

小麦氮素利用效率的基因型差异*

张锡洲 阳显斌 李廷轩** 余海英

(四川农业大学资源环境学院, 四川雅安 625014)

摘要 通过土培盆栽试验,研究了130份小麦材料在相同氮素水平下生物量、氮素积累量、氮素生产效率的基因型差异,旨在筛选具有高效利用氮素能力的小麦基因型,为氮高效小麦育种提供种质资源.结果表明:拔节期、抽穗期和成熟期供试小麦单株生物量变幅分别为1.06~3.08 g、1.88~9.05 g和2.64~13.75 g,单株籽粒产量变幅为1.38~9.90 g.拔节期、抽穗期氮素干物质生产效率变幅分别为25.62~65.41 $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$ ($F=5.099^{**}$)和35.79~88.70 $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$ ($F=5.325^{**}$),成熟期氮素籽粒生产效率变幅为19.06~38.54 $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$ ($F=4.669^{**}$).不同氮素生产效率小麦基因型拔节期氮素干物质生产效率($F=637.941^{**}$)、抽穗期氮素干物质生产效率($F=201.173^{**}$)及成熟期氮素籽粒生产效率($F=443.450^{**}$)存在极显著差异.不同氮素生产效率小麦基因型拔节期、抽穗期及成熟期生物量差异显著,有效分蘖数与穗数差异不显著.氮素生产效率高的基因型具有无效分蘖少、抽穗期前氮素利用能力强、抽穗期-成熟期氮素吸收与再利用能力强等特点.典型氮高效基因型小麦省C XK027-4和良麦4号的籽粒产量是低效基因型694的3.44倍和2.86倍,籽粒氮素积累量是694的3.06倍和2.81倍.

关键词 小麦 氮素利用效率 动态聚类 籽粒产量

文章编号 1001-9332(2011)02-0369-07 中图分类号 S512.1 文献标识码 A

Genotype difference in nitrogen utilization efficiency of wheat. ZHANG Xi-zhou, YANG Xian-bin, LI Ting-xuan, YU Hai-ying (College of Resources and Environment, Sichuan Agricultural University, Ya'an 625014, Sichuan, China). -Chin. J. Appl. Ecol., 2011, 22(2): 369-375.

Abstract: A pot experiment with 130 wheat cultivars was conducted to study their genotype difference in biomass per plant, nitrogen accumulation, and nitrogen production efficiency under the same level of nitrogen supply, aimed to screen the high efficiency nitrogen-utilizing wheat genotypes. The results showed that the biomass per plant of the cultivars at jointing, heading, and maturing stages was within the ranges of 1.06-3.08 g, 1.88-9.05 g, and 2.64-13.75 g, respectively, and the yield per plant was 1.38-9.90 g. The nitrogen dry matter production efficiency was 25.62-65.41 $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$ ($F=5.099^{**}$) at jointing stage and 35.79-88.70 $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$ ($F=5.325^{**}$) at heading stage, and the nitrogen production efficiency of grain yield was 19.06-38.54 $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$ ($F=4.669^{**}$) at maturing stage. There were significant differences in nitrogen dry matter production efficiency (jointing stage, $F=637.941^{**}$; heading stage, $F=201.173^{**}$) and nitrogen grain yield production efficiency (maturing stage, $F=443.450^{**}$), and also, in biomass accumulation among the cultivars, but no significant differences in tiller number and effective tiller number. The wheat genotypes with high nitrogen utilization efficiency had the characteristics of less ineffective tiller, high nitrogen utilization before heading stage, and high effective nitrogen absorption and reuse capability at heading and maturing stage. The grain yields of high nitrogen efficiency genotypes Sheng C XK027-4 and Liangmai 4 were 2.44 times and 1.86 times higher than those of low nitrogen use efficiency genotype 694, and the nitrogen accumulation in grain yields was 2.06 times and 1.81 times higher than that of low nitrogen use efficiency genotype 694, respectively.

Key words: wheat; nitrogen utilization efficiency; dynamic cluster; grain yield.

* 国家自然科学基金项目(40901138)和国家科技支撑计划项目(2008BAD98B03)资助.

** 通讯作者. E-mail: litinx@263.net

2010-07-05 收稿, 2010-11-14 接受.

氮素的吸收利用直接影响小麦的生长发育,进而影响其产量和品质.近几十年来,生产上通过增加施肥提高作物单产,导致氮肥施用量逐年增加,过多的施用氮肥带来氮素奢侈吸收、氮素挥发、反硝化脱氮、水体富营养化等生态环境问题,同时,养分利用效率低下导致生产成本提高^[1-3].如何充分挖掘和利用作物自身高效吸收和利用氮素的遗传潜力,从而减少氮肥投入已成为国内外研究的热点^[4-6].据报道,玉米、水稻和小麦等作物存在氮素高效吸收利用的基因型差异^[7-9].苗期是作物氮素营养的敏感期^[10-12],但是氮素养分最大利用效率期是在拔节期及其以后的生育时期^[13-15].研究表明,氮素吸收利用效率基因型差异的影响因子为生物量、籽粒产量、氮素积累量、籽粒含氮量、氮收获指数、氮生产指数和氮素生理利用率^[16-18].本研究采用土培盆栽试验,以130份小麦为供试材料,研究小麦全生育期氮素吸收利用的基因型差异,旨在筛选具有氮高效利用特点的基因型,为小麦氮高效利用机理研究奠定基础及氮高效育种提供种质资源.

1 材料与方 法

1.1 供试材料

供试小麦为四川农业大学小麦研究所提供的130份小麦材料,即品系:4298、694、4378、5028、5100、5210、30389、31520、40755、41058、61605、77782、99626、云 B58863-2、03-2917、06YP-1、2000-112、2006 品 11、2309-2、700-011689、99-1572、B1291、B7094、B991、CD1158-7、CD1167-8、CD1473、F2188、F947、G219-24、GY118-6、H14、J233、L-28、LB0458、LB0758、LB0778、LB1768、LM06-22、LM06-31、LM06-46、ML1131-95、ML2652、MY1227-185、MY1848、MY5306、MY68942、O1P66、O233-1、O2SB364、O2Y23、O30080、O30482、O3EY7、O3EYJ、O4012、O4020、O5078、O5152、O602、Pm99915-1、R158、R248、R257、S-10-1、S-11-3、S-13-3、S-14-1、S-17-4、S-2-1、S-3-1、S-4-1、S-5-4、S-6-3、S-7-4、S-8-3、S-9-2、SH516、SJ407、SW05-2962、SW14915、SW17169、SW22514、T3-8、W3 早、W5425-20、X9620、XK055-3、XK060-1、XK066-1、川05 品 1、川05 品 10、川05 品 2、绵阳 2001-30、绵阳 2001-78、内 2889、内 4344、内 5348、内 6072、内江 24066、省 A34735、省 A35530、省 A302048、省 A32L-26、省 A3R138、省 A3R45、省 A3 间 3、省 A3 宜 03-4、省 C90097、省 CXK027-4、宜 05-

3;品种:矮丰麦、川05 观 8、川麦 107、川麦 35、川麦 42、川农 16、川育 12、良麦 2 号、良麦 3 号、良麦 4 号、龙麦 6 号、南农 02y393、南农 9918、南农 OZy23、射洪 03-10、渝 02321、渝 98767、郑麦 9023;地方品种:中国春.

供试土壤为近代河流冲积物上发育的潮土,采集于四川省雅安市雨城区大兴镇.土壤基本理化性质为:pH 7.24、有机质 16.0 g·kg⁻¹、全氮 0.45 g·kg⁻¹、碱解氮 71 mg·kg⁻¹、速效磷 15 mg·kg⁻¹、速效钾 65 mg·kg⁻¹.

1.2 试验设计与处理

试验于 2007 年 10 月至 2008 年 6 月在四川农业大学科研教学农场有防雨设施的网室进行.采用土培盆栽试验,每个塑料桶(30 cm×21 cm×24 cm)装潮土 15 kg,每个小麦材料设 9 次重复,随机区组排列.播种前 1 周施 N 66 mg·kg⁻¹土、P₂O₅ 30 mg·kg⁻¹土和 K₂O 66 mg·kg⁻¹土,分别以 CO(NH₂)₂、KH₂PO₄ 和 K₂SO₄ 的形式混入土壤.小麦种子经 50% 多菌灵消毒后播种,出苗后长到 4 叶时,每桶定苗 8 株.生育期间管理措施参照大田生产.分别在小麦拔节期、抽穗期和成熟期采样,每个时期 3 次重复,采样前先用水将土湿透,然后将整盆土倒出,用水小心冲洗小麦根系以保证完整性,测量株高、分蘖数、有效分蘖数、穗数和籽粒质量,按根、茎叶、籽粒等器官分开,在 105 °C 下杀青 30 min 后,置于 75 °C 烘箱烘至恒量,测定生物量,粉碎后备用.

1.3 测定项目与方法

植株含氮量采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮-蒸馏法测定.用植株生物量×植株氮含量(%)计算氮素积累量(nitrogen accumulation, NA);氮素干物质生产效率(nitrogen use efficiency of dry matter)用单位氮素生产的植株干物质质量表示(g·g⁻¹N)^[19];氮素籽粒生产效率(nitrogen use efficiency of grain yield)用成熟期植株单位氮素生产的籽粒产量表示(g·g⁻¹N)^[20].

1.4 数据处理

采用 DPS 11.5 软件进行动态聚类和差异显著性分析(Duncan 法),Excel 2003 软件进行数据分析和图表绘制.

2 结果与分析

2.1 小麦氮素吸收利用的基因型差异

生物量、氮素积累量、氮素生产效率及籽粒产量

可作为衡量小麦氮素吸收利用能力的指标. 拔节期、抽穗期和成熟期供试小麦单株生物量变幅分别为 1.06 ~ 3.08 g、1.88 ~ 9.05 g 和 2.64 ~ 13.75 g; 单株氮素积累量变幅分别为 30.38 ~ 95.04 mg、31.24 ~ 169.68 mg 和 64.76 ~ 262.91 mg; 单株籽粒产量变幅为 1.38 ~ 9.90 g, 3 个生育时期氮素干物质生产效率变幅分别为 25.62 ~ 65.41 $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$ 、35.79 ~ 88.701 $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$ 和 40.21 ~ 67.41 $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$, 且供试小麦之间的氮素干物质生产效率差异均达极显著水平(拔节期 $F=5.099^{**}$, 抽穗期 $F=5.325^{**}$, 成熟期 $F=3.585^{**}$). 氮素籽粒生产效率变幅为 19.06 ~ 38.54 $\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$ ($F=4.669^{**}$). 成熟期单株籽粒产量与单株生物量、氮素籽粒生产效率和氮素干物质生产效率均呈极显著的线性正相关关系(图 1、2), 说明良好的营养器官建成有利于籽粒产量的形成.

2.2 不同基因型小麦氮素吸收利用效率的差异

氮素干物质生产效率或氮素籽粒生产效率可作为衡量小麦氮高效基因型的指标. 采用最小组类平方和、迭代精度水平为 3、时间控制为 1 min 的动态

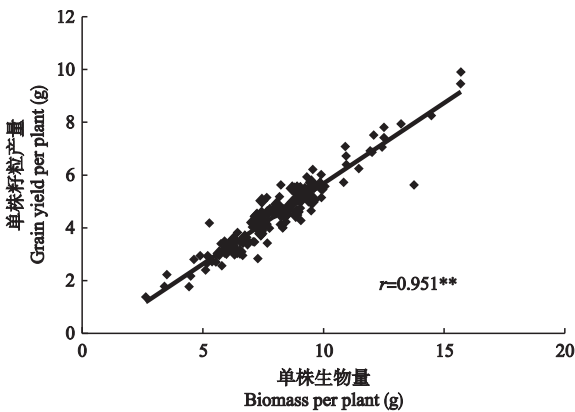


图 1 小麦成熟期生物量与籽粒产量的相关性

Fig. 1 Correlation between biomass and grain yield of wheat at maturing stage.

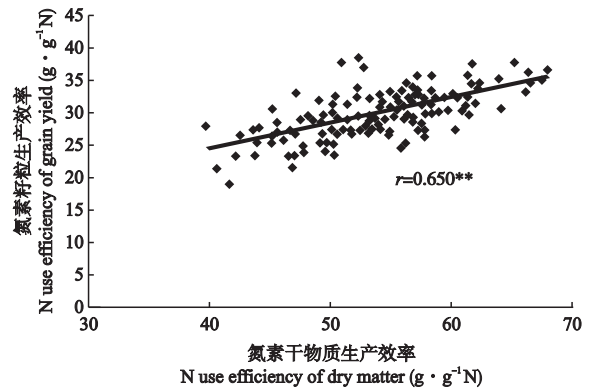


图 2 小麦成熟期氮素籽粒生产效率与氮素干物质生产效率的相关性

Fig. 2 Correlation between N use efficiency of grain yield and N use efficiency of dry matter of wheat at maturing stage.

聚类方法, 把供试材料按氮素干物质生产效率或氮素籽粒生产效率从低到高依次分为 I、II、III、IV、V 5 种类型, 不同生育时期氮素生产效率的类间差异均达显著水平(表 1). V 类为氮高效型, I 类为氮低效型. 拔节期、抽穗期和成熟期 V 类高效型的氮素生产效率分别是 I 类低效型的 1.84 倍、2.01 倍和 1.59 倍. 表明不同生育时期供试材料间氮素生产效率存在较大差异.

2.3 不同氮效率小麦基因型表征特征差异

由表 2 可知, 拔节期不同氮素干物质生产效率小麦的生物量、分蘖数、株高、根冠比和氮素积累量类间差异均达显著水平. 生物量随氮素干物质生产效率的增加而增加, 其增加趋势较株高和根冠比更为明显. 较高氮素干物质生产效率小麦具有较少的分蘖数和氮素积累量, 而株高和根冠比的提高有利于提高氮素干物质生产效率. 相关性分析表明, 拔节期分蘖数与氮素干物质生产效率呈极显著负相关性 (-0.242^{**}), 而生物量与氮素干物质生产效率呈极显著的正相关性 (0.365^{**}), 这是因为从分蘖期

表 1 不同生育时期小麦氮素生产效率

Table 1 N use efficiency of wheat at different growth stages (mean±SD)

类型 Type	拔节期 Jointing stage		抽穗期 Heading stage		成熟期 Maturing stage	
	品种数 Number of cultivars	氮素干物质生产效率 N use efficiency of dry matter ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$)	品种数 Number of cultivars	氮素干物质生产效率 N use efficiency of dry matter ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$)	品种数 Number of cultivars	氮素籽粒生产效率 N use efficiency of grain yield ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$)
I	13	30.17±0.58e	24	49.24±2.54e	9	22.80±0.42e
II	20	35.09±0.31d	36	58.77±1.18d	33	26.69±0.29d
III	33	38.80±0.16c	35	66.43±0.39c	32	28.28±0.36c
IV	40	43.31±1.01b	27	71.03±3.81b	41	30.07±0.45b
V	24	51.88±0.76a	8	80.00±1.38a	15	32.20±0.54a
		637.941**		201.173**		443.450**

同列不同字母表示差异显著 ($P<0.05$) Different letters in the same column meant significant difference at 0.05 level. ** $P<0.01$. 下同 The same below.

到拔节期无效分蘖生长相对停滞,而无效分蘖在一定程度上增加了小麦的氮素积累量,导致氮素干物质生产效率低.可见,拔节期氮素干物质生产效率高的基因型具有分蘖数少、氮素积累量少的特征,并具有较强的生物量形成能力.

由表3可知,抽穗期不同氮素干物质生产效率小麦的生物量、株高和氮素积累量类间差异达显著水平,而有效分蘖数和根冠比的类间差异不显著.生物量随氮素干物质生产效率的增加而增加,株高和根冠比的增加趋势不明显.较高氮素干物质生产效率的小麦具有较多的生物量和较低的氮素积累量.拔节期氮素干物质生产效率低的品种分蘖数显著高于氮高效品种,而抽穗期有效分蘖数类间差异不显著,表明在拔节期之前的生育时期氮低效品种分蘖多但不壮,其氮素利用能力不强导致无效分蘖增多.

成熟期不同氮素籽粒生产效率小麦的籽粒产量、生物量、氮素积累量类间差异达显著水平,而穗数和株高的类间差异不显著(表4).籽粒产量随氮素籽粒生产效率的增加而增加,且其趋势较生物量增加明显.拔节期和抽穗期I类品种的氮素积累量显著高于V类品种,而成熟期两类品种差异不显著.说明与氮低效品种相比,氮高效品种在生育后期不但具有较强的氮素再利用能力,而且其再吸收能力也较强. II-IV类品种在生育后期具有较强的氮素再吸收能力,但其再利用能力较低.

2.4 不同氮效率小麦的氮素吸收利用基因型差异

不同氮效率小麦氮素吸收利用存在显著的基因型差异.拔节期、抽穗期和成熟期省CXK027-4、良麦4号具有较高的氮素生产效率,而小麦694具有较低的氮素生产效率.由表5可知,在拔节期和抽穗

表2 拔节期不同氮素干物质生产效率小麦类型相关性状的差异

Table 2 Differences of wheat plant related traits among different types of N use efficiency of dry matter at jointing stage

类型 Type	单株生物量 Biomass per plant (g)	单株分蘖数 Tiller number per plant	株高 Plant height (cm)	根冠比 Root to shoot ratio	单株氮素积累量 N accumulation per plant (mg)
I	1.87±0.03c	3.03±0.08a	49.38±0.56c	0.14±0.00d	61.07±1.95a
II	1.85±0.08c	2.86±0.02b	54.79±0.69ab	0.15±0.00c	56.88±1.35b
III	2.06±0.02b	2.77±0.09bc	54.04±0.62b	0.18±0.00a	50.94±1.03c
IV	2.20±0.04b	2.68±0.00c	53.58±0.14b	0.16±0.01b	49.52±0.52cd
V	2.43±0.11a	2.64±0.03c	55.63±0.18a	0.17±0.01b	47.36±1.44d
F值 F value	31.947**	15.771**	47.665**	25.703**	35.557**

表3 抽穗期不同氮素干物质生产效率小麦类型相关性状的差异

Table 3 Differences of wheat plant related traits among different types of N use efficiency of dry matter at heading stage

类型 Type	单株生物量 Biomass per plant (g)	单株有效分蘖数 Effective tiller number per plant	株高 Plant height (cm)	根冠比 Root to shoot ratio	单株氮素积累量 N accumulation per plant (mg)
I	4.66±0.17c	2.17±0.11	76.83±0.37d	0.10±0.01	110.50±6.64a
II	4.89±0.17c	2.00±0.00	80.11±0.90c	0.11±0.01	86.49±0.68b
III	5.38±0.21b	2.10±0.11	79.48±0.66c	0.13±0.01	83.01±3.65b
IV	5.35±0.06b	2.11±0.01	83.10±0.47a	0.13±0.02	77.40±2.39bc
V	5.76±0.01a	2.32±0.09	81.66±1.12b	0.12±0.01	71.84±6.29c
F值 F value	18.296**	3.715	29.486**	2.969	27.592**

表4 成熟期不同氮素籽粒生产效率小麦类型相关性状的差异

Table 4 Differences of wheat plant related traits among different types of N use efficiency of grain yield at maturing stage

类型 Type	单株籽粒产量 Grain yield per plant (g)	单株生物量 Biomass per plant (g)	单株穗数 Spike number per plant	株高 Plant height (cm)	单株氮素积累量 N accumulation per plant (mg)
I	3.40±0.35c	6.18±0.45d	2.05±0.07	79.97±3.15	131.05±8.25b
II	4.25±0.05b	7.71±0.11c	2.03±0.06	80.93±0.42	158.25±2.43a
III	4.63±0.04ab	8.41±0.12ab	2.03±0.06	81.53±0.72	158.72±4.36a
IV	4.90±0.13a	8.55±0.08a	2.13±0.06	84.07±0.42	160.16±2.38a
V	4.96±0.19a	7.86±0.11bc	2.07±0.12	82.90±0.92	129.63±8.30b
F值 F value	22.424**	35.613**	0.892	3.384	14.441**

表 5 拔节期和抽穗期典型氮高效和氮低效基因型小麦的氮吸收利用差异

Table 5 Differences of N uptake and utilization between typical genotypes with high and low N efficiency of wheat at jointing and heading stage

生育时期 Growth stage	类型 Type	基因型 Genotype	单株生物量 Biomass per plant (g)	单株氮素积累量 N accumulation per plant (mg)	氮素干物质生产效率 N use efficiency of dry matter ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$)
拔节期 Jointing stage	L	694	1.70±0.37b	65.62±3.15a	36.57±4.06b
	H	省 CXK027-4 Sheng CXK027-4	2.02±0.03ab	53.63±2.89b	54.93±5.18a
		良麦 4 号 Liangmai 4	2.57±0.04a	36.86±3.67c	46.40±3.45ab
抽穗期 Heading stage	L	694	4.55±0.54c	84.24±3.42b	53.79±3.42b
	H	省 CXK027-4 Sheng CXK027-4	9.04±0.37a	118.15±20.33a	73.74±5.10a
		良麦 4 号 Liangmai 4	6.58±0.14b	91.23±4.15ab	74.76±5.47a

L: 氮低效型 Low N use efficiency; H: 氮高效型 High N use efficiency. 下同 The same below.

表 6 成熟期典型氮高效和氮低效基因型小麦的氮吸收利用差异

Table 6 Differences of N uptake and utilization between typical genotypes with high and low N use efficiency of wheat at maturing stage

类型 Type	基因型 Genotype	单株籽粒产量 Grain yield per plant (g)	单株籽粒 氮素积累量 N accumulation of grain per plant (mg)	籽粒氮素 生产效率 N use efficiency of grain yield ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$)	单株生物量 Biomass per plant (g)	单株氮素 积累量 N accumulation per plant (mg)	氮素干物质 生产效率 N use efficiency of dry matter ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \text{N}$)
L	694	2.40±0.78b	75.85±26.37b	23.23±3.08b	5.11±0.37b	102.08±14.46b	51.53±1.71b
H	省 CXK027-4 Sheng CXK027-4	8.25±0.26a	232.13±19.06a	31.85±2.41a	14.47±0.15a	259.58±11.48a	56.90±1.51a
	良麦 4 号 Liangmai 4	6.87±2.21a	213.70±19.17a	31.89±0.42a	13.30±1.82a	238.36±33.35a	56.00±0.52a

期,与氮低效基因型小麦相比,氮高效基因型小麦具有较高的生物量和相对较低的氮素积累量,从而具有较高的氮素干物质生产效率。由表 6 可知,成熟期氮高效型小麦省 CXK027-4 和良麦 4 号的籽粒产量分别是氮低效型小麦 694 的 3.44 倍和 2.86 倍;籽粒氮素积累量分别是 694 的 3.06 倍和 2.81 倍;氮素籽粒生产效率均是 694 的 1.37 倍。拔节期、抽穗期及成熟期省 CXK027-4 氮素干物质生产效率分别是 694 的 1.50 倍、1.37 倍和 1.10 倍,良麦 4 号分别是 694 的 1.27 倍、1.39 倍和 1.09 倍。

3 讨 论

研究表明,在施氮和未施氮处理下,水稻不同基因型间氮素吸收总量、成熟期氮素生理利用效率和氮素转移效率有显著差异^[5];在相同的供氮水平下,不同基因型水稻间的产量、吸氮量与氮素生理利用效率亦存在显著差异^[6]。甜玉米和糯玉米不同基因型在同一施氮水平下的氮素积累和利用效率同样存在显著差异^[21-22]。不同供氮水平下,不同基因型小麦对氮素吸收、积累与利用特性存在较大差异^[4,23-24]。本研究结果表明,同一氮素水平下小麦的籽粒产量、生物量、氮素积累量及氮素生产效率也存

在显著的基因型差异。

董桂春等^[20,25]研究表明,水稻氮素籽粒生产效率存在显著的基因型差异,随着氮素籽粒生产效率的提高,籼稻品种的产量水平显著提高,氮素籽粒生产效率高的品种具有单位面积穗数较多、结实率高、抽穗期叶面积系数较小、抽穗期单位叶面积籽粒产量高等特征;而且氮素籽粒生产效率高的品种抽穗期、成熟期茎鞘叶中氮素比例小、而穗中氮素比例大,成熟期更明显,结实期茎鞘叶中氮素运转量大、运转率高。本研究表明,不同生育时期,小麦氮素干物质生产效率与氮素籽粒生产效率存在显著的基因型差异,不同氮素生产效率类型品种表征特征差异不同,抽穗期有效分蘖数和根冠比、成熟期穗数和株高类间差异不显著;抽穗期之前氮素干物质生产效率较高的类型吸氮能力不强,但氮素利用能力较强,能形成较多的生物量,分蘖少而壮;抽穗期-成熟期氮素籽粒生产效率较高的类型具有吸氮能力和氮素再利用能力强的特点。

氮高效基因型小麦能形成较多的籽粒产量,具有较高的氮素籽粒生产效率。拔节期以后的生育时期,氮高效基因型小麦氮素的转移再利用能力较强,说明拔节期以后的生育时期提高氮素的转移再利用

能力有利于提高小麦的籽粒产量. 氮高效型小麦省 CXK027-4 和良麦 4 号在同一供氮水平下具有较强的氮吸收利用能力, 能够形成较多的籽粒产量, 适宜作为生产推广和氮高效育种材料.

4 结 论

同一供氮水平下供试小麦在生物量、氮素积累量、氮素生产效率等方面均存在基因型差异. 籽粒产量最多的品种为最少品种的 7.17 倍, 氮素籽粒生产效率最大的品种为最小品种的 2.02 倍. 拔节期、抽穗期和成熟期氮素干物质生产效率最大的品种为最小品种的 2.55 倍、2.48 倍和 1.68 倍. 说明在同一供氮水平下筛选氮高效基因型小麦是可行的.

拔节期、抽穗期及成熟期供试小麦氮素干物质生产效率和氮素籽粒生产效率存在显著的类间差异 ($F = 637.941^{**}$, $F = 201.173^{**}$, $F = 443.450^{**}$). 不同氮素生产效率类型小麦在拔节期、抽穗期及成熟期的生物量、氮素积累量、籽粒产量及分蘖数类间差异显著. 氮素生产效率高的 wheat 生物量和籽粒产量高, 无效分蘖少, 生育后期的氮素吸收和再利用能力强.

与氮低效基因型 694 相比, 氮高效基因型省 CXK027-4 和良麦 4 号在拔节期以后的生育时期有较强的氮素转移再利用能力. 在同一供氮水平下, 省 CXK027-4 和良麦 4 号具有较高的籽粒产量和氮素利用能力, 可作为氮高效育种的种质资源.

参考文献

- [1] Zhang Y (张 炎), Shi J-H (史军辉), Li P (李 磐), *et al.* Nitrogen loss accesses in the soil and its effects to environment pollution. *Xinjiang Agricultural Sciences* (新疆农业科学), 2004, **41**(1): 57-60 (in Chinese)
- [2] Peng C (彭 畅), Zhu P (朱 平), Niu H-H (牛红红), *et al.* Nitrogen and phosphorus loss of farmland agricultural non-point source pollution and its prevention. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 2010, **41**(2): 508-512 (in Chinese)
- [3] Zhang F-S (张福锁), Wang J-Q (王激清), Zhang W-F (张卫峰), *et al.* Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2008, **9**(5): 915-924 (in Chinese)
- [4] Zhang D-Y (张定一), Zhang Y-Q (张永清), Yang W-D (杨武德), *et al.* Biological response of roots in different spring wheat genotypes to low nitrogen stress. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2006, **32**(9): 1349-1354 (in Chinese)
- [5] Piao Z-Z (朴钟泽), Han L-Z (韩龙植), Gao X-Z (高熙宗). Variations of nitrogen use efficiency by rice genotype. *Chinese Journal of Rice Science* (中国水稻科学), 2003, **17**(3): 233-238 (in Chinese)
- [6] Huang N-R (黄农荣), Zhong X-H (钟旭华), Zheng H-B (郑海波). Selection of rice genotypes with high nitrogen utilization efficiency and its evaluation indices. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2006, **22**(6): 29-34 (in Chinese)
- [7] Wang Y (王 艳), Mi G-H (米国华), Chen F-J (陈范骏). Genotypic differences in nitrogen uptake by maize inbred lines its relation to root morphology. *Acta Ecologica Sinica* (生态学报), 2003, **23**(2): 297-302 (in Chinese)
- [8] Zhang Y-L (张亚丽), Fan J-B (樊剑波), Duan Y-H (段英华), *et al.* Variation of nitrogen use efficiency of rice difference in genotype and its evaluation. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2008, **45**(2): 267-272 (in Chinese)
- [9] Sun C-F (孙传范), Dai T-B (戴廷波), Jing Q (荆奇), *et al.* Nitrogen use efficiency and its relationship with nitrogen nutrition characteristics of wheat varieties. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2004, **15**(6): 983-987 (in Chinese)
- [10] Erley GS, Kaul HP, Kruse M, *et al.* Yield and nitrogen utilization efficiency of the pseudocereals amaranth, quinoa, and buckwheat under differing nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy*, 2005, **22**: 95-100
- [11] Yang G-M (杨光梅), Yang E-Q (杨恩琼), Qian X-G (钱晓刚), *et al.* Discussion on the critical period of screening genotypes with tolerant to lower nitrogen level in maize. *Guizhou Agricultural Sciences* (贵州农业科学), 2008, **36**(1): 27-30 (in Chinese)
- [12] Ye L-T (叶利庭), Song W-J (宋文静), Lü H-J (吕华军), *et al.* Accumulation and translocation of nitrogen at late-growth stage in rices different in cultivar nitrogen use efficiency. *Acta Pedologica Sinica* (土壤学报), 2010, **47**(2): 303-310 (in Chinese)
- [13] Hussain I, Khan MA, Khan EA. Bread wheat varieties as influenced by different nitrogen levels. *Journal of Zhejiang University Science B*, 2006, **7**: 70-78
- [14] Cheng J-F (程建峰), Jiang H-Y (蒋海燕), Liu Y-B (刘宜柏), *et al.* Methods for identification and screening of rice genotypes with high nitrogen efficiency. *Chinese Journal of Rice Science* (中国水稻科学), 2010,

- 24(2): 175–182 (in Chinese)
- [15] Ning T-Y (宁堂原), Jiao N-Y (焦念元), Li Z-J (李增嘉), *et al.* Effects of N application rate on N utilization, yield and quality of maize under different cropping systems. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2006, **17**(12): 2332–2336 (in Chinese)
- [16] Li Y-F (李永夫), Luo A-C (罗安程), Wang W-M (王为木), *et al.* An approach to the screening index for low phosphorous tolerant rice genotype. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2005, **16**(1): 119–124 (in Chinese)
- [17] Li W-J (李文娟), He P (何萍), Gao Q (高强), *et al.* Dry matter formation and nitrogen uptake in two maize cultivars differing in nitrogen use efficiency. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2010, **16**(1): 51–57 (in Chinese)
- [18] Lu D-L (陆大雷), Liu X-B (刘小兵), Zhao J-R (赵久然), *et al.* Genotypic differences in nitrogen uptake and utilization of sweet maize. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2008, **14**(2): 258–263 (in Chinese)
- [19] Pei X-X (裴雪霞), Wang J-A (王姣爱), Dang J-Y (党建友), *et al.* Studies on differences of nitrogen absorption and utilization in different genotypes of winter wheat. *Journal of Wheat Research* (小麦研究), 2007, **28**(2): 21–27 (in Chinese)
- [20] Dong G-C (董桂春), Wang Y-L (王余龙), Zhou J (周娟), *et al.* Difference of nitrogen accumulation and translocation in conventional Indica rice cultivars with different nitrogen use efficiency for grain output. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2009, **35**(1): 149–155 (in Chinese)
- [21] Lu D-L (陆大雷), Liu X-B (刘小兵), Zhao J-R (赵久然), *et al.* Genotypic differences in nitrogen accumulation and distribution among different sweet maize varieties. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2008, **14**(5): 852–857 (in Chinese)
- [22] Lu Y-L (卢艳丽), Lu W-P (陆卫平), Wang J-F (王继丰), *et al.* The differences of nitrogen uptake and utilization in waxy corn. I. The difference genotypes in absorption and utilization of nitrogen. *Plant Nutrition and Fertilizer Science* (植物营养与肥料学报), 2006, **12**(3): 321–326 (in Chinese)
- [23] Han S-F (韩胜芳), Li S-W (李淑文), Wu L-Q (吴立强), *et al.* Responses and corresponding physiological mechanisms of different wheat varieties in their nitrogen efficiency and nitrogen uptake to nitrogen supply. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2007, **18**(4): 807–812 (in Chinese)
- [24] Ye Y-L (叶优良), Wang G-L (王桂良), Zhu Y-J (朱云集), *et al.* Effects of nitrogen fertilization on population dynamics and yield of high-yielding wheat and on alteration of soil nitrogen. *Chinese Journal of Applied Ecology* (应用生态学报), 2010, **21**(2): 351–358 (in Chinese)
- [25] Dong G-C (董桂春), Wang Y-L (王余龙), Zhang Y-F (张岳芳), *et al.* Characteristics of yield and yield components in conventional Indica rice cultivars with different nitrogen use efficiencies for grain output. *Acta Agronomica Sinica* (作物学报), 2006, **32**(10): 1511–1518 (in Chinese)

作者简介 张锡洲,男,1969年生,副教授.主要从事植物养分资源研究,发表论文40多篇. E-mail: zhangxzhou@163.com

责任编辑 张凤丽
