

文章编号: 1005-0906(2014)06-0059-08

我国北方高产春玉米品种钾素利用特性研究

王晓慧¹, 魏雯雯¹, 曹玉军¹, 刘双利², 吕艳杰¹,
吕超³, 王永军¹, 高玉山¹, 王立春¹

(1. 吉林省农业科学院农业资源与环境研究所/玉米国家工程实验室, 长春 130033;

2. 吉林农业大学中药材学院, 长春 130118; 3. 南崴子镇农业技术推广站, 吉林 公主岭 136100)

摘要: 采用盆栽试验, 系统聚类分析我国北方高产春玉米高产40个品种, 分钾高效型(I)、钾中效型(II)及钾低效型(III), II型品种最多(57.5%), III型品种次之(25%), I型品种最少(17.5%)。3个类型品种子粒的钾素含量以钾低效型品种最高, 钾高效型品种最低; 子粒的钾素积累分配以钾高效型品种最高, 钾低效型品种最低。根茎叶的钾含量及钾素积累量在开花期和成熟期无显著差异; 成熟期茎秆的钾素分配比例以钾高效型品种最高($p < 0.05$), 钾中效型和钾低效型品种无显著差异。钾高效型品种的钾素干物质生产效率、钾偏生产力、钾收获指数、钾转移量和钾转移效率显著高于其他2类型品种。相关和通径分析表明, 钾素干物质生产效率和粒重与钾素子粒生产效率显著相关。

关键词: 春玉米; 钾素积累与分配; 钾素利用特性

中图分类号: S513.01

文献标识码: A

Potassium Use Characteristics of Spring Maize Hybrid with High-yielding Potential in the North of China

WANG Xiao-hui¹, WEI Wen-wen¹, CAO Yu-jun¹, LIU Shuang-li², LÜ Yan-jie¹,
LÜ Chao³, WANG Yong-jun¹, GAO Yu-shan¹, WANG Li-chun¹,

(1. Institute of Agricultural Resources and Environment, Jilin Academy of Agricultural Sciences/
State Engineering Laboratory of Maize, Changchun 130033;

2. College of Chinese Medicinal Materials, Jilin Agricultural University, Changchun 130118;

3. Agricultural Technology Extension of Nanwaizi County, Gongzhuling 136100, China)

Abstract: Forty maize hybrids with high-yielding potential in the north of China currently were analyzed by system cluster analysis in the pots experiment. And the type I was high efficiency, the type II was moderate efficiency, the type III was low efficiency, respectively. The ratio of type II was 57.5%, the highest among these 3 types, but type I was only 17.5% lower than type III(25%). The grain potassium content of type III was the highest among these 3 types, and the lowest in type I. The grain potassium accumulation and distribution of type I were the highest among these 3 types, and the lowest in type III. For these three-type maize hybrids, potassium content and potassium accumulation of root, stalks and leaves were not different significantly at flowering stage and maturity stage. At maturity stage, the potassium distributions to stalks of type I were the highest($p < 0.05$), but not different significantly between type II and type III. Accordingly, the potassium dry matter production efficiency(KDMPE), potassium harvest index(KHI), potassium partial productivity(KFP), potassium transportation amount(KTA), transportation efficiency(KTE) of type I were significantly higher than type II and III in this trial. Furthermore, correlation and path analysis provided that KDMPE and grain weight were significantly correlated to KGPE.

Key words: Spring maize; Potassium accumulation and distribution; Potassium use characteristic

收稿日期: 2014-07-01

基金项目: 国家自然科学基金项目(31201159)、国家科技支撑计划(2011BAD16B10, 2012BAD04B02, 2013BAD07B02)、国家现代农业产业技术体系(CARS02-17)、吉林省科技发展计划(20130522077JH)

作者简介: 王晓慧(1981-), 女, 吉林扶余人, 博士, 副研究员, 主要从事玉米生理生态研究。Tel: 0431-87063827 E-mail: nongdawxh@126.com
王永军、高玉山为本文通讯作者。

钾素是植物必须的营养元素之一,可以活化植物体中的酶,提高光合作用与光合产物的运转能力,还可以提高作物抗旱、抗病和抗倒伏能力,具有“品质元素”和“抗逆元素”之称^[1,2]。钾素在玉米上获得显著增产效果,东北春玉米区钾素平均增产24.7%^[3]。但随玉米产量提高,从土壤中移走的钾量不断增加,土壤钾素逐渐亏缺,钾素已成为影响作物产量提高的限制因素^[4]。充分发掘钾素利用效率高的玉米品种,以适应低钾土壤条件,是减少钾肥投入、缓解钾肥短缺矛盾、提高玉米产量的有效途径。玉米是需钾量较多的作物,也是北方的主要作物,近年来,种植面积超过1.2亿hm²,占全国玉米总播种面积的37.34%,总产量8 007.2万t,占全国玉米总产量的41.54%^[5]。不同玉米品种的钾素利用有较大差异,钾素利用效率变化范围为28.7%~59.9%^[6]。开展不同类型钾素利用特性研究,对了解东北春玉米钾素吸收利用及养分高效管理均有重要意义。

国内外对玉米钾素进行了大量研究,主要集中在钾素对玉米产量、物质积累及养分吸收利用动态的影响^[7~10]。已有研究表明,玉米产量随施钾量增加先增高后逐渐降低,钾肥偏生产力随施钾量增加显著降低^[11];随施钾量增加,玉米生育后期干物质积累的最大速率和平均速率提高,最大速率出现时间提前^[12]。子粒中的钾主要来自于营养器官的再转移,其中以叶片转移量最多^[13]。超高产玉米具有较高钾素吸收效率,吐丝期后仍能吸收积累较多的钾素^[14]。国内外许多研究报道表明,同一作物的不同品种或不同基因型之间对钾的吸收利用规律均存在显著差异^[15~17]。关于当前北方主推高产春玉米品种钾素吸收利用特性及其类型划分的相关研究鲜见报道。本研究收集我国北方当前主推的高产春玉米品种,正常施肥条件下依据钾素子粒生产效率对其进行分类,通过钾素效率相关参数对其钾素利用特性进行研究,揭示不同类型品种钾素利用特性差异,为钾高效品种选育和钾营养高效管理提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

在国家玉米产业技术体系东华北区域连续3年品种鉴定基础上,本试验选用40个高产春玉米品种,其中吉林省8个、辽宁省8个、黑龙江省8个、内蒙古自治区11个、山西省5个。2010年在吉林省农业科学院玉米试验基地种植,采用盆栽试验,盆高30 cm,直径30 cm,按照大田60 000株/hm²(国家玉米产业技术体系东华北3年品种鉴定试验表明,

60 000株/hm²种植密度下,所选品种均能达到较高产量水平)种植密度进行摆放,行距55.5 cm,株距30 cm,每盆装干土25 kg,土壤类型为黑土,有机质2.52%,全氮0.18%,全磷0.056%,全钾1.99%,速效氮184.27 mg/kg,速效磷17.54 mg/kg,速效钾137.60 mg/kg。每盆播种3粒,3叶期间苗,5叶期定苗,每盆留苗1株,施用玉米专用肥(N:P₂O₅:K₂O=28:18:15),种肥7.14 g/株,拔节期追肥4.47 g/株,大喇叭口期追肥6.25 g/株。重复3次,完全随机排列。生长期保持充足的水分供应,其他管理同常规大田。

1.2 钾素利用指标测定

开花期和生理成熟期,每个品种取3株,分成根、茎秆(含穗轴和苞叶)、叶片、子粒4部分,75℃烘干至恒重,分别称重,计算各器官干物质积累;样品经粉碎后过60目筛,采用火焰分光光度法测定植株各器官钾含量。

钾素生产效率可用钾素子粒生产效率(KGPE)、钾素干物质生产效率(KDMPE)、钾素转移量(KTA)、钾素转移效率(KTE)、钾素收获指数(KHI)、钾素偏生产力(KFP)和钾素吸收效率(KUpE)等指标表示,按下列公式计算钾素效率:

钾素子粒生产效率=子粒重/整株钾素积累总量;

钾素干物质生产效率=整株干物重/整株钾素积累总量;

钾素收获指数=子粒钾素积累量/植株钾素积累量;

钾素转移量=植株开花期营养体钾素积累量-植株成熟期营养体钾素积累量;

钾素转移效率=钾素转移量/植株开花期营养体钾素积累量×100%;

钾素贡献率=转移量/子粒钾素积累量×100%;

钾素偏生产力=子粒产量/施钾量;

植株钾素积累量=不同部位干物重与钾浓度之积的总和;

钾素吸收效率=植株钾素积累量/施钾量×100%。

1.3 数据处理与分析

采用Microsoft Excel 2003进行数据计算,DPS 12.0统计分析软件进行聚类(标准化转换、卡方距离和离差平方和法)、相关和通径分析,采用SigmaPlot 10.0作图。

2 结果与分析

2.1 钾素子粒生产效率聚类分析

利用系统聚类分析,依据钾素子粒生产效率对供试品种进行聚类(表1),结果表明,供试品种可划

分为3类,包括钾素高效型(I)、钾素中效型(II)和钾素低效型(III)。40个品种中,I型品种仅占17.5%,II型品种占57.5%,III型品种占25%。I型品种的钾素子粒生产效率比II型品种高29.24%,比III型品种高

85.24%;II型品种的钾素子粒生产效率比III型品种高43.33%。说明大部分玉米品种为钾素中效型品种,其次为钾素低效型品种,钾素高效型品种数量最少(图1)。

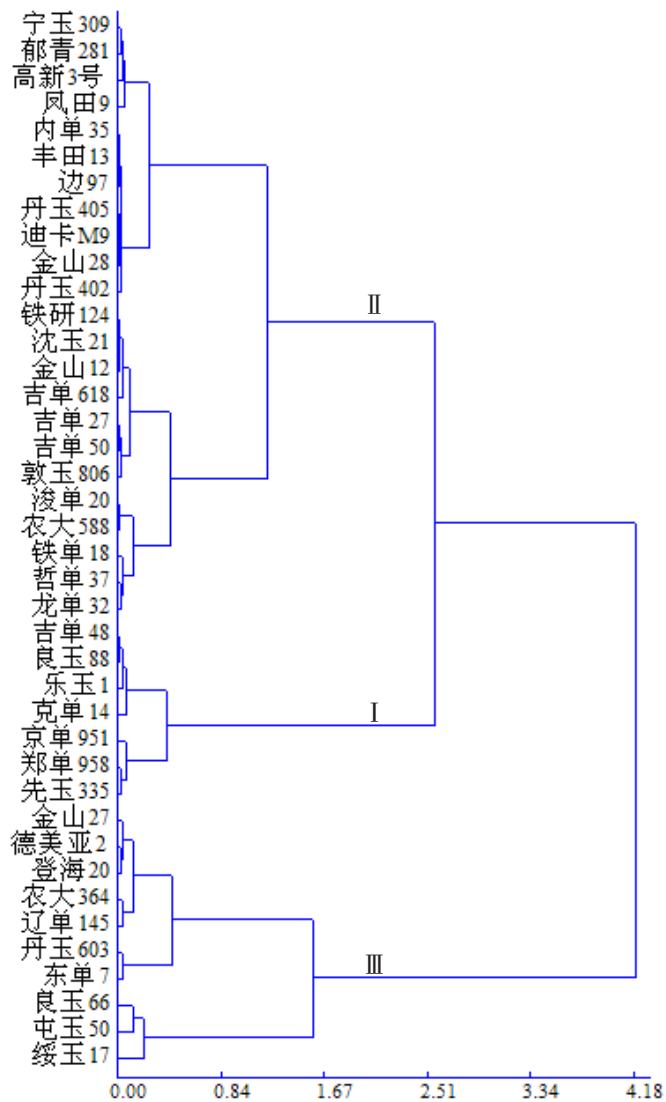


图1 不同类型玉米品种的聚类分析

Fig.1 Cluster analysis of different maize hybrids

表1 供试玉米品种钾素子粒生产效率

Table 1 Hybrids, released region and code of spring maize in the experiment

代 号	品 种	钾素子粒生产效率	代 号	品 种	钾素子粒生产效率	代 号	品 种	钾素子粒生产效率
Code	Hybrid	Production efficiency of potassium grain	Code	Hybrid	Production efficiency of potassium grain	Code	Hybrid	Production efficiency of potassium grain
1	吉单48	63.06	7	良玉88	63.27	13	铁研124	51.47
2	吉单618	52.23	8	先玉335	57.88	14	郁青281	41.55
3	吉单50	50.44	9	宁玉309	41.90	15	丹玉405	44.64
4	凤田9	43.31	10	丹玉603	32.22	16	丹玉402	44.10
5	农大588	48.67	11	辽单145	36.37	17	哲单37	46.50
6	农大364	37.39	12	良玉66	23.27	18	克单14	61.40

续表1 Continued 1

代号 Code	品种 Hybrid	钾素子粒生产效率 Production efficiency of potassium grain	代号 Code	品种 Hybrid	钾素子粒生产效率 Production efficiency of potassium grain	代号 Code	品种 Hybrid	钾素子粒生产效率 Production efficiency of potassium grain
19	吉单27	50.45	27	金山12	51.23	35	屯玉50	26.02
20	绥玉17	20.54	28	东单7	32.97	36	敦玉806	50.13
21	龙单32	46.96	29	沈玉21	51.32	37	京单951	55.63
22	登海20	39.16	30	乐玉1	64.33	38	边97	44.54
23	高新3号	42.39	31	内单305	44.48	39	德美亚2	39.48
24	丰田13	44.48	32	浚单20	48.44	40	金山28	44.62
25	铁单18	45.78	33	迪卡M9	44.65			
26	金山27	38.45	34	郑单958	57.05			

2.2 不同钾效率类型玉米钾素含量

开花期,3种钾效率类型玉米根茎叶的钾素含量无显著差异,同一类型品种的钾素含量为叶片>茎秆>根系。成熟期,3种钾效率类型玉米根茎叶的

钾素含量无显著差异,子粒的钾素含量为钾素低效型明显高于钾素高效型,钾素中效型的钾素含量与钾素高效型和钾素低效型品种无显著差异(图2)。

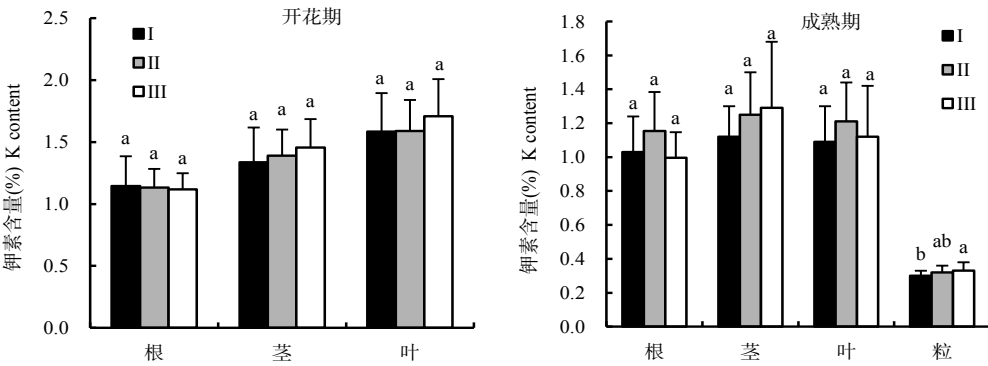


图2 开花期和成熟期不同钾效率类型玉米各器官钾素含量

Fig.2 Potassium content of different organs in different hybrids at flowering stage and maturity stage

2.3 不同钾效率类型玉米钾素积累分配

开花期,3种钾效率类型玉米根、茎、叶的钾素积累量和分配比例无显著差异,同一类型玉米钾素的积累量和分配比例为茎>叶>根(图3)。成熟期,3种钾效率类型玉米根、茎、叶的钾素积累量无显著差异;子粒的钾素积累量以钾素低效型最少($P<0.05$),钾素中效型和钾素高效型无显著差异,钾素低效型的钾素积累量比钾素中效型低28.92%,比钾素高效型低33.74%;根系和叶片的钾素分配比例无显著差异,茎秆的钾素分配比例以钾素低效型最高($P<0.05$),钾素中效型和钾素低效型无显著差异;子粒的钾素分配比例以钾素高效型最高,钾素低效型最低($P<0.05$),钾素高效型的钾素分配比例比钾素中效型高17.73%,比钾素低效型高40.53%。

2.4 不同钾效率类型玉米钾素相关参数

3种钾效率类型品种中,钾高效型品种的钾素

干物质生产效率、钾素偏生产力、钾收获指数和钾转移效率最高,钾中效型品种次之,钾低效型品种最低($P<0.05$);钾高效型品种的钾素干物质生产效率、钾偏生产力、钾收获指数和钾转移效率分别比钾低效型品种高19.26%、68.71%、84.77%和194.51%;钾素转移量以钾高效型品种最高,钾低效型品种次之,钾中效型品种最低($P<0.05$),3种钾效率类型品种的钾素吸收效率差异不显著(图4)。

2.5 钾素效率与粒重等性状的关系

对40个玉米品种钾素子粒生产效率(γ)及粒重等指标进行相关分析,钾素子粒生产效率与粒重、钾收获指数、钾偏生产力和钾干物质生产效率极显著正相关,与其他指标相关不显著;干物重与钾积累量、粒重、钾偏生产力和钾吸收效率极显著正相关,与钾转移量、钾转移效率极显著负相关;钾积累量与粒重、钾偏生产力和钾吸收效率极显著正相关,与钾

转移量和钾转移效率极显著负相关,与钾干物质生产效率显著负相关;钾含量与钾干物质生产效率显著负相关;钾转移量与钾转移效率极显著正相关,与钾吸收效率极显著负相关;钾转移效率与钾吸收

效率极显著负相关;粒重与钾收获指数、钾偏生产力和钾吸收效率极显著正相关;钾收获指数与钾偏生产力和钾干物质生产效率极显著正相关;钾偏生产力与钾吸收效率显著负相关(表2)。

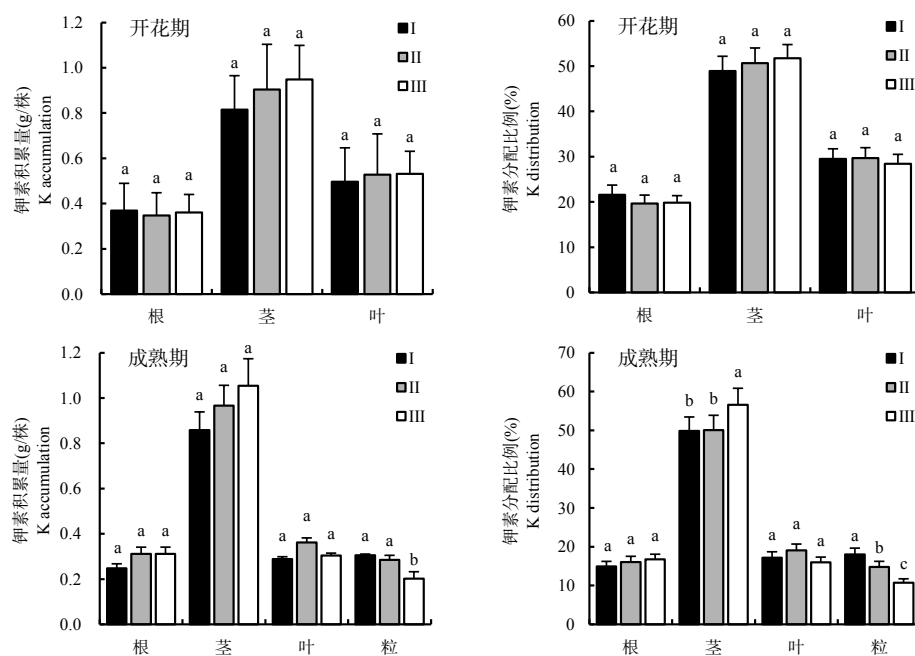


图3 开花期和成熟期不同类型玉米各器官钾素积累与分配比例

Fig.3 Potassium accumulation and distribution of different organs in different hybrids at flowering stage and maturity stage

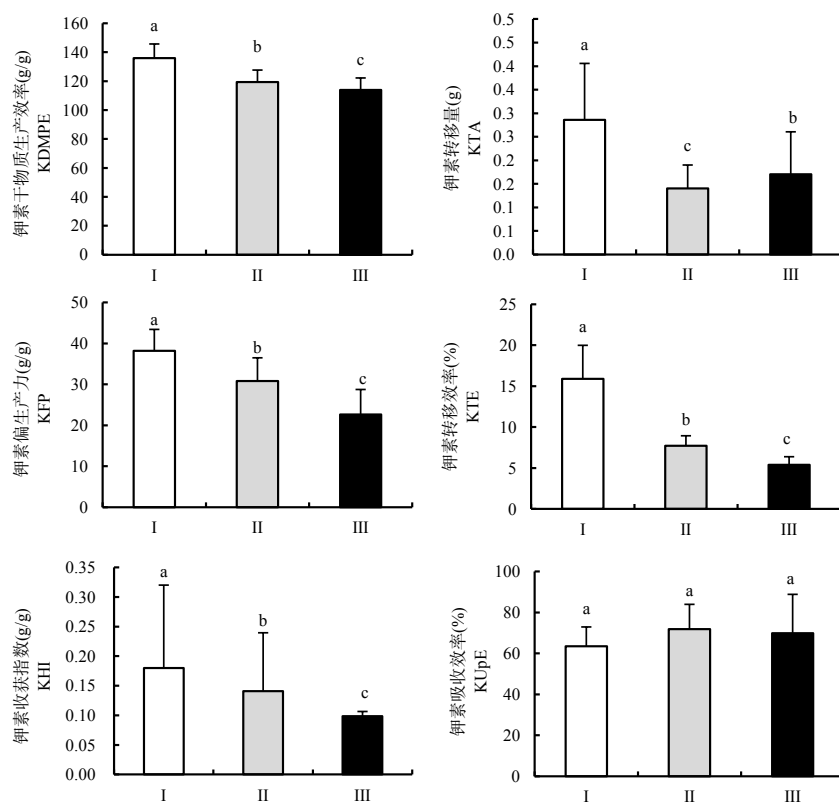


图4 不同钾效率类型玉米品种钾素相关参数

Fig.4 Potassium related parameters in different hybrids

表2 成熟期不同类型玉米钾素子粒生产效率与粒重等性状的相关性
Table 2 Correlation on KGPE and the agronomic traits at maturity stage

项 目	干物重	钾积累量	钾含量	钾素转移量	钾素转移效率	粒 重	钾素收获指数	钾素偏生产力	钾素干物质生产效率	钾素吸收效率
Item	Dry matter weight	K accumulation	K content	KTA	KTE	Grain weight	KHI	KFP	KDMPE	KUpE
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀
X ₂	0.84**									
X ₃	-0.22	0.21								
X ₄	-0.42**	-0.59**	-0.19							
X ₅	-0.47**	-0.64**	-0.15	0.98**						
X ₆	0.71**	0.59**	0.17	-0.27	-0.23					
X ₇	0.24	-0.07	-0.11	0.03	0.11	0.67**				
X ₈	0.71**	0.59**	0.17	-0.27	-0.23	1.00**	0.67**			
X ₉	0.25	-0.31*	-0.73**	0.28	0.29	0.19	0.56**	0.19		
X ₁₀	0.84**	1.00**	0.21	-0.59**	-0.64**	0.59**	-0.07	0.59**	-0.31*	
Y	0.18	-0.12	0.01	0.08	0.17	0.72**	0.91**	0.72**	0.54**	-0.12

注: *、**分别表示在 0.05 和 0.01 水平差异显著。下表同。
Note: *, ** indicate significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively; N=40. The same below.

各指标对钾素子粒生产效率的直接通径系数按绝对值从大到小排序为粒重>干物重>钾干物质生产效率>钾积累量>钾收获指数>钾转移量>钾含量,绝对值越大,说明对钾素子粒生产效率的影响越大。粒重和钾干物质生产效率对钾素子粒生产效率的直接作用大于间接作用,与相关系数表现一致。干物重的正间接作用大于负直接作用,主要是通过

粒重的正间接作用较大所致,钾转移量的正间接作用大于正直接作用,主要是由粒重的正间接作用较大所致;钾收获指数的正间接作用大于正直接作用,主要是由粒重的正间接作用较大所致。钾素干物质生产效率和粒重与钾素子粒生产效率存在真实一致的相关性,是影响钾素子粒生产效率的主要指标(表3)。

表3 成熟期粒重等性状对钾素子粒生产效率的通径分析
Table 3 Path analysis of KGPE and the agronomic traits at maturity stage

通 径	直 接	间接作用 Indirect effect							
		总 和	干物重	钾积累量	钾含量	钾素转移量	粒 重	钾素收获指数	钾素干物质效率
			Dry matter weight	K accumulation	K content	KTA	Grain weight	KHI	KDMPE
Path	Direct effect	Total	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
X ₁	-0.476 4	0.657 5		-0.228 3	-0.009 4	0.039 6	0.737 1	0.025 8	0.092 7
X ₂	-0.272 8	0.154 3	-0.398 6		0.009 1	0.055 6	0.610 0	-0.007 4	-0.114 4
X ₃	0.043 3	-0.036 3	0.103 2	-0.057 2		0.018 5	0.179 3	-0.012 1	-0.268 0
X ₄	-0.094 8	0.176 5	0.198 9	0.160 1	-0.008 4		-0.282 0	0.002 9	0.105 0
X ₅	1.039 3	-0.321 8	-0.337 8	-0.160 1	0.007 5	0.025 7		0.071 7	0.071 2
X ₆	0.106 3	0.802 2	-0.115 5	0.019 0	-0.004 9	-0.002 6	0.701 2		0.205 0
X ₇	0.369 1	0.166 1	-0.119 6	0.084 6	-0.031 5	-0.027 0	0.200 5	0.059 1	

3 结论与讨论

长期以来,高产一直是玉米育种的主要目标,玉米产量水平不断提高^[18],但养分高效型高产品种的

选育相对滞后。随着我国玉米生产中肥料投入的过快增长,导致生产效率下降,环境风险加大,选育高产高效型品种是解决上述问题的根本途径^[19~21]。因此,围绕高产品种开展养分效率探讨已成为当前研

研究的热点。前人对不同玉米品种氮、磷吸收利用效率进行了大量研究,由于土壤钾素亏缺较晚,研究主要集中在施钾对玉米产量、钾素积累、转运及钾肥利用率的影响^[22,23]。当前北方主推高产春玉米钾素效率类型划分的相关研究较少。本试验中选择我国北方春玉米区主推的40个高产品种,对不同品种的钾素利用特性进行研究,通过聚类分析划分为3类,即钾素高效型(I)、钾素中效型(II)和钾素低效型(III)。研究发现,钾素高效型品种仅占17.5%,大部分为钾素中效型品种(57.5%)和钾低效型品种(25%),我国北方春玉米区钾素高效品种的选育空间较大。

子粒中的养分,一部分源于根系直接吸收,一部分源于营养器官的养分再转移。研究发现,玉米钾素与氮、磷的积累不同,钾素主要在生育前期吸收,到灌浆期已积累了总量的82.8%~95.5%,此后仅有少量吸收,子粒中52.4%~100%的钾可以依赖于营养体的转运^[24]。本研究发现,不同钾效率类型品种根茎叶的钾素含量及钾素积累量在开花期和成熟期无显著差异,子粒的钾含量和钾素积累量差异显著;成熟期茎秆的钾素分配比例以钾低效型品种最高,子粒的钾素分配比例以钾低效型品种最低。钾素高效型品种的钾素干物质生产效率、钾偏生产力、钾收获指数、钾转移量和钾转移效率以钾素高效型品种最高。说明开花后不同钾效率类型品种子粒钾素的差异由两部分组成,一部分来源于子粒钾素的积累,另一部分来源于茎秆的再分配及其他器官的转移量及转移效率。从钾素积累、转移和利用角度证实了开花后子粒钾素仍有部分吸收,而不是全部来源于营养体的转移。生育后期钾素积累量少及钾素在体内运输、转运和代谢能力低可能是钾低效型品种钾子粒生产效率低的关键^[25]。

养分效率是养分吸收、同化、运转、再利用等多个生理过程综合作用的结果,可分解为吸收效率和利用效率两个子性状^[26]。本试验只探讨了钾素利用效率相关的钾素积累量、钾素干物质生产效率、磷钾素转移量、钾素收获指数等指标,而关于钾素吸收效率相关性状及其与产量的关系有待进一步研究。

参考文献:

- [1] William T, Pettigrew. Potassium influences on yield and quality production for maize, wheat, soybean and cotton[J]. *Physiologia Plantarum*, 2008, 133(4): 670-681.
- [2] Premachandra G S, Saneoka H, Fujita K, Ogata S. Water stress and potassium fertilization in field grown maize (*Zea mays* L.): effects on leaf water relations and leaf rolling[J]. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 1993, 170(3): 195-201.
- [3] 谭德水,金继运,黄绍文. 长期施钾对东北春玉米产量和土壤钾素状况的影响[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(10): 2234-2240.
- [4] Tan D S, Jin J Y, Huang S W. Effect of long-term application of K fertilizer on spring maize yield and soil K in northeast China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(10): 2234-2240. (in Chinese)
- [5] Singh B, Singh Y, Imas P, Xie J C. Potassium nutrition of the rice-wheat cropping system[J]. *Advances in Agronomy*, 2003, 81: 203-259.
- [6] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [7] 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.
- [8] Zhang F S, Wang J Q, Zhang W F, et al. Nutrient use efficiency of major cereal crops in China and measures for improvement[J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(5): 915-924. (in Chinese)
- [9] 王志勇,白由路,杨俐苹,等. 低土壤肥力下秸秆还田和施钾对作物产量及土壤钾素平衡的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(4): 900-906.
- [10] Wang Z Y, Bai Y L, Yang L P, et al. Effect of application of potassium fertilizer and straw returning on crop yields and soil potassium balance in low-yielding fields[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2012, 18(4): 900-906. (in Chinese)
- [11] 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.
- [12] Tan D S, Jin J Y, Huang S W, et al. Effects of long-term K application on corn yield and potassium forms in plough layer of black soil and meadow soil in northeast of China[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(5): 850-855. (in Chinese)
- [13] 战秀梅,韩晓日,杨劲峰,等. 不同氮、磷、钾肥用量对玉米源、库干物质积累动态变化的影响[J]. *土壤通报*, 2007, 38(3): 495-499.
- [14] Zhan X M, Han X R, Yang J F, et al. Dynamics changes of dry matter accumulation of maize as affected by different quantity of nitrogen and phosphorus and potassium[J]. *China Journal of Soil Science*, 2007, 38(3): 495-499. (in Chinese)
- [15] 王春枝,葛海峰,姚刚,等. 钾肥对春玉米氮磷钾吸收动态模型及养分生产效率影响的研究[J]. *内蒙古农业大学学报*, 2000, 21(增刊): 148-1521.
- [16] Wang C Z, Ge H F, Yao G, et al. Studies on the effect of potassium fertilizer on dynamic model of N. P. K. uptake by spring maize and its productivity[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University*, 2000, 21(S1): 148-1521. (in Chinese)
- [17] 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.
- [18] Li B, Zhang J W, Jin L B, et al. Effect of K fertilization on yield, K use efficiency of summer maize under high yield conditions[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2012, 18(4): 832-838. (in Chinese)
- [19] 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.
- [20] Li W J, He P, Jin J Y. Potassium nutrition on dry matter and nutrients accumulation and translocation at reproductive stage of maize

- [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2009, 15(4): 799–807. (in Chinese)
- [13] 李 飒, 彭云峰, 于 鹏, 等. 不同年代玉米品种干物质积累与钾素吸收及其分配[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(2): 325–332.
- Li S, Peng Y F, Yu P, et al. Accumulation and distribution of dry matter and potassium in maize varieties released in different years [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2011, 17(2): 325–332. (in Chinese)
- [14] 齐文增, 陈晓璐, 刘 鹏, 等. 超高产夏玉米干物质与氮、磷、钾养分配积累与分配特点[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 26–36.
- Qi W Z, Chen X L, Liu P, et al. Characteristics of dry matter, accumulation and distribution of N, P and K of super-high-yield summer maize[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(1): 26–36. (in Chinese)
- [15] Glass A D M. Varietal differences in potassium uptake by barley[J]. Plant Physiology January, 1980, 65(1): 160–164.
- [16] 吕福堂, 张秀省, 张保华, 等. 不同玉米基因型吸钾和耐低钾能力的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(4): 556–559.
- Lü F T, Zhang X S, Zhang B H, et al. Study on the ability of potassium absorption and tolerant to low potassium for different genotype maize[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(4): 556–559. (in Chinese)
- [17] Zhang G P, Chen J X, Tiore E A. Genotypic variation for potassium uptake and utilization efficiency in wheat[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 1999, 54: 41–48.
- [18] Duvick D N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.)[J]. Advances in Agronomy, 2005, 86: 83–145.
- [19] 陈范骏, 米国华, 春 亮, 等. 玉米氮效率的杂种优势分析[J]. 作物学报, 2004, 30(10): 1014–1018.
- Chen F J, Mi G H, Chun L, et al. Analysis of heterosis for nitrogen use efficiency in maize[J]. Acta Agronomica Sinica, 2004, 30(10): 1014–1018. (in Chinese)
- [20] Presterl T, Seitz G, Landbeck M, et al. Improving nitrogen-use efficiency in European maize: estimation of quantitative genetic parameters[J]. Crop Science, 2003, 43: 1259–1265.
- [21] Hirel B, Gouis J L, Ney B, et al. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches[J]. Journal of Experimental Botany, 2007, 58: 2369–2387.
- [22] 何 萍, 金继运. 氮钾互作对春玉米养分吸收动态及模式的影响[J]. 玉米科学, 1999, 7(3): 68–72.
- He P, Jin J Y. Dynamics and models of N, P and K absorption by spring maize as influenced by nitrogen and potassium interaction [J]. Journal of Maize Sciences, 1999, 7(3): 68–72. (in Chinese)
- [23] 郭中义, 孟祥峰, 张 明, 等. 施用氮磷钾肥对夏玉米产量和品质的影响[J]. 土壤肥料, 2004(1): 25–26.
- Guo Z Y, Meng X F, Zhang M, et al. Effects of nitrogenous, phosphate and potash fertilizer on yield and quality of summer maize[J]. Soil and Fertilizer, 2004 (1): 25–26. (in Chinese)
- [24] 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.
- He P, Jin J Y, Li W J, et al. Comparison of potassium absorption, yield and quality between high-oil and common corn affected by potassium application[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(5): 620–626. (in Chinese)
- [25] 郭 强, 赵久然, 滕海涛, 等. 不同玉米基因型对钾素吸收利用的研究[J]. 玉米科学, 2000, 8(1): 74–76.
- Guo Q, Zhao J R, Teng H T, et al. Studies on potassium uptake and utilization of different maize[J]. Journal of Maize Sciences, 2000, 8 (1): 74–76. (in Chinese)
- [26] Moll R H, Kamprath E J, Jackson W A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization[J]. Agron. J., 1982, 74: 562–564.

(责任编辑:姜媛媛)