量和品质影响的报道较少^[19]。本研究看出,不同施钾处理下能有效促进青引 1 号

表 5 相关分析结果

Table 5 Results of correlation analysis

性状 Trait	产草量 Grass yield	蛋白产量 Protein yield	总分蘖数 Total tillers	有效分蘖数 Available tillers	株高 Plant height	茎粗 Stem diameter	根干重 Root dry weight	根长 Root length	根数 Root numbers
施钾量 K rate	0.653 *	0.889 **	0.982 **	0.998 **	0.868 **	0.989 **	0.768 *	0.716 *	0.854 **
产草量 Grass yield		0.920 **	0.679 *	0.645 *	0.768 *	0.707 *	0.867 **	0.825 *	0.787 *
蛋白产量 Protein yield			0.894 *	0.877 **	0.882 **	0.914 **	0.889 **	0.862 **	0.888 **
总分蘖数 Total tillers				0.979 **	0.925 **	0.992 **	0.809 *	0.675 *	0.786 *
有效分蘖数 Available tillers					0.864 **	0.987 **	0.759 *	0.703 *	0.857 **
株高 Plant height						0.927 **	0.940 *	0.711 *	0.721 *
茎粗 Stem diameter							0.830 *	0.750 *	0.848 *
根干重 Root dry weight								0.757 *	0.743 *
根长 Root length									0.914 **

燕麦生长,提高单位面积干物质产量和蛋白产量,这对青海省东部农业区发展燕麦饲草生产具有重要的指导意义。

本研究得出,施钾量与分蘖数、茎粗间存在线性关系。施 K₂O 量超过 20 和 40 kg/hm² 时对青引 1 号燕麦茎粗和总分蘖数的增加无显著影响;而施钾量的增加对有效分蘖数的增加效果显著。钾素主要是对调节植物气孔开闭和维持细胞膨压具有专一的功能,能促进植株茎秆健壮,增强植株抗倒伏能力,同时,钾素除了不同程度地提高产量外,还可以使养分平衡,促进植物对其他养分的吸收和生长发育,尤其是开花期以后对提高作物有效分蘖数,提高单位面积产量具有重要作用^[19]。

不同施钾处理,青引 1 号燕麦开花期可获得较高的干物质产量和蛋白产量。这与不同施氮、施磷

水平下青引 1 号燕麦乳熟期可获得较高的干物质产量的结果^[2,14]不同。但是,本试验只是研究了施氮 54.75 kg/hm²、施磷 51.75 kg/hm² 不变的情况下的施钾效果,关于氮、磷、钾的交互效应,以及不同施钾水平对青引 1 号燕麦抗逆性(抗旱性、抗寒性、抗病性、抗虫性)尚未作研究,有待今后进一步深入。

总之,在青海省东部农业区缺钾土壤上,施钾能有效地促进青引 1 号燕麦生长,在施一定量的氮、磷肥基础上施 K₂O 40 kg/hm²,在开花期可获得较高的干物质产量和蛋白产量。青引 1 号燕麦各产量性状、根生物量各指标以及饲草和蛋白产量间均存在显著或极显著的正相关关系。表明施钾可促进青引 1 号燕麦株高、茎粗、分蘖数、根生物量、根长、根数的增加,有利于饲草干物质的积累。

参考文献:

- [1] 肖小平,王丽宏,叶桃林,等. 施N量对燕麦“保罗”鲜草产量和品质的影响[J]. 作物研究, 2007, (11): 19-21.
Xiao X P, Wang L H, Ye T L *et al.* Effect of nitrogen application rate on fresh grass yield and quality of oat “Baoluo”[J]. Crop Res., 2007, (11): 19-21.
- [2] 德科加,周青平,刘文辉,等. 施氮量对青藏高原燕麦产量和品质的影响[J]. 中国草地学报, 2007, 29(5): 43-48.
De K J, Zhou Q P, Liu W H *et al.* Yield and quality of oat in Qinghai-Tibet plateau[J]. Chin. J. Grassland, 2007, 29(5): 43-48.
- [3] 德科加,王德利,周青平,等. 施肥对青藏高原燕麦种子生产的增产效应[J]. 草业科学, 2008, 25(1): 26-30.
De K J, Wang D L, Zhou Q P *et al.* Effects of fertilization on seed production in oat (*Avena sativa*) on the Tibetan plateau[J]. Pratacul. Sci., 2008, 25(1): 26-30.
- [4] 刘海东,吴勤,张瑞,等. 燕麦品种比较试验[J]. 草业科学, 1995, 12(5): 55-57.
Liu H D, Wu Q, Zhang R *et al.* Comparative test of *Avena* varieties[J]. Pratacul. Sci., 1995, 12(5): 55-57.
- [5] 王柳英. 西宁地区不同燕麦品种生产性能的比较研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2000, 30(2): 17-19.
Wang L Y. Comparative study on performances of different oat varieties in Xining region[J]. Chin. Qinghai J. Anim. Vet. Sci., 2000, 30(2): 17-19.
- [6] 陆景陵. 植物营养学(上册)[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001. 10-26.
Lu J L. Plant nutrition(1)[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2001. 10-26.
- [7] 李友军,熊瑛,骆炳山. 氮、钾及其互作对两种质型小麦品质性状的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24(2): 43-47.
Li Y J, Xiong Y, Luo B S. Effects of nitrogen potassium and their interactions on quality characteristics of two different gluten wheat cultivars[J]. Agric. Res. Arid Areas, 2006, 24(2): 43-47.
- [8] 庞宁菊,洪世奇. 青海耕作土壤不同形态钾素储量及其影响因素[J]. 青海农林科技, 1997, (2): 9-12.
Pang N J, Hong S Q. The different K reserves in tillage soil of Qinghai and its effect factors[J]. Qinghai Agric. For. Sci., 1997, (2): 9-12.
- [9] 张耀生,周兴民,王启基,等. 高寒牧区燕麦生产性能的初步分析[J]. 草地学报, 1998, 6(2): 115-123.
Zhang Y S, Zhou X M, Wang Q J *et al.* A preliminary analysis of production performance of oat (*Avena sativa*) at alpine meadow pasture[J]. Acta Agrestia Sci., 1998, 6(2): 115-123.
- [10] 乔有明,尹大海,裴海昆,等. 点播条件下早熟燕麦单株粒重与几个主要形状的相关性研究[J]. 青海畜牧兽医杂志, 1997, 27(4): 19-21.
Qiao Y M, Yin D H, Pei H K *et al.* Studies on the correlation between grain weight per plant and several main traits of early oats after dibbling[J]. Chin. Qinghai J. Anim. Vet. Sci., 1997, 27(4): 19-21.
- [11] 陈功,李锦华,时永杰,等. 高寒地区燕麦播种量与生产性能的关系[J]. 草原与草坪, 2000, (4): 29-31.
Chen G, Li J H, Shi Y J *et al.* The relationship between seeding quantity and productive performance of oat (*Avena sativa*) in alpine pastoral area[J]. Grassl. Turf, 2000, (4): 29-31.
- [12] 施建军,李青云,李发吉,李有福. 青南地区良种燕麦品种比较试验[J]. 青海畜牧兽医杂志, 1999, 29(4): 13-15.
Shi J J, Li Q Y, Li F J, Li Y F. Comparative test of fine oat varieties in Qingnan region[J]. Chin. Qinghai J. Anim. Vet. Sci., 1999, 29(4): 13-15.
- [13] 乔有明. 不同播种密度对燕麦几个数量性状的影响[J]. 草业科学, 2002, 19(1): 31-32.
Qiao Y M. Effects of seeding density on quantitative characters of oat[J]. Pratacul. Sci., 2002, 19(1): 31-32.
- [14] 刘文辉,周青平,贾志锋,等. 施磷水平对青引1号燕麦饲草产量和蛋白产量的影响[J]. 青海畜牧兽医杂志, 2009, 39(1): 4-7.
Liu W H, Zhou Q P, Jia Z F *et al.* Effect of phosphate fertilizer level on hay grass yield and protein yield of Qingyin No. 1 oat[J]. Chin. Qinghai J. Anim. Vet. Sci., 2009, 39(1): 4-7.
- [15] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1986.
Nanjing Agricultural University. The method of the soil and agriculture chemical analysis[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1986.
- [16] 周国英,陈桂琛,赵以莲,等. 施肥和围栏封育对青海湖地区高寒草原影响的比较研究. II 地上生物量季节动态[J]. 草业科学, 2005, 22(1): 59-63.
Zhou G Y, Chen G C, Zhao Y L *et al.* Comparative studies on the influence of chemical fertilizer application and enclosure on alpine steppes in Qinghai Lake area. II Seasonal and annual biomass dynamics[J]. Pratacul. Sci., 2005, 22(1): 59-63.
- [17] 孙兆敏,贾志宽,韩清芳,等. 宁南旱作农区不同施肥模式对苜蓿产草量的影响研究[J]. 草业科学, 2005, 22(4): 26-29.
Sun Z M, Jia Z K, Han Q F *et al.* Study on the effect of fertilizing methods on alfalfa yield in dryland farming of the southern part of Ningxia[J]. Pratacul. Sci., 2005, 22(4): 26-29.
- [18] 浙江农业大学. 植物营养与肥料[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
Zhejiang Agricultural University. Plant nutrition and fertilization[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2003.
- [19] 董祥开,刘恩财,衣莹,等. 氮、磷、钾对燕麦产量和品质的影响研究进展[J]. 农机化研究, 2008, (11): 219-222.
Dong X K, Liu E C, Yi Y *et al.* Advance on nitrogen, phosphorus and kalium influence the quantity and quality of oat[J]. J. Agric. Mechan. Res., 2008, (11): 219-222.