植物营养与肥料学报 2012,18(1):60-68
Plant Nutrition and Fertilizer Science

我国北方37个高产春玉米品种干物质生产及氮素利用特性

王晓慧,曹玉军,魏雯雯,张磊,王永军*,边少锋,王立春*
(吉林省农业科学院农业环境与资源研究中心,吉林长春 130033)

摘要: 选育氮高效品种是实现玉米高产高效生产的根本途径。为探明我国北方目前主推高产春玉米的物质生产及氮素利用特性,本研究选择该区域高产品种37个,采用盆栽试验,依粒重和氮素子粒生产效率划分其类型,分为高产氮高效(Ⅰ)、高产氮中效(Ⅱ)、中产氮中效(Ⅲ)及低产氮低效(Ⅳ)4种类型。其中,中产中效型品种最多,为56.8%;高产高效型品种最少,仅为8.1%;高产中效型和低产低效型品种分别为13.5%和21.6%。4个类型品种干物质生产及氮素利用效率开花前差异不显著,开花后是产生差异的关键时期;成熟期Ⅰ型品种干物质和氮向子粒的分配比例较高,而Ⅳ型品种向根和茎秆的分配比例较高。同时,Ⅰ型品种的氮转移量、氮转移效率和贡献率显著高于其他3类型品种。经相关和通径分析,氮素干物质生产效率、粒重及氮含量与氮素子粒生产效率显著相关。所以,较高的粒重和较低的植株氮含量是高产氮高效品种的基本特征。

关键词: 春玉米;干物质;氮积累与分配;氮利用效率
中图分类号: S513.01　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1008-505X(2012)01-0060-09

Characteristics of dry matter production and nitrogen use efficiency of 37 spring maize hybrids with high-yielding potential in north of China

WANG Xiao-hui, CAO Yu-jun, WEI Wen-wen, ZHANG Lei, WANG Yong-jun*, BIAN Shao-feng, WANG Li-chun*
(*Research Center of Agricultural Environment and Resources, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033, China*)

Abstract: Selecting high nitrogen use efficiency (NUE) hybrid maize plays the most important role for high yield and high NUE in maize production. A pot experiment was conducted to evaluate the characteristics of dry matter (DM) production and NUE of spring maize hybrids released in the north of China currently. In this experiment, 37 maize hybrids with high-yielding potential were planted in pots and provided enough fertilizers and water in the growing season. The results indicate that 37 maize hybrids with high-yielding potential can be divided into 4 types according to the grain weight and nitrogen grain production efficiency (NGPE), the type Ⅰ is high yield and high efficiency, the type Ⅱ is high yield and moderate efficiency, the type Ⅲ is moderate yield and moderate efficiency, and the type Ⅳ is low yield and low efficiency. The type Ⅲ accounts for 56.8% of the 37 maize hybrids, while the type I is only 8.1% which is lower than that of the type Ⅱ (13.5%) and Ⅳ (21.6%). For these four-type maize hybrids, the DM accumulation and NUE are not significantly different before flowering, but are remarkably different after flowering. At the maturity stage, the DM and nitrogen distributions to grains of the type Ⅰ are the highest, however, the DM and nitrogen distributions to roots and stalks of the type Ⅳ are the highest. Accordingly, the nitrogen transportation amount (NTA), nitrogen transportation efficiency (NTE) and nitrogen contribution rate (NCR) of the type Ⅰ are significantly higher than those of the other three types in this trial. Furthermore, the results of correlation and path analysis show that nitrogen dry matter production efficiency (NDMPE), grain weight and nitrogen content are significantly correlated to NGPE. Therefore, high grain weight and low nitrogen

收稿日期: 2011-06-21　　**接受日期:** 2011-11-01
基金项目: 国家自然科学基金项目(30900878);吉林省博士后科学基金项目(83272);国家玉米产业技术体系(CARS-02-17)项目资助。
作者简介: 王晓慧(1981—),女,吉林长春人,博士,助理研究员,主要从事玉米高产高效栽培研究。E-mail: nongdawxh@126.com
* 通讯作者 Tel: 0431-87063941, E-mail: yjwang2004@126.com; wlc1960@163.com

content of single plant are the basic characteristics of high-yielding and high-efficiency hybrids.

Key words: spring maize; dry matter; nitrogen accumulation and distribution; nitrogen use efficiency

北方春玉米区是我国最大的玉米产区,对全国粮食生产具有举足轻重的作用。近年来,种植面积超过 87 万公顷,占全国玉米总播种面积的 40.8%,总产 6205.5 万 t,占全国玉米总产量的 40.7%,单产比全国平均水平高 18.4%[1]。施用氮肥能增加玉米子粒蛋白质含量,提高生物量,增产效果明显[2-3],所以生产中氮肥被大量施用,造成玉米氮肥偏生产力日趋下降,氮肥利用率降低[4]。目前,我国北方春玉米区高产田施氮量高达 380 kg/hm^2,而适宜施氮量为 225 ~ 240 kg/hm^2,氮肥不合理施用致使其利用效率仅为 30% ~ 35%[5],造成资源严重浪费,增加了生态环境风险。而通过挖掘玉米本身遗传潜力,选育氮高效型玉米品种是提高氮肥利用效率,削减氮肥施用量,降低生产成本,减少污染的一条有效途径[6-7]。

前人研究表明,不同玉米品种氮素积累和分配存在明显的基因型差异,氮高效品种的吸氮量显著高于氮低效品种,这种差异主要来自于吐丝后氮积累量,吐丝后氮素向子粒的转运量明显增加,与子粒干物质增加量密切相关[8-12],但这些研究受当时产量水平和地域特点影响较大,对当前玉米高产高效型品种选育的启示存在较大的局限性。另外,根据氮效率的定义[13],植株吸氮量过高显然不是高效型品种的典型特征。而生产上,随玉米产量提高,氮素吸收总量增加,但其利用效率却相应降低,高产品种适量施氮能提高玉米生长中后期植株体内氮含量和氮素产量生产效率,增加子粒产量,但施氮过量或不足均不表现增产效果,反而导致利用率降低[14-17]。近年来,我国北方春玉米区高产品种数量逐年增加,但针对我国北方春玉米区具有高产潜力品种的干物质生产及氮素利用特性的相关研究相对薄弱。

显然,在正常供氮条件下,高产高效型品种所表现出的干物质生产及氮素利用特性对品种选育更具参考价值。然而,相关研究鲜见报道,为此,本研究筛选了目前北方春玉米区域内 37 个主推的高产品种,对其干物质生产性能及氮素利用特性开展评价,旨在揭示不同类型品种氮素积累和转运的差异及其与氮素子粒生产效率的关系,以期为高产氮高效品种选育提供理论依据。

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 年品种鉴选的基础上,本试验选用 37 个高产春玉米品种(表 1),其中吉林省 8 个、辽宁省 8 个、黑龙江省 6 个、内蒙古自治区 10 个、山西省 5 个,于 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,按大田 60000 plant/hm^2 的种植密度(经国家玉米产业技术体系东华北区 3 年品种鉴选试验证明,60000 株/hm^2 种植密度下,所选品种均能达到较高的产量水平)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,有机质含量 25.2 g/kg、全氮 1.8 g/kg,全磷 0.56 g/kg,全钾 19.9 g/kg,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,三叶期间苗,五叶期定苗,每盆留苗 1 株,施用玉米专用肥($N : P_2O_5 : K_2O = 28 : 18 : 15$),种肥 7.14 g/plant,拔节期追肥 4.47 g/ plant,大喇叭口期追肥 6.25 g/ plant。重复 3 次,完全随机排列。生长期间保持充足的水分供应,其它管理同高产田。

1.2　样品采集与测定方法

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℃烘至恒重,分别称重,计算各器官干物质积累与分配;样品经粉碎后过 0.25 mm 筛,采用半微量凯氏定氮法测植株各器官含氮量[18]。

氮利用效率可用氮素子粒生产效率(Nitrogen grain production efficiency, NGPE)、氮素干物质生产效率(Nitrogen dry matter production efficiency, NDMPE)、氮转移量(Nitrogen transportation amount, NTA)、氮转移效率(Nitrogen transportation efficiency, NTE)和氮素对子粒贡献率(Nitrogen contribution rate, NCR)等指标表征[19-20],按下面的公式计算氮素利用效率:

氮素子粒生产效率(g/g) = 子粒重/整株氮素积累总量;

氮素干物质生产效率(g/g) = 整株干物重/整株氮素积累总量;

表1 供试玉米品种、主推区域及代号

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

代号 Code	品种 Hybrids	主推区域 Released region	代号 Code	品种 Hybrids	主推区域 Released region
1	吉单48 Jidan 48	长春 Changchun	19	吉单27 Jidan 27	绥化 Suihua
2	吉单618 Jidan 618		20	绥玉17 Suiyu 17	
3	吉单50 Jidan 50	四平 Siping	21	龙单32 Longdan 32	
4	凤田9 Fengtian 9	通化 Tonghua	22	登海20 Denghai 20	黑河 Heihe
5	农大588 Nongda 588		23	高新3号 Gaoxin 3	通辽 Tongliao
6	农大364 Nongda 364		24	丰田13 Fengtian 13	
7	良玉88 Liangyu 88	吉林市 Jilin	25	铁单18 Tiedan 18	
8	先玉335 Xianyu 335		26	金山27 Jingshan 27	赤峰 Chifeng
9	宁玉309 Ningyu 309	沈阳 Shenyang	27	金山12 Jiingshan 12	
10	丹玉603 Danyu 603		28	东单7 Dongdan 7	
11	辽145 Liaodan 145		29	沈玉21 Shenyu 21	呼和浩特 Huhhot
12	良玉66 Liangyu 66	铁岭 Tieling	30	乐玉1 Leyu 1	
13	铁研24 Tieyan 24		31	内单305 Neidan 305	
14	郁青281 Yuqing 281		32	浚单20 Xundan 20	河套灌区 Hetao irrigation district
15	丹玉405 Danyu 405	丹东 Dandong	33	迪卡M9 Dika M9	忻州 Xinzhou
16	丹玉402 Danyu 402		34	郑单958 Zhengdan 958	
17	哲单37 Zhedan 37	克山 Keshan	35	屯玉50 Tunyu 50	长治 Changzhi
18	克单14 Kedan 14		36	敦玉806 Dunyu 806	
			37	京单951 Jingdan 951	

氮转移量(g)=植株开花期营养体氮素积累量-植株成熟期营养体氮素积累量;

氮转移效率(%)=氮转移量/植株开花期营养体氮素积累量×100;

氮素对子粒贡献率(%)=氮转移量/子粒氮素积累量×100。

1.3 数据处理与统计分析

采用DPS 12.0统计分析软件进行聚类、相关和通径分析。

2 结果与分析

2.1 粒重和氮素子粒生产效率聚类分析

利用系统聚类分析,采用标准化转换、欧式距离和WPGMA法,依据粒重和氮素子粒生产效率对供试品种进行聚类,划分为4类:高产氮高效型(Ⅰ)、高产氮中效型(Ⅱ)、中产氮中效型(Ⅲ)和低产氮低效型(Ⅳ)(表2)。高产品种的粒重比中产品种高24.4%,比低产品种高99.7%,氮高效品种的氮素子粒生产效率比氮中效品种高27.9%,比氮低效品种高89.9%。37个品种中,Ⅲ型品种占56.8%,Ⅰ型品种仅占8.1%,Ⅱ型品种占13.5%,Ⅳ型品种占21.6%。

2.2 不同氮效率类型玉米干物质积累与分配

开花期,4种氮效率类型玉米各器官的干物质积累量无显著差异,但Ⅰ型和Ⅱ型玉米叶片的干物质分配比例显著高于Ⅳ型(图1A、C)。成熟期,Ⅰ型和Ⅱ型玉米子粒干物质积累量显著高于Ⅲ型和Ⅳ型,而4种类型玉米根、茎、叶的干物质积累量无显

著差异(图 1B)。不同类型玉米叶片干物质分配比例无显著差异,但Ⅳ型根和茎的干物质分配比例显著高于其它 3 类,Ⅰ型根和茎的干物质分配比例最低,比Ⅳ型分别低 38.7% 和 27.6%;Ⅰ型子粒的干物质分配比例与Ⅱ型无显著差异,而显著高于Ⅲ型和Ⅳ型,Ⅳ型子粒的干物质分配比例最低,比Ⅰ型低 40.4%(图 1D)。可见,开花后高产品种干物质向子粒的分配比例较高,而低产品种向根和茎秆的分配比例较高。

表 2　不同类型玉米品种的聚类分析

Table 2　Results of cluster analysis of different maize hybrids

类型 Type	代号 Code	品种数 Hybrid number	粒重 Grain weight (g/plant)	粒重区间 Range of grain weight (g/plant)	氮素子粒生产效率 NGPE (g/g)	氮素子粒生产效率区间 Range of NGPE (g/g)
Ⅰ	19,29,32	3	110.59 a	106.31 ~ 114.73	60.74 a	58.63 ~ 62.89
Ⅱ	1,8,33,34,36	5	112.43 a	106.98 ~ 120.2	47.61 b	44.25 ~ 51.21
Ⅲ	2,3,5,7,9,11,13 ~ 18, 21,23 ~ 27,30,31,37	21	89.65 b	73.65 ~ 104.32	47.34 b	40.31 ~ 54.78
Ⅳ	4,6,10,12,20,22,28,35	8	55.85 c	39.53 ~ 69.70	31.98 c	33.29 ~ 39.20

注(Note):NGPE—Nitrogen grain production efficiency. 同列数据后不同字母表示在 0.05 水平差异显著 Values followed by the different letters in a column are significantly different at the 0.05 probability level.

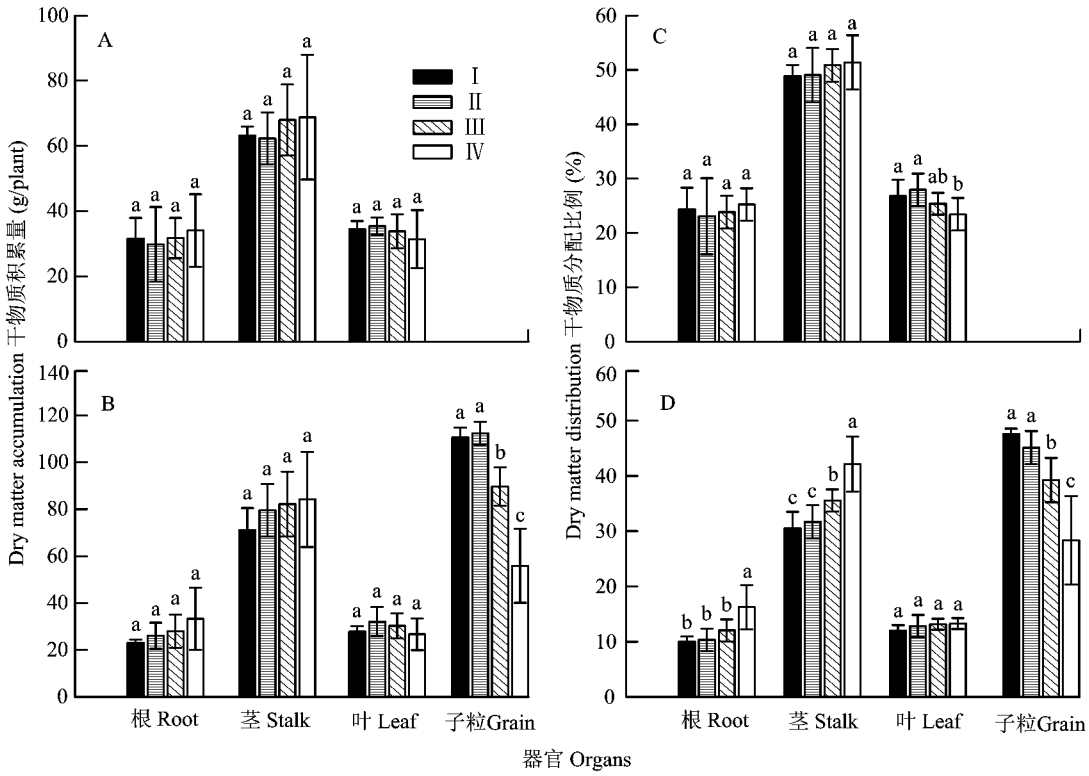

图 1　开花期(A、C)和成熟期(B、D)不同类型玉米各器官干物质积累与分配比例

Fig. 1　Dry matter accumulation and distribution of organs of different maize hybrids at the flowering stage (A and C) and maturity stage (B and D)

[注(Note):Ⅰ—高产氮高效型 High yield and high efficiency;Ⅱ—高产氮中效型 High yield and moderate efficiency;Ⅲ—中产氮中效型 Moderate yield and moderate efficiency;Ⅳ—低产氮低效型 Low yield and low efficiency. 柱上不同字母表示在 0.05 水平差异显著。Different letters above the bars indicate a significant difference at the 0.05 probability level.]

2.3 不同氮效率类型玉米氮素的积累、分配及转运

开花期,4 种氮效率类型玉米根、茎、叶的氮素积累量和分配比例无显著差异,同一类型玉米氮素的积累量和分配比例为叶 > 茎 > 根(图 2A、C)。成熟期,根和茎秆氮素积累量以Ⅳ型玉米最高,Ⅰ型最低,Ⅳ型玉米根和茎秆氮素积累量分别比Ⅰ型高 76.5% 和 118.8%;而子粒氮素积累量以Ⅱ型最高,Ⅰ型和Ⅲ型次之,Ⅳ型最低(图 2B)。Ⅰ型品种茎秆氮分配比例最低,子粒氮分配比例最高,Ⅳ型则相反(图 2D)。图 3 表明,Ⅰ型品种开花后的氮转移量、转移效率及贡献率都最高,Ⅲ型品种次之,Ⅱ型品种的氮贡献率最低,Ⅳ型品种的氮转移量及转移效率最低。开花后,Ⅰ型品种的氮积累量向子粒转移量最大,比Ⅳ型高 86.2%;而Ⅱ型品种子粒氮积累量最高(图 2B),贡献率却最低,仅为 23%。

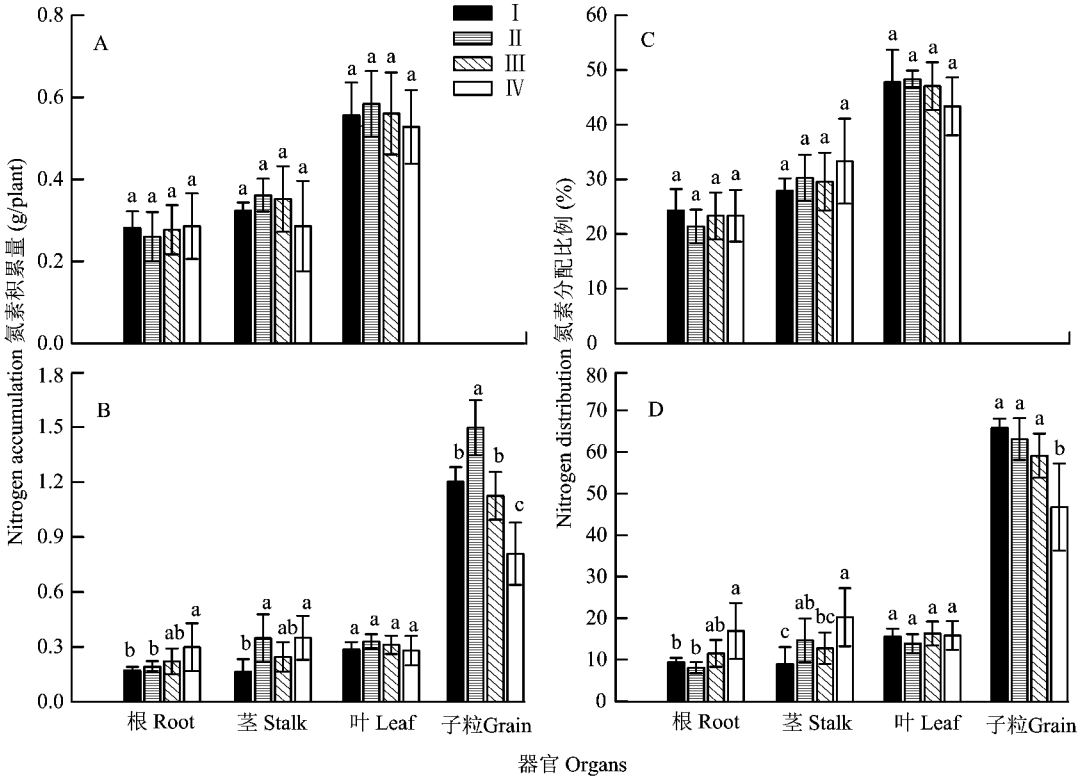

图 2 开花期(A、C)和成熟期(B、D)不同类型玉米各器官氮素积累与分配比例

Fig. 2 Nitrogen accumulation and distribution of organs of different maize hybrids at the flowering stage (A and C) and maturity stage (B and D)

[注(Note): Ⅰ—高产氮高效型 High yield and high efficiency; Ⅱ—高产氮中效型 High yield and moderate efficiency; Ⅲ—中产氮中效型 Moderate yield and moderate efficiency; Ⅳ—低产氮低效型 Low yield and low efficiency. 柱上不同字母表示在 0.05 水平差异显著。Different letters above the bars indicate a significant difference at the 0.05 probability level.]

2.4 氮素生产效率与粒重等性状的关系

对 37 个玉米品种氮素子粒生产效率及粒重等指标进行相关分析氮素子粒生产效率(NGPE)与氮含量、氮干物质生产效率极显著相关,与干物重、粒重显著正相关,与株高及氮积累量相关不显著;株高与干物重显著正相关,与其它指标相关不显著;干物重与氮积累量、氮含量、粒重及氮素干物质生产效率(NDMPE)均极显著相关;氮积累量与 NDMPE 极显著正相关;氮含量与粒重、NDMPE 极显著负相关(表 3)。

各指标对氮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:氮干物质生产效率 > 氮积累量 > 干物重 > 粒重 > 氮含量(表 4)。绝对值越大,说明对氮素子粒生产效率的影响越大。氮干物质生产效率对氮素子粒生产效率的直接作用最大,与相关系数表现一致。干物重和氮积累量的正间接作用大于负直接作用,主要是通过氮干物质生产效率的正间接作用较大所致。氮含量的直接及总的间接作用均表现为负值,但通过氮干物质生产效率的间接作用大于自身的直接作用。氮素干物质生产效

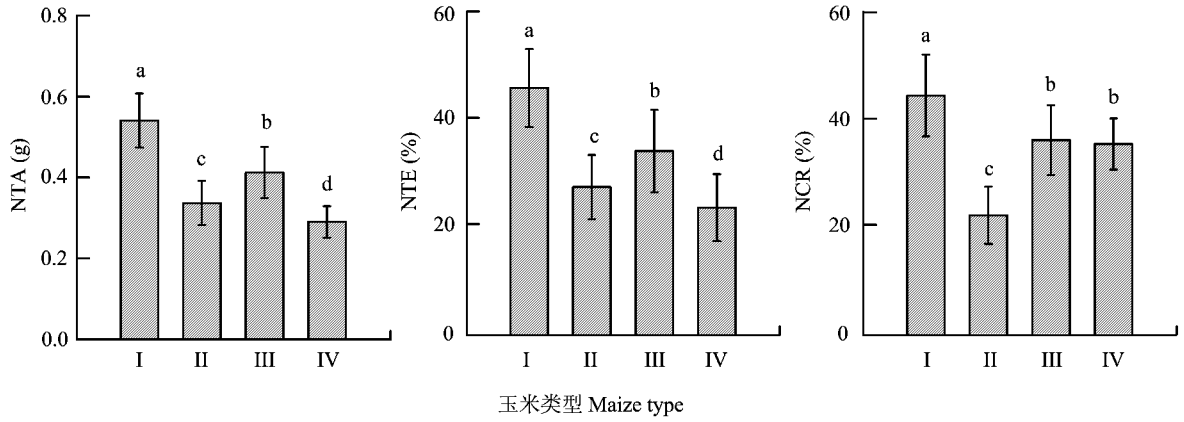

图 3　不同类型玉米的氮素转运

Fig. 3　Transportation of nitrogen in different maize hybrids

[注(Note):NTA—氮转移量 Nitrogen transportation amount;NTE—氮转移效率 Nitrogen transportation efficiency;NCR—氮素对子粒贡献率 Nitrogen contribution rate. Ⅰ—高产氮高效型 High yield and high efficiency;Ⅱ—高产氮中效型 High yield and moderate efficiency;Ⅲ—中产氮中效型 Moderate yield and moderate efficiency;Ⅳ—低产氮低效型 Low yield and low efficiency. 柱上不同字母表示在 0.05 水平差异显著。Different letters above the bars indicate a significant difference at the 0.05 probability level.]

表 3　成熟期不同类型玉米氮素子粒生产效率与粒重等性状的相关性

Table 3　Correlation between nitrogen grain production efficiency (NGPE) and the agronomic traits at the maturity stage

项目 Item	x_1 株高 Plant height	x_2 干物重 Dry matter weight	x_3 氮积累量 Total N accumulation	x_4 氮含量 N content	x_5 粒重 Grain weight	x_6 氮干物质生产效率 NDMPE	y 氮素子粒生产效率 NGPE
x_1	1						
x_2	0.35*	1					
x_3	0.24	0.66**	1				
x_4	-0.22	-0.72**	-0.17	1			
x_5	0.25	0.65**	-0.12	-0.80**	1		
x_6	0.14	0.64**	0.64**	-0.63**	0.22	1	
y	0.02	0.41*	0.17	-0.73**	0.39*	0.86**	1

注(Note):NDMPE—Nitrogen dry matter production efficiency;NGPE—Nitrogen grain production efficiency. *,**分别表示在 0.05 和 0.01 水平显著 Indicate significance at the 0.05 and 0.01 levels, respectively.

率、粒重、氮含量与氮素子粒生产效率存在真实一致的相关性,是影响氮素子粒生产效率的主要指标。

3　讨论

长期以来,高产一直是玉米育种的主要目标,因而玉米产量水平不断提高[21],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,而选育高产高效型品种是解决上述问题的根本途径[22-24]。因此,围绕高产品种开展养分效率探讨已成为当前研究的热点。前人对不同玉米品种氮效率及喜肥程度开展过大量相关研究工作[8-12],但受当时产量水平和地域特点影响较大,对当前北方春玉米区高产高效型品种选育的借鉴作用存在较大局限性。所以,本试验中选择我国北方春玉米区当前主推的 37 个高产品种,研究了其干物质生产及氮素利用特性,通过聚类分析可划分为 4 类,即高产氮高效型(Ⅰ)、高产氮中效型(Ⅱ)、中产氮中效型(Ⅲ)和低产氮低效型(Ⅳ)。研究发现,氮高效的品种仅占 8.11%,这远低于王空军等 2002 年的研

表4 成熟期粒重等性状对氮素子粒生产效率的通径分析

Table 4 Path analysis of nitrogen grain production efficiency (NGPE) and the agronomic traits at the maturity stage

通径 $x_i \rightarrow y$ Path	直接作用 Direct effect	间接作用 x_i-x_j-y Indirect effect					
		总和 Total	x_2 干物重 Dry matter weight	x_3 氮积累量 Total N accumulation	x_4 氮含量 N content	x_5 粒重 Grain weight	x_6 氮干物质生产效率 NDMPE
x_2	-0.2970	0.7058		-0.2687	0.0683	0.1254	0.7808
x_3	-0.4026	0.5810	-0.1982		0.0163	-0.0230	0.7859
x_4	-0.0947	-0.6378	0.2143	0.0693		-0.1538	-0.7676
x_5	0.1918	0.1949	-0.1941	0.0483	0.0759		0.2648
x_6	1.2126	-0.3504	-0.1912	-0.2610	0.0599	0.0419	

注(Note): NDMPE—Nitrogen dry matter production efficiency.

究结果(24%)[11],大部分为氮中效品种(72.97%)和氮低效品种(21.62%),这说明近年来我国北方春玉米区氮高效品种的选育进展缓慢,同时也表明通过育种手段挖掘其氮素利用效率的潜力巨大。

众多研究已证明,禾谷类作物子粒产量的60%以上来自开花后到成熟期的光合代谢产物[25-26],当代高产玉米品种产量形成的关键期也在开花后[27-29]。前人对不同基因型甜玉米和糯玉米的研究则表明氮高效品种主要是减少了开花后的氮素积累量且转移效率较高[30-31]。而针对当前我国北方春玉米区高产玉米品种在营养生长和生殖生长阶段物质生产和氮素利用效率的关系尚不清楚,开展相关研究有助于对氮高效高产品种的理解。本研究中,自开花后到成熟期的光合产物和氮素积累分配比例不同导致氮效率产生差异,Ⅰ型品种开花后的氮转移量、转移效率及贡献率都最高,Ⅳ型品种的氮转移量及转移效率最低,这与小麦、水稻等作物高产高效型品种抽穗后具有较高的氮素转运量和转运效率的特征类似[32-33]。与前人研究不同的是,高产高效型玉米品种开花后干物质和氮素向目标器官(子粒)分配较多,而低产低效型品种向根和茎秆等非目标器官分配比例较高。

进一步对成熟期不同类型玉米氮素子粒生产效率与粒重等农艺性状相关分析发现,干物质重和氮素积累量呈极显著正相关。对氮素子粒生产效率的通径分析表明,干物质重与氮素积累量是通过氮素干物质生产效率对氮素子粒生产效率产生间接影响。粒重与氮素子粒生产效率呈显著正相关,氮含量与氮素子粒生产效率呈显著负相关,因此,高粒重和低植株氮含量可作为氮高效品种选育的参考指标。

氮效率是氮素吸收、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[13]。研究发现,玉米氮素吸收效率主要受氮素吸收过程的影响;氮素利用效率主要受氮素分配转移过程的影响,与玉米产量密切相关[30]。本研究主要探讨了与氮素生产效率相关的氮素积累量、干物质积累量、氮素干物质生产效率、氮素对子粒的贡献率等内容,分析了氮素子粒生产效率相关性状及其与产量的关系,得出的结果对高产高效型品种选育和氮素管理具有参考价值,而关于氮素吸收效率相关性状及其与产量的关系尚有待进一步研究。

4 结论

我国北方春玉米区当前主推高产品种分为高产氮高效型、高产氮中效型、中产氮中效型和低产氮低效型4类,高产高效型比例最小。开花后是4类品种干物质生产及氮效率产生差异的关键时期,高产氮高效型品种的氮转移率、贡献率和输出率显著高于低产氮低效型品种。成熟期,高产氮高效型品种干物质和氮向子粒的分配比例较高,而低产氮低效型品种向根和茎秆的分配比例较高。粒重与氮素子粒生产效率呈显著正相关,氮含量与氮素子粒生产效率呈显著负相关,高产氮高效品种具有较高的粒重和较低的植株氮含量。

感谢国家玉米产业技术体系通化站、吉林市站、沈阳站、铁岭站、丹东站、克山站、绥化站、黑河站、通辽站、赤峰站、蒙西站、忻州站、长治站提供试验用品种。

参 考 文 献:

[1] 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, 2008. 458 -465.
National Bureau of Statistics of China. China statistics yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2008. 458 -465.

[2] Kamara A Y, Kling J G, Menkir A *et al*. Agronomic performance of maize (*Zea mays* L.) breeding lines derⅣed from a low nitrogen maize population [J]. J. Agric. Sci., 2003, 141: 221 -230.

[3] Maltas A, Corbeels M, Scopel E *et al*. Cover crop and nitrogen effects on maize producity in no-tillage systems of the Brazilian Cerrados [J]. Agron. J., 2009, 101: 1036 -1046.

[4] 高强, 冯国忠, 王志刚. 东北地区春玉米施肥现状调查[J]. 中国农学通报, 2010, 26(14): 229 -231.
Gao Q, Feng G Z, Wang Z G. Present situation of fertilizer application on spring maize in northeast China [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2010, 26(14): 229 -231.

[5] 巨晓棠, 张福锁. 中国北方土壤硝态氮的积累及其对环境的影响[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 24 -28.
Ju X T, Zhang F S. Nitrate accumulation and its implication to environment in north China [J]. Ecol. Environ., 2003, 12(1): 24 -28.

[6] Singh U, Ladha J K, Castillo E G *et al*. Genotypic variation in nitrogen use efficiency in medium and long-duration rice [J]. Field Crops Res., 1998, 58: 35 -53.

[7] Sinebo W, Gretzmacher R, Edelbauer A. Genotypic variation for nitrogen use efficiency in Ethiopian bailey [J]. Field Crops Res., 2004, 85: 43 -60.

[8] 春亮, 陈范骏, 张福锁, 米国华. 不同氮效率玉米杂交种的根系生长、氮素吸收与产量形成[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(5): 615 -619.
Chun L, Chen F J, Zhang F S. Root growth, nitrogen uptake and yield formation of hybrid maize with different N efficiency [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(5): 615 -619.

[9] Kanara A Y, Menkir A, Ajala S O, Kureh I. Performance of diverse maize genotypes under nitrogen deficiency in the northern guinea savanna of nigeria [J]. Exp. Agric., 2005, 41: 199 -212.

[10] 刘建安, 米国华, 张福锁. 不同基因型玉米氮效率差异的比较研究[J]. 农业生物技术学报, 1999, 7(3): 248 -254.
Liu J A, Mi G H, Zhang F S. Difference in nitrogen efficiency among maize genotypes [J]. J. Agric. Biotech., 1999, 7(3): 248 -254.

[11] 王空军, 张吉旺, 郭玉秋, 等. 我国北方玉米品种个体产量潜力与氮素利用效率研究[J]. 应用生态学报, 2005, 16(5): 879 -894.
Wang K J, Zhang J W, Guo Y Q *et al*. Individual grain yield potential and nitrogen utilization efficiency of *Zea mays* cultivars widely planted in North China [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2005, 16(5): 879 -894.

[12] 张宽, 王秀芳, 吴巍, 等. 玉米喜肥能力与喜肥程度对化肥效应的影响及其分级[J]. 玉米科学, 1999, 7(1): 65 -71.
Zhang K, Wang X F, Wu W *et al*. Classification of maize nitrogen fertility [J]. J. Maize Sci., 1999, 7(1): 65 -71.

[13] Moll R H, Kamprath E J, Jackson W A. Analysis and interpretation of factor which contribute to efficiency of nitrogen utilization [J]. Agron. J., 1982, 74: 562 -564.

[14] Worku M, Banziger M, Erley G S *et al*. Nitrogen uptake and utilization in contrasting nitrogen efficient tropical maize hybrids [J]. Crop Sci., 2007, 47: 519 -528.

[15] 卢艳丽, 陆卫平, 王继丰, 等. 不同基因型糯玉米氮素吸收利用效率的研究Ⅰ. 氮素吸收利用的基因型差异[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 321 -326.
Lu Y L, Lu W P, Wang J F *et al*. The difference of nitrogen uptake and utilization in waxy corn I. The difference genotypes in absorption and utilization of nitrogen [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(3): 321 -326.

[16] Laura E, Steven R, Matthijs T. The response of leaf photosynthesis and dry matter accumulation to nitrogen supply in an older and a newer maize hybrid [J]. Crop Sci., 2008, 48: 656 -665.

[17] 王俊忠, 黄高宝, 张超男, 等. 施氮量对不同肥力水平下夏玉米碳氮代谢及氮素利用率的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 2045 -2052.
Wang Z H, Huang G B, Zhang C N *et al*. Influence of nitrogen fertilizer rate on carbon-nitrogen metabolism and nitrogen use efficiency of summer maize under high and medium yield levels [J]. Acta Ecol. Sin., 2009, 29(4): 2045 -2052.

[18] 南京农业大学. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 1988. 213 -216.
Nanjing Agricultural University. The agricultural and chemical analysis of soil [M]. Beijing: China Agricultural Press, 1988. 213 -216.

[19] 江立庚, 曹卫星, 甘秀芹, 等. 不同施氮水平对南方早稻氮素吸收利用及其产量和品种的影响[J]. 中国农业科学, 2004, 37(4): 490 -496.
Jiang L G, Cao W X, Gan X Q *et al*. Nitrogen uptake and utilization under different nitrogen management and influence on grain yield and quality in rice [J]. Sci. Agric. Sin., 2004, 37(4): 490 -496.

[20] 王敬锋, 刘鹏, 赵秉强, 等. 不同基因型玉米根系特性与氮素吸收利用的差异[J]. 中国农业科学, 2011, 44(4): 699 -707.
Wang J F, Liu P, Zhao B Q *et al*. Comparison of root characteristics and nitrogen uptake and use efficiency in different corn genotypes [J]. Sci. Agric. Sin., 2011, 44(4): 699 -707.

[21] Duvick D N. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.) [J]. Advan. Agron., 2005, 86: 83 -145.

[22] 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 Agron. Sin., 2004, 30(10): 1014-1018.

[23] Presterl T, Seitz G, Landbeck M *et al*. Improving nitrogen-use efficiency in European maize: estimation of quantitate genetic parameters [J]. Crop Sci., 2003, 43: 1259-1265.

[24] 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 quantitate genetics within integrated approaches [J]. J. Exp. Bot., 2007, 58: 2369-2387.

[25] Gardner F P, Pearce R B, Mitchell R L. Photosynthesis. In: physiology of crop plant [M]. Ames: Iowa State University Press, 1985. 3-30.

[26] Fageria N K, Baligar V C, Clark R B. Physiology of crop production [M]. New York, London, Oxford: Food Products Press. An Imprint of the Haworth Press, Inc. 2005. 2-82.

[27] Ding L, Wang K J, Jiang G M *et al*. Post-anthesis changes in photosynthetic traits of maize hybrids released in different years [J]. Field Crops Res., 2005, 93(1): 108-115.

[28] 王空军，董树亭，胡昌浩，等. 我国1950s-1990s推广的玉米品种叶片光合特性演进规律研究[J]. 植物生态学报，2001，25(2)：247-251.
Wang K J, Dong S T, Hu C H *et al*. Improvement in photosynthetic characteristics among maize varieties in China from the 1950s to the 1990s [J]. Chin. J. Plant Ecol., 2001, 25(2): 247-251.

[29] Tollenaar M. Genetic improvement in grain yield of commercial maize hybrids grown in Ontario from 1959 to 1988 [J]. Crop Sci., 1988, 29: 1365-1371.

[30] 卢艳丽，陆卫平，刘小兵，等. 不同基因型糯玉米氮素吸收利用效率的研究Ⅲ. 氮素分配转移特性的基因型差异[J]. 植物营养与肥料学报，2007，13(1)：86-92.
Lu Y L, Lu W P, Liu X B *et al*. The difference of nitrogen uptake and utilization in waxy corn Ⅲ. Genetic differences in nitrogen distribution and translocation [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(1): 86-92.

[31] 陆大雷，刘小兵，赵久然，等. 甜玉米氮素积累和分配的基因型差异[J]. 植物营养与肥料学报，2008，14(5)：852-857.
Lu D L, Liu X B, Zhao J R *et al*. Genotypic differences in nitrogen accumulation and distribution among different sweet maize varieties [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(5): 852-857.

[32] 叶利庭，宋文静，吕华军，等. 不同氮效率水稻生育后期氮素积累转运特征[J]. 土壤学报，2010，47(2)：303-310.
Ye L T, Song W J, Lü H J *et al*. Accumulation and translocation of nitrogen at late-growth stage in rice different in cultivar nitrogen use efficiency [J]. Acta Pedol. Sin., 2010, 47(2): 303-310.

[33] 张锡洲，阳显斌，李廷轩，等. 小麦氮素利用效率的基因型差异[J]. 应用生态学报，2011，22(3)：369-375.
Zhang X Z, Yang X B, Li T X *et al*. Genotype difference in nitrogen efficiency of wheat [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(3): 369-375.