

不同土壤环境对粒用高粱农艺性状及养分含量的影响

王立新¹, 隋虹杰¹, 葛占宇¹, 潘映雪¹, 琦明玉¹, 李虎², 路玉红³,
林江⁴, 成慧娟^{1*}

(1. 赤峰市农牧科学研究院, 内蒙古 赤峰 024000; 2. 巴林左旗农业技术推广站, 内蒙古 赤峰 025400;
3. 敖汉旗四家子镇人民政府, 内蒙古 赤峰 024300; 4. 敖汉旗金融和投资促进局, 内蒙古 赤峰 024300)

摘要: 本试验通过在贫瘠土壤环境下设置5种施肥水平, 研究在不同养分含量土壤环境下, 粒用高粱叶片特征、农艺性状、养分含量的表现。研究表明, 相对于缺磷和缺钾, 高粱叶片的生长发育对氮素缺乏更为敏感; 氮磷钾三种元素相互作用对高粱产量、单穗粒重、千粒重以及秸秆干重的贡献率要高于任意两种元素互作; 高粱秸秆和籽粒中钾素的积累量均高于磷的积累量, 说明高粱对钾素需求较多。在土壤营养条件匮乏的情况下, 补充氮、钾两种元素会提高高粱对磷元素的吸收, 补充氮、磷两种元素会提高高粱对钾元素的吸收, 因此氮素补充对高粱生产具有重要的意义。说明缺氮对高粱的影响明显大于缺钾和缺磷的影响。合理的氮磷钾配比有利于促进高粱的生长发育, 增加产量和改善品质。

关键词: 高粱; 氮磷钾养分; 叶片; 农艺性状; 养分含量

中图分类号: S514

文献标识码: A

文章编号: 2096-5877(2024)01-0044-06

Effects of Different Soil Environment on Agronomic Traits and Nutrient Content of Grain Sorghum

WANG Lixin¹, SUI Hongjie¹, GE Zhanyu¹, PAN Yingxue¹, QI Mingyu¹, LI Hu², LU Yuhong³, LIN Jiang⁴,
CHENG Huijuan^{1*}

(1. Chifeng Academy of Agriculture and Animal Husbandry, Chifeng 024000; 2. Balinzuqi Agricultural Extension Station, Chifeng 025400; 3. Aohan Banner Sijazi Town People's Government, Chifeng 024300; 4. Aohan Banner Finance and Investment Promotion Bureau, Chifeng 024300, China)

Abstract: In this experiment, five fertilization levels of OPT, OPT-N, OPT-P, OPT-K and CK were set up in poor soil environment to study the differences in leaf characteristics, agronomic traits and nutrient content of grain sorghum under soil conditions with different nutrient contents. The results showed that: Compared with the lack of P and K, the growth and development of sorghum leaves were more sensitive to the lack of N. The contribution rate of the interaction of N, P and K to the increase of sorghum yield, grain weight per panicle, 1000-grain weight and straw dry weight was higher than that of any two elements. The accumulation of K in sorghum straw and grain was higher than that of P, indicating that Sorghum needs more K. In the absence of soil nutrient conditions, N and K supplementation can improve the absorption of P by sorghum, while N and P can improve the absorption of K. Therefore, N supplementation is of great significance to sorghum production. It indicates that the influence of N deficiency on sorghum is obviously greater than that of K and P fertilizer. Reasonable ratio of N, P and K can promote the growth of sorghum, increase the yield and improve the quality.

Key words: Sorghum; Ammonia phosphorus potassium nutrients; Leaves; Agronomic traits; Nutrient content

高粱 [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] 是我国重

要的粮、经、饲旱地粮食作物, 用途广泛、适应性强、抗逆性强^[1-3], 在旱涝灾害年份, 仍具有较高的产量, 被人们称为“救命之粮”“生命之粮”, 有较高的利用价值和粮食战略安全意义^[4-6]。高粱在我国具有上千年的栽培利用历史, 2000年以来种植面积稳定在70万hm²左右, 年生产高粱270万t

收稿日期: 2023-03-11

基金项目: 国家谷子高粱产业技术体系项目(CARS-06-14.5-B13)

作者简介: 王立新(1980-), 男, 研究员, 硕士, 主要从事高粱遗传育种和栽培技术研究。

通讯作者: 成慧娟, 女, 研究员, E-mail: chenghuij@126.com

左右^[7]。2013年开始,随着我国酿酒、饲料、食用等产业对高粱需求的增长,高粱的生产已无法满足。增加高粱的产量已经成为制约高粱产业发展的重要因素。就目前而言,大量施肥已经成为进一步提高高粱产量最简单粗暴、急功近利的方法,因此,通过合理施肥,促进肥料的高效利用,改善化肥的滥用,减轻对环境的污染是目前研究的重点。合理施肥的核心是明晰氮磷钾不同元素的利用机制、利用特征以及合理的配比。本试验通过在不同土壤养分环境下,研究高粱叶片特征、农艺性状、产量、养分含量的差异表现,进一步研究氮磷钾元素以及合理的配合比例对高粱生长发育的影响,旨在为高粱的合理施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为赤峰市农牧科学研究院选育的粒

用高粱杂交种赤杂28。

1.2 试验地概况

本试验在赤峰市农牧科学研究院试验地进行,地理位置为东经118°17',北纬41°51',海拔600 m,平均气温6~8℃,年均降水量354.5 mm,日照时数2 750 h,属于温带半干旱大陆性季风气候区。试验地土质为沙壤土。2019年前茬玉米,2020年前茬谷子,2021年土壤耕层基础养分含量为:全氮0.70 g/kg、速效氮51.0 mg/kg、速效磷18.9 mg/kg、速效钾105.0 mg/kg、有机质12.1 g/kg、pH值8.0。

1.3 试验方法

1.3.1 试验设计

试验采用随机区组排列,共设置5个处理,具体见表1。每个处理3次重复,小区面积30 m²,种植密度为7 500株/667 m²,株距为20.7 cm,行距为43 cm,试验区周围设置1 m保护行。

表1 试验处理

处理	肥料种类及施肥方法
CK	不施肥
OPT	N 15 kg/667m ² , P ₂ O ₅ 5 kg/667m ² , K ₂ O 5 kg/667m ² 磷、钾肥做底肥一次施入,氮肥一半做底肥,一半于拔节期后追肥
OPT-N	P ₂ O ₅ 5 kg/667m ² , K ₂ O 5 kg/667m ² 不施氮肥,磷、钾肥做底肥一次施入
OPT-P	N 15 kg/667m ² , K ₂ O 5 kg/667m ² 不施磷肥,钾肥做底肥一次施入。氮肥一半做底肥,一半于拔节期后追肥
OPT-K	N 15 kg/667m ² , P ₂ O ₅ 5 kg/667m ² 不施钾肥,磷肥做底肥一次施入。氮肥一半做底肥,一半于拔节期后追肥

注:OPT表示氮磷钾肥全施;OPT-N表示不施氮肥;OPT-P表示不施磷肥;OPT-K表示不施钾肥

1.3.2 调查项目及测定方法

成熟期每小区取有代表性植株5株,调查最大叶宽、最大叶长、最大叶面积、旗叶面积、上六功能叶面积。单叶面积=叶片最大长度×最大宽度×0.75。将植株分为穗部和秸秆两部分,称量秸秆鲜重,然后105℃杀青30 min,80℃烘干至恒重,称量秸秆干重,秸秆样品保存用于植株养分分析;穗部风干后测定穗长、穗重、穗粒重、千粒重,穗部籽粒样品要求每个样品重量500 g以上,样品用于养分分析。小区产量为实测产量。秸秆样品和穗部籽粒样品,烘干粉碎后用于氮、磷、钾养分测定;用全自动凯氏定氮仪测定N含量,钒钼黄吸光光度法测定P含量,火焰光度法测定K含量^[8]。

1.3.3 数据处理

试验数据使用DPS 9.01和Excle 2016软件进行处理。

2 结果与分析

2.1 不同土壤养分条件下高粱叶部特征的差异

由表2可知,不同土壤养分条件下,高粱最大叶长表现为OPT处理显著高于CK处理和OPT-N处理,与OPT-P处理和OPT-K处理无显著差异。OPT-P、OPT-K、OPT-N与CK处理之间无显著差异。高粱最大叶宽表现为OPT、OPT-P和OPT-K处理最大叶宽显著高于CK处理,同时OPT处理最大叶宽显著高于OPT-N处理,OPT-N处理与CK处理无显著差异。高粱最大叶面积表现为

表 2 不同土壤养分条件下高粱叶部特征指标的方差分析

指标	处理	均值	标准差	5% 水平	1% 水平
最大 叶长/cm	OPT	77.8	1.866 2	a	A
	OPT-P	76.2	0.260 0	ab	AB
	OPT-K	76.2	0.570 7	ab	AB
	OPT-N	74.8	0.419 0	b	AB
	CK	74.2	0.200 0	b	B
最大 叶宽/cm	OPT	10.3	0.205 0	a	A
	OPT-P	9.9	0.174 4	ab	AB
	OPT-K	9.9	0.090 2	ab	AB
	OPT-N	9.7	0.208 2	bc	BC
	CK	9.3	0.120 6	c	C
最大 叶面积 /cm ²	OPT	575.3	8.906 0	a	A
	OPT-P	561.2	12.862 9	ab	AB
	OPT-K	554.8	10.183 6	ab	AB
	OPT-N	543.7	11.107 0	bc	AB
	CK	521.4	2.644 8	c	B
旗叶面积/cm ²	OPT	235.2	3.103 9	a	A
	OPT-K	205.8	6.745 9	b	B
	OPT-P	198.8	2.464 3	bc	B
	OPT-N	197.0	10.016 1	bc	B
	CK	182.8	5.975 7	c	B
上六功能叶 面积/cm ²	OPT	2 804.3	19.697 7	a	A
	OPT-K	2 611.0	54.720 5	b	AB
	OPT-P	2 583.3	16.370 7	b	BC
	OPT-N	2 485.0	44.411 0	bc	BC
	CK	2 413.0	75.020 0	c	C

OPT 处理显著高于 CK 处理和 OPT-N 处理,OPT-P 处理和 OPT-K 处理显著高于 CK 处理,OPT、OPT-P 和 OPT-K 处理之间无显著差异。高粱旗叶面积表现为 OPT 处理显著高于 OPT-P、OPT-K、OPT-N 和 CK 处理,OPT-K 处理显著高于 CK 处理,OPT-P 处理和 OPT-N 处理与 CK 处理无显著差异。高粱上六功能叶面积表现为 OPT 处理显著高于 OPT-P、OPT-K、OPT-N 和 CK 处理,OPT-P 处理和 OPT-K 处理显著高于 CK 处理,OPT-N 处理与 CK 处理

无显著差异。

2.2 不同土壤养分条件下高粱农艺性状及产量表现

由表 3 可知,不同土壤养分条件下,高粱单穗粒重表现为 OPT、OPT-P、OPT-K 处理显著高于 CK 处理,OPT-N 处理与 CK 处理之间无显著差异,同时 OPT 处理显著高于 OPT-P、OPT-K、OPT-N 处理。高粱千粒重表现为 OPT 处理显著高于 CK 处理,其他处理与 CK 处理之间无显著差异;OPT、

表 3 不同土壤养分条件下高粱农艺性状及产量的方差分析

指标	处理	均值	标准差	5% 水平	1% 水平
单穗粒重/g	OPT	122.3	1.816 4	a	A
	OPT-P	115.0	1.795 7	b	AB
	OPT-K	112.3	1.768 2	b	BC
	OPT-N	107.7	4.605 3	bc	BC
	CK	104.0	3.890 0	c	C

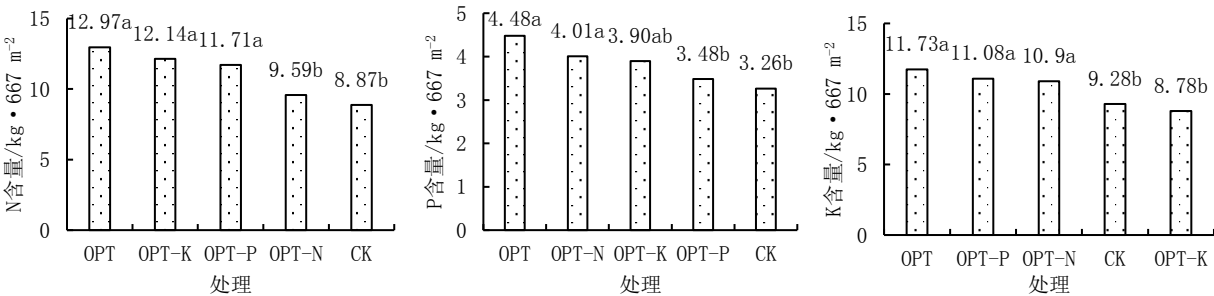
续表 3

指标	处理	均值	标准差	5% 水平	1% 水平
千粒重/g	OPT	23.9	0.718 4	a	A
	OPT-K	22.9	0.692 1	ab	A
	OPT-N	22.6	0.667 3	ab	A
	OPT-P	22.2	1.240 9	ab	A
	CK	20.8	0.679 8	b	A
秸秆干重/g	OPT	65.0	2.827 5	a	A
	OPT-P	63.7	2.997 5	ab	A
	OPT-N	60.4	2.264 8	ab	AB
	OPT-K	58.9	3.167 4	b	AB
	CK	52.4	1.405 5	c	B
穗长/cm	OPT	27.9	2.463 7	a	A
	OPT-K	27.2	1.270 2	a	A
	OPT-N	26.6	2.116 6	a	A
	OPT-P	26.3	1.053 6	a	A
	CK	25.9	0.529 2	a	A
产量/g·穗 ⁻¹	OPT	767.5	6.254 8	a	A
	OPT-P	743.6	10.980 8	b	B
	OPT-K	734.6	4.102 1	bc	BC
	OPT-N	723.1	4.185 1	c	C
	CK	688.9	2.378 2	d	D

OPT-P、OPT-K、OPT-N 处理之间无显著差异。高粱秸秆干重表现为 OPT、OPT-P、OPT-K、OPT-N 处理均显著高于 CK 处理，OPT 处理显著高于 OPT-K 处理和 CK 处理。高粱穗长表现为 OPT、OPT-P、OPT-K、OPT-N 处理均与 CK 处理之间无显著差异，OPT、OPT-P、OPT-K、OPT-N 处理之间也无显著差异。高粱产量表现为 OPT、OPT-P、OPT-K、OPT-N 处理均显著高于 CK 处理，OPT 处理显著高于 OPT-P、OPT-K、OPT-N 处理。

2.3 不同土壤养分条件下各器官养分含量的差异

由图 1 可知,不同土壤养分条件下,高粱秸秆中 N 含量表现为 OPT、OPT-K、OPT-P 处理均显著高于 OPT-N、CK 处理,OPT、OPT-K、OPT-P 处理间无显著差异,OPT-N、CK 处理间无显著差异。高粱秸秆中 P 含量表现为 OPT、OPT-N 处理均显著高于 OPT-P、CK 处理,OPT、OPT-N、OPT-K 处理间无显著差异,OPT-K、OPT-P、CK 处理间无显著差异。高粱秸秆中 K 含量表现为 OPT、OPT-P、OPT-N 处理均



注:小写字母不同表示差异显著(P<0.05),下同
图 1 不同处理对高粱秸秆中 N、P、K 含量的影响

显著高于 OPT-K、CK 处理,OPT、OPT-P、OPT-N 处理间无显著差异,OPT-K、CK 间无显著差异。
由图 2 可知,不同土壤养分条件下,高粱籽粒

中 N 含量表现为 OPT 显著高于 OPT-N 处理,OPT-P、OPT-K、CK 处理间无显著差异。高粱籽粒中 P 含量表现为 OPT 处理显著高于 CK、OPT-N、

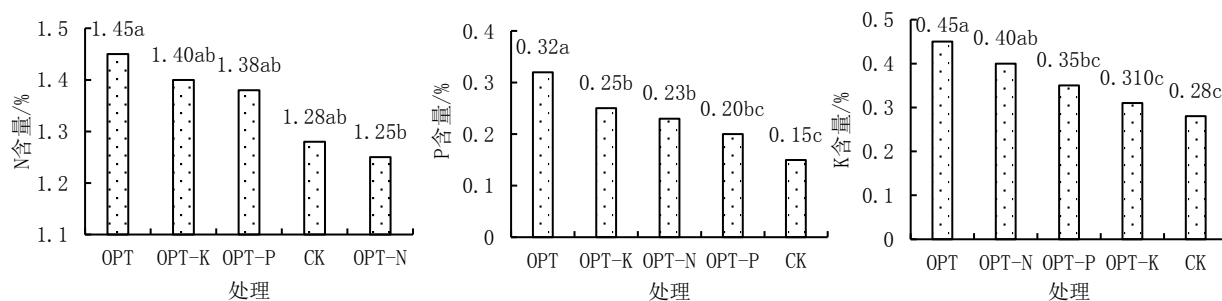


图2 不同处理对高粱籽粒中N、P、K含量的影响

OPT-P、OPT-K处理, OPT-N、OPT-K处理显著高于CK处理, OPT-N、OPT-P、OPT-K处理之间无显著差异。高粱籽粒中K含量表现为OPT处理显著高于CK、OPT-P、OPT-K处理, OPT-N处理显著高于OPT-K、CK处理, OPT、OPT-N处理间无显著差异, OPT-P、OPT-K、CK处理间无显著差异。

3 讨论

3.1 氮磷钾对高粱叶片生长发育的影响

从最大叶长、最大叶宽、最大叶面积、上六功能叶面积4个叶片发育指标增加值上看,同时补充氮磷钾三种元素显著高于不施肥;只补充氮、钾两种元素和只补充氮、磷两种元素显著高于不施肥;只补充磷、钾两种元素与不施肥无显著差异。说明缺氮对高粱叶片生长发育的影响尤为明显。王鑫等^[9]研究发现,在不施肥和不施氮情况下,高粱拔节期的功能叶片数、叶面积和叶片生物量均较低,不施磷对功能叶片数和叶面积没有影响,与本研究结果一致。

3.2 氮磷钾营养对高粱农艺性状和产量的影响

土壤养分含量构成是作物生长发育的重要因子,连续多年不施肥的贫瘠土壤环境对高粱的主要农艺性状指标和产量表现都会产生不良影响。氮磷钾三种元素互作对高粱产量和单穗粒重增长的贡献率要高于氮素配合磷、钾的两种元素互作。磷、钾元素互作对高粱产量和单穗粒重增长影响不大,高粱单穗粒重对氮素更敏感。只对氮磷钾三种元素互作对高粱千粒重和秸秆干重的增长有显著影响,任意两种元素互作都不能提高高粱的千粒重。本试验高粱穗长对土壤养分环境的变化不敏感,需要进一步验证。

土壤在连续多年不施肥的情况下,氮素的消亡亏缺相对于磷、钾元素而言尤为明显^[10],由此可见,氮素的亏缺是贫瘠土壤环境中木桶效应的短板,补充氮素对高粱生产具有重要的意义。在

氮素充足的前提下,再补充磷、钾元素,可以进一步提高高粱对氮素的吸收^[11]。或者氮、磷、钾三种元素可以互作促进吸收,提高高粱的生物量。因此,在高粱栽培过程中应优先补充氮素,其次补充磷钾元素。

3.3 氮磷钾营养对高粱各器官养分含量的影响

高粱不同器官在不同土壤养分条件下,氮磷钾的积累量是不同的。本试验中高粱秸秆氮素积累变化为:同时补充氮磷钾三种元素条件下的积累量高于磷、钾两种元素互作,不施磷或不施钾对氮素的积累影响不大,不施肥的贫瘠环境氮素积累量最低。同时,高粱籽粒氮素积累量的变化规律与秸秆氮素积累量的变化规律相似,说明不施氮素影响秸秆和籽粒中氮素的积累,不施磷或钾元素,对氮素的吸收影响不大。高粱秸秆中磷素的积累表现为:不施肥的贫瘠土壤积累量要显著低于同时补充氮磷钾三种元素的土壤。籽粒中磷素的积累表现为:不施肥的贫瘠土壤积累量要显著低于同时补充氮磷钾三种元素和只补充氮、钾两种元素的土壤。说明在土壤营养胁迫的条件下,补充氮、钾两种元素会提高高粱对磷素的吸收。高粱秸秆和籽粒中钾素的积累量均高于磷素的积累量,说明高粱需钾素较多。氮磷钾三种元素吸收、积累间的相互作用较为复杂^[12-13],研究发现,当高粱对氮素的吸收量极显著降低时,却明显提高了高粱对磷的吸收;当对磷的吸收严重降低时,却提高了高粱对钾的吸收^[14]。本试验中高粱秸秆和籽粒中钾素的积累量均高于磷的积累量,说明高粱需钾素较多。

4 结论

多年不施肥土壤养分贫瘠,使氮磷钾的供给能力下降,此时缺氮对高粱叶片生长发育的影响较缺磷和缺钾明显,氮素的亏缺是制约高粱产量的关键因素。氮磷钾三种元素的吸收、积累间的

相互作用较为复杂,在土壤营养条件匮乏的情况下,补充氮、钾两种元素会提高高粱对磷元素的吸收,补充氮、磷两种元素会提高高粱对钾元素的吸收。因此,氮素补充对高粱生产具有重要的意义。缺氮对高粱的影响明显大于缺钾和缺磷的影响,王洪预等^[15]研究表明,氮营养不足造成高粱籽粒产量显著降低,葛占宇等^[16]研究表明,高施氮肥和低施氮肥都不利于籽粒总淀粉的积累和支链淀粉的积累。合理的氮磷钾配比有利于促进高粱的生长发育、增加产量、改善品质。

参考文献:

- [1] 卢庆善.农作物杂种优势[M].北京:中国农业科技出版社,2001:165.
- [2] 朱 凯,卢庆善,王艳秋.高粱发展潜力浅析[J].中国农技推广,2005(7):10-12.
- [3] Sher A, Barbanti L, Ansar M, et al. Growth response and plant water status in forage sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] cultivars subjected to decreasing levels of soil moisture[J]. Australian Journal of Crop Science, 2013, 7(6): 801-808.
- [4] 高士杰,刘晓辉,李继洪.粒用高粱超高产育种的思考[J].中国农业科技导报,2006,8(1):23-25.
- [5] 董喜存.甘肃省甜高粱产业发展关键时期的深度剖析[J].甘肃科技,2013,29(20):10-11,111.
- [6] Moore W J, Dittmore M, Te Beest D O. The effects of cropping history on grain sorghum yield and anthracnose severity in Arkansas[J]. Crop Protection-Guildford, 2009, 28(9): 737-743.
- [7] 卢庆善,邹剑秋,朱 凯,等.试论我国高粱产业发展-论全国高粱生产优势区[J].杂粮作物,2009,29(2):78-80.
- [8] 鲍士旦.土壤农化分析(第3版)[M].北京:中国农业出版社,2000:130-177.
- [9] 王 鑫,李志强,谷卫彬,等.盐胁迫下高粱新生叶片结构和光合特性的系统调控[J].作物学报,2010,36(11):1941-1949.
- [10] 王建国,刘鸿翔,王守宇,等.黑土农田养分平衡与养分消长规律[J].土壤学报,2003,40(2):246-251.
- [11] 申丽霞,王 璞,兰林旺,等.施氮对夏玉米碳氮代谢及穗粒数形成的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(6):1074-1079.
- [12] 周开芳,范贵国.氮磷钾不同配比对高粱产量的影响[J].贵州农业科学,2003,31(S1):65-67.
- [13] 朱美容,刘厚宪,石宗益,等.酿酒高粱氮、磷、钾肥平衡配施研究[J].耕作与栽培,2004(3):26-28.
- [14] 杨苞梅,姚丽贤,李国良,等.不同养分组合对高粱吸收氮磷钾养分的影响[J].中国农学通报,2008,24(4):282-290.
- [15] 王洪预,崔正果,伍舒月,等.氮磷钾肥料配施对粒用高粱籽粒产量的影响[J].东北农业科学,2018,43(3):1-4.
- [16] 葛占宇,马尚耀,成慧娟,等.不同施氮水平对高粱子粒淀粉积累规律的影响[J].东北农业科学,2016,41(3):25-29.

(责任编辑:范杰英)