

# 小黑麦氮素吸收利用的基因型差异研究<sup>①</sup>

康 欧<sup>1,2</sup>, 李廷轩<sup>1\*</sup>, 余海英<sup>1</sup>, 陈小琴<sup>2</sup>, 王火焰<sup>2</sup>, 周健民<sup>2</sup>

(1 四川农业大学资源与环境学院, 四川雅安 625014;

2 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008)

**摘要:** 以 69 个小黑麦品种为材料, 研究了同一供 N 水平下, 不同小黑麦品种在分蘖、抽穗和成熟期对 N 素吸收利用的基因型差异, 考查了单株籽粒产量、地上部 N 积累量、地上部 N 收获指数、N 运转率和 N 利用效率等指标。结果表明: ①在 3 个时期, 不同品种小黑麦对 N 素的吸收利用均存在着显著的基因型差异, 其中地上部 N 积累量和 N 利用效率与单株籽粒产量呈极显著正相关 ( $r = 0.84$ ,  $r = 0.63$ ), 是决定小黑麦经济产量的重要因子。②通过聚类分析, 在供试的 69 个小黑麦品种中, 具有较高籽粒产量、N 素吸收总量和 N 素利用效率的共 4 个品种, 分别为 Clxt75、P1428736、P1429227 和 P1466703。

**关键词:** 氮素吸收; 氮素利用效率; 基因型差异; 通径分析

**中图分类号:** S512.1+2

氮(N)肥的投入是保证作物稳产丰产的重要措施, 近年来, N 肥用量过高使得 N 肥利用率降低, 这不仅造成化肥资源浪费和经济损失, 还引起环境污染与农产品品质下降等问题<sup>[1-3]</sup>。因此, 提高 N 肥利用率成为增加粮食产量, 降低农业生产成本和保护生态环境, 促进农业可持续发展的重要途径之一。提高 N 肥利用率的常规有效手段是改进肥料品质和施用技术等<sup>[4]</sup>。近年来研究结果表明, 小麦、玉米、水稻、棉花等作物品种间在 N 素吸收和利用上均存在显著的基因型差异<sup>[5-13]</sup>。因此, 充分挖掘作物吸收利用 N 的遗传潜力, 在一定的 N 肥投入下获得较高产量, 并减少 N 在土壤中的残留, 成为提高 N 肥利用率的新型有效途径。

小黑麦(Triticale), 也称黑小麦, 是小麦(Triticum)和黑麦(Secale)属间杂交, 应用染色体工程育种技术人工培育的第 1 个异源多倍体新物种<sup>[14]</sup>。它既保持小麦的优良品质和丰产性, 又结合黑麦的抗病性和繁茂性, 同时还具备籽粒蛋白质和赖氨酸含量高于双亲的特性<sup>[15]</sup>, 在啤酒酿造、麦芽乳饮料制作等方面均有很好的应用前景<sup>[16-19]</sup>。近年来小黑麦的培育与生产在我国引起了广泛的关注, 而小黑麦生长中 N 素的吸收直接影响其产量和品质, 目前研究不同小黑麦品种的 N

素吸收利用特性的基因型差异鲜见报道。本研究选用 69 个小黑麦品种, 分析其 N 素吸收利用的基因型差异, 以筛选出 N 高效利用品种, 为小黑麦 N 素营养效率遗传改良及其机理研究等提供必要的科学依据和丰富的种质信息。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试土壤为砂质潮土, 基本理化性状为: 有机质 15.9 g/kg、全 N 0.23 g/kg、碱解 N 70.9 mg/kg、速效 P 14.9 mg/kg、速效 K 65.3 mg/kg、pH 7.24。

供试小黑麦品种 69 个, 小黑麦品种名及编号见表 1。

### 1.2 试验设计

盆栽试验于 2007 年 11 月至 2008 年 6 月在四川农业大学温室进行。盆钵为黑色塑料桶, 每个桶内盛潮土 15 kg, 养分施用量(g/kg)为: 尿素(含 N 460 g/kg) 0.15、磷酸二氢钾(含 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 522 g/kg) 0.08、硫酸钾(含 K<sub>2</sub>O 500 g/kg) 0.11, 均作为基肥一次性施入土壤。试验采用随机区组设计, 每处理 3 次重复。

2007 年 11 月上旬播种, 待苗长至 3~5 叶时, 根据出苗情况调整密度至 7 株/桶, 2008 年 6 月上旬收获, 全生育期进行病虫害防治并适时灌溉。

①基金项目: 四川省青年基金项目(06ZQ026-020)、四川省教育厅重点项目(2006A008、07ZA059)和四川省教育厅青年基金项目(2006B009、07ZB063)资助。

\* 通讯作者(litinx@263.net)

作者简介: 康欧(1985—), 女, 四川成都人, 硕士研究生, 主要从事小黑麦养分利用研究。E-mail: kango528@163.com

表 1 供试小黑麦品种名称

Table 1 69 triticale varieties tested

编号	品种名称	编号	品种名称	编号	品种名称	编号	品种名称
1	Clxt33	19	P1428836	37	P1429186	55	P1567905
2	Clxt70	20	P1428840	38	P1429187	56	P1583679
3	Clxt71	21	P1428841	39	P1429188	57	P1587233
4	Clxt72	22	P1428842	40	P1429221	58	P1587238
5	Clxt73	23	P1428899	41	P1429226	59	P1587239
6	Clxt74	24	P1428900	42	P1429227	60	P1587240
7	Clxt75	25	P1428901	43	P1429228	61	P1587241
8	Clxt76	26	P1428902	44	P1429233	62	P1587242
9	Clxt77	27	P1428950	45	P1466703	63	P1587243
10	Clxt81	28	P1428952	46	P1491409	64	P1587258
11	Clxt82	29	P1428953	47	P1508249	65	P1587384
12	P1428736	30	P1428954	48	P1511870	66	P1590946
13	P1428754	31	P1428955	49	P1527339	67	P1601077
14	P1428765	32	P1429106	50	P1527340	68	P1601078
15	P1428768	33	P1429107	51	P1542558	69	P1613354
16	P1428795	34	P1429108	52	P1547164		
17	P1428804	35	P1429109	53	P1564727		
18	P1428805	36	P1429184	54	P1564738		

### 1.3 测定项目及分析方法

分蘖期和抽穗期每桶各取样 1 株, 成熟期每桶取样 5 株, 测量穗数、穗重及千粒重, 并将样品分为籽粒和秸秆两部分, 于 105℃ 杀青, 75℃ 烘干至恒重, 称重后磨细过筛 (<2 mm)。以 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 湿灰化法消化样品, 采用 Kjeltec™2300 型自动定氮仪 (FOSS 公司) 测定样品中的 N 含量。数据用 SPSS16.0 软件进行统计分析。

根据干物质和 N 浓度计算以下参数:

地上部 N 素积累量 (nitrogen accumulation, NA) = 地上部干物质重 × N 浓度;

地上部 N 素干物质生产效率 (nitrogen dry matter production efficiency, NDMPE) = 地上部干物质重/地上部 N 素积累量;

植株 N 利用效率 (nitrogen utilization efficiency, NUE) = 籽粒产量/地上部 N 素积累量<sup>[20]</sup>;

N 素转移量 (nitrogen transportation accumulation, NTA) = 抽穗期茎叶鞘 N 素积累量 - 成熟期茎叶鞘 N 素积累量;

N 素运转率 (nitrogen transportation efficiency, NTE) = (N 素转移量/抽穗期茎叶鞘 N 素积累量) × 100;

地上部 N 收获指数 (nitrogen harvest index, NHI) = (籽粒 N 积累量/植株地上部 N 积累量) × 100%<sup>[21]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同品种小黑麦产量指标与氮营养效率基因型差异

表 2 表明, 供试 69 个小黑麦品种的各产量指标均存在极显著的基因型差异。小黑麦每株穗数、每穗重和千粒重的变幅分别为: 2.20 ~ 18.20 穗、0.73 ~ 8.01 g/穗 和 12.47 ~ 57.13 g。每株籽粒重的变幅为: 1.86 ~ 21.20 g/株, 其中 P1429227、P1466703 和 P1428736 这 3 个品种的产量较高为 19.54 ~ 21.20 g/株。所调查的 4 个产量指标的变异系数均大于 10%, 说明该种施 N 水平下可以鉴别出品种间对 N 素响应的表型差异。4 个产量指标中单株籽粒重和穗重的变异系数最大, 说明这两种性状对 N 素响应的基因型间差异较大, 穗数表现次之, 而千粒重对 N 素响应的基因型间差异表现最小。由此可见, 作为小黑麦产量直接评价指标的单株籽粒重表现的基因型间差异最大, 因此可将单株籽粒重作为小黑麦种质资源对 N 素吸收利用差异的主要评价指标之一。

表 2 小黑麦产量指标的基因型差异

Table 2 Genotypic differences of yield index of triticale varieties

项目	最大值及对应品种名		最小值及对应品种名		平均值	变异系数 (%)	F 值
穗数 (个)	18.20	P1601077	2.20	P1428836	7.59	38.18	1.68**
穗重 (g/穗)	8.01	P1466703	0.73	P1428765	4.16	46.53	2.31**
千粒重 (g)	57.13	P1428954	12.47	P1428768	38.27	17.67	27.01**
籽粒重 (g/株)	21.20	P1429227	1.86	P1428840	8.15	46.68	2.36**

注: \* 表示在  $p < 0.05$  水平显著; \*\* 表示在  $p < 0.01$  水平显著; 下同。

由表 3 可知, 不同品种小黑麦全生育期的地上部 N 素积累量 (NA) 和干物质生产效率 (NDMPE) 有显著基因型差异。随着生育期的推进, 地上部 N 素积累量逐渐增加, 分蘖期地上部 N 素积累量最高的品种是 P1428954, 在抽穗期和成熟期地上部 N 素积累量最高的品种均是 P1428736。各生育期地上部 N 素积累量的变异系数均大于 30%, 分蘖期地上部 N 素积累量变异系数略小于成熟期, 但分蘖期地上部 N 素积累量基因型间的差异达到极显著水平 ( $F = 3.96^{**}$ )。因此,

评价小黑麦品种地上部 N 素积累量的最佳时期应为分蘖期。从分蘖期到抽穗期, 小黑麦地上部 N 素干物质生产效率明显增大, 到成熟期有所下降但与抽穗期差异不大, 各生育期地上部 N 素干物质生产效率最大的品种分别是 P1567905、P1587384 和 P1428840。各生育期地上部 N 素干物质生产效率变异系数均大于 10%, 差异以成熟期最大, 分蘖期最小。因此, 小黑麦品种的地上部 N 素干物质生产效率的评价宜在成熟期进行。

表 3 小黑麦不同生育期地上部 N 素吸收量与干物质生产效率的基因型差异

Table 3 Genotypic differences of nitrogen accumulation and dry matter production efficiency at different stage

项目	生育期	最大值及对应品种名		最小值及对应品种名		平均值	变异系数 (%)	F 值
NA (g)	分蘖期	0.25	P1428954	0.05	P1428765	0.13	31.47	3.96**
	抽穗期	0.54	P1428736	0.11	P1587241	0.26	30.00	1.71**
	成熟期	0.84	P1428736	0.21	P1587242	0.42	33.31	1.61*
NDMPE (g/g)	分蘖期	40.96	P1567905	25.72	P1428901	31.68	22.83	4.35**
	抽穗期	110.67	P1587384	39.67	P1428795	68.33	11.88	2.93**
	成熟期	159.25	P1428840	42.29	P1428736	67.38	27.31	4.45**

分析表 4 可知, 不同小黑麦品种的地上部 N 收获指数 (NHI)、N 素运转率 (NTE) 和植株 N 利用效率 (NUE) 的变幅分别为 38.75% ~ 96.78% ( $CV = 16.00\%$ )、12.59% ~ 95.99% ( $CV = 35.17\%$ ) 和 7.98 ~ 33.819 g/g ( $CV = 24.03\%$ ), 各指标存在极显著的基因型差异。地上部 N 收获指数和 N 素运转率的变异系数均大于 10%, 说明小黑麦植株体内 N 素的转运、分配和再利用能力基因型差异显著。品种 P1428902

的地上部 N 收获指数和 N 素运转率值最高, 表明其成熟期能将大量 N 素转运至籽粒中, 具有较合理 N 素的转运分配能力, 因此其植株 N 素利用效率也最大。品种 P1428840 成熟期 (表 3) 虽具有较大的地上部 N 素干物质生产效率, 但由于 N 素在体内的转运与分配能力较差 (其地上部 N 素收获指数最小, 其 N 素运转率也仅为 35.99%), 其植株 N 利用效率很低。

表 4 小黑麦品种 N 素营养效率的基因型差异

Table 4 Genotypic differences of nitrogen nutrition efficiencies of triticale varieties

项目	最大值及对应品种名		最小值及对应品种名		平均值	变异系数 (%)	F 值
NHI (%)	96.78	P1428902	38.75	P1428840	74.52	16.00	4.08**
NTE (%)	95.99	P1428902	12.59	Clxt82	60.08	35.17	1.71**
NUE (g/g)	33.81	P1428902	7.98	P1428840	21.38	24.03	5.84**

### 2.2 小黑麦产量指标和氮营养效率的相互关系

分析表 5 可知，单株籽粒重与成熟期地上部 N 积累量、地上部 N 素收获指数和植株 N 利用效率呈极显著正相关，相关系数分别为：0.84\*\*、0.62\*\* 和 0.63\*\*。植株 N 利用效率与单株籽粒重、成熟期地上部 N 积累量、地上部 N 素收获指数和 N 素转运率呈极显著正相关，说明成熟期地上部 N 素吸收总量较多，植株 N 利用效率和地上部 N 素收获指数较高的小黑麦品种一般表现较高的单株籽粒产量；同时，单株籽粒产量较高、成熟期地上部 N 素吸收总

量较多、地上部 N 素收获指数和 N 素转运率较大的小黑麦品种一般具有较高的植株 N 利用效率。由表 5 知，单株籽粒重与每穗重和千粒重呈极显著正相关，植株 N 素利用效率与每穗重和千粒重呈极显著正相关，表明每穗重较大，千粒重较大的小黑麦品种一般表现为较高的单株籽粒产量和较高的植株 N 素利用效率。因此，在 N 高效小黑麦筛选中，在考虑植株地上部 N 吸收总量、植株 N 利用效率和籽粒产量等指标的同时，也可以将每穗重和千粒重作为参考指标。

表 5 小黑麦产量指标与 N 素营养效率的相关性

Table 5 Correlations between nitrogen nutrition efficiencies and production efficiency in triticale varieties

性状	籽粒重	穗数	穗重	千粒重	NA			NHI	NTE	NUE
					分蘖期	抽穗期	成熟期			
籽粒重	1.00									
穗数	-0.11	1.00								
穗重	0.61**	-0.08	1.00							
千粒重	0.33**	0.16	0.49**	1.00						
分蘖期 NA	0.26*	0.02	0.26*	0.44**	1.00					
抽穗期 NA	0.25*	0.16	0.00	0.24	0.23	1.00				
成熟期 NA	0.84**	0.07	0.38**	0.26*	0.20	0.48**	1.00			
NHI	0.62**	-0.24	0.52**	0.34**	0.28*	0.00	0.26*	1.00		
NTE	0.25*	-0.17	0.29**	0.40**	0.38**	0.25*	-0.04	0.65**	1.00	
NUE	0.63**	-0.16	0.58**	0.29**	0.25*	-0.05	0.29**	0.81**	0.60**	1.00

通径系数反映某性状对目标性状的相对作用强，通径系数越大，相对作用越强。通径分析单株籽粒产量与各生育期地上部 N 积累量、N 素转运率、地上部 N 收获指数和植株 N 利用效率的关系表明，其多元逐步回归方程为  $Y = -9.355 + 23.172 X_3 + 18.037 X_6$ ， $R^2 = 0.950$ ，直接通径系数分别为 0.75 和 0.50，说明成熟期地上部 N 积累量大 ( $X_3$ ) 和植株 N 利用效率 ( $X_6$ ) 高有利于植株单株籽粒产量的提高。因此，提高地上部 N 积累量和 N 利用效率是提高小黑麦品种单株籽粒产量的关键。

### 2.3 小黑麦基因型氮素吸收与利用效率的分类及特点

以小黑麦单株籽粒重、成熟期地上部 N 素吸收总量和 N 素利用效率为指标，标准化后按欧氏距离对 69 个参试品种进行聚类分析，分析结果将供试小黑麦品种分为 5 类（图 1），表 7 列出了 5 种类型的 N 营养效率指标统计结果。类型 II 品种的籽粒产量和 N 素利用效率较高，而地上部 N 素吸收总量较低，其平均 N

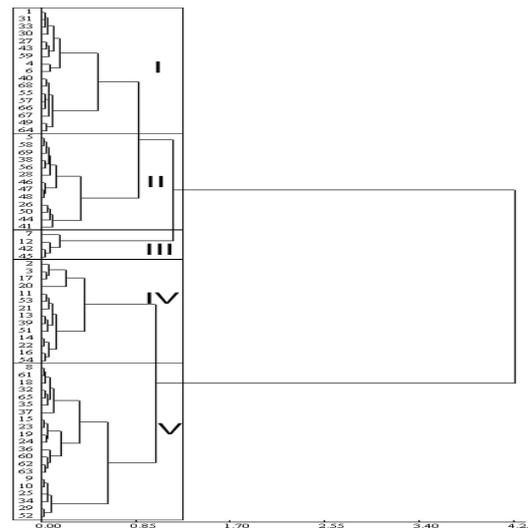


图 1 小黑麦 N 营养效率聚类分析

Fig. 1 Dendrograms of nitrogen nutrition efficiencies of 69 triticale varieties

素利用效率比其他类型分别高 18.13%、3.76%、93.67% 和 35.77%，表明类型 II 品种在吸收少量

的土壤 N 素条件下仍可维持较高的籽粒产量。类型 III 品种的籽粒产量、地上部 N 素吸收总量和 N 素利用效率均较高, 其平均产量为 19.32 g/株, 地上部 N 素积累总量为 0.68 g/株, 说明类型 III 品种在成熟期能将吸收的大量 N 素转移至籽粒中, 以维持较高的籽粒产量和 N 素利用效率。类型 IV、V 品种的籽粒产量、地上部 N 素吸收总量和 N 素利用效率均较低。

由表 7 可知, 单株籽粒重、成熟期地上部 N 素

吸收总量、N 素利用效率、N 转运率和地上部 N 收获指数在 5 类间均存在极显著差异, 类型 I、IV 和 V 的植株 N 利用效率较低, 类型 II 和类型 III 品种的单株籽粒重、N 转运率和地上部 N 收获指数均显著高于其他 3 类。而类型 II 品种的地上部 N 积累量是类型 III 的 45.58%, 单株籽粒重却达到类型 III 的 73.86%, 这主要是由于类型 II 品种的 N 转运率较高, 对植株体内 N 的利用更充分, 是潜在的低 N 水平下 N 高效利用品种。

表 7 小黑麦 N 素营养效率指标的类间差异

Table 7 Differences among clusters in nitrogen nutrition efficiencies of 69 triticale varieties

类数	品种数	籽粒重	成熟期 NA	NUE (g/g)	NTE (%)	NHI (%)
I	17	12.73 ± 0.07 c	0.42 ± 0.01 b	24.10 ± 0.09 b	63.43 ± 0.20 c	80.37 ± 0.17 b
II	13	14.27 ± 0.09 b	0.31 ± 0.01 c	28.47 ± 0.12 a	78.21 ± 0.26 a	88.68 ± 0.20 a
III	4	19.32 ± 0.30 a	0.68 ± 0.05 a	27.12 ± 0.29 a	70.69 ± 0.63 b	87.55 ± 0.51 a
IV	14	4.43 ± 0.08 d	0.19 ± 0.02 d	14.70 ± 0.10 d	54.42 ± 0.25 d	61.04 ± 0.21 d
V	21	6.75 ± 0.05 d	0.24 ± 0.01 cd	20.97 ± 0.08 c	62.55 ± 0.15 c	72.83 ± 0.12 c

### 3 讨论

本研究针对 69 个小黑麦品种的 N 营养效率和产量性状进行分析。结果表明, 不同基因型小黑麦的产量性状和 N 营养效率指标均存在极显著的差异, 这与水稻、小麦和玉米等作物研究结论一致<sup>[5-13]</sup>, 说明地上部 N 积累量和 N 利用效率的基因型差异是普遍存在的。因此, 可从现有的小黑麦种质资源中选择 N 高效基因型推广种植, 减少 N 肥施用量, 降低 N 肥施用的环境风险。

本研究表明, 小黑麦植株 N 素利用效率与单株籽粒重、N 转运率和地上部 N 收获指数呈显著正相关 ( $r = 0.60^{**}$ ,  $r = 0.81^{**}$ ), 与单株籽粒产量呈极显著正相关 ( $r = 0.63^{**}$ ), 表明提高地上部 N 收获指数, 增加 N 素在体内的转运能提高小黑麦品种的 N 肥利用效率, 而具有较高的植株 N 利用效率的品种一般表现出较大的单株籽粒产量。其中品种 P1428902 的地上部 N 收获指数和 N 素运转率值最高, 表明其成熟期能将秸秆中大量 N 素转运至籽粒, 使秸秆中仅残留少量 N 素, 因此其植株 N 素利用效率也高。前人研究结果也证明谷类作物收获指数高和秸秆 N 积累量低的品种, N 损失小, 有较高的 N 肥利用率<sup>[22]</sup>; 刘立军<sup>[23]</sup>对水稻的研究也表明提高植株 N 素运转率有利于提高 N 肥利用效率。本研究中各生育期地上部 N 积累量、N 素转运率、地上部 N 收获指数和植株 N 利用效率对单

株籽粒产量的通径分析指出, 对不同品种小黑麦单株籽粒产量的高低地上部总 N 积累量和 N 利用效率起主导作用, 这与卢艳丽等<sup>[24]</sup>对糯玉米的研究结论一致。张丽亚等<sup>[25]</sup>的研究发现对于生育期较长的水稻其产量在供 N 水平较低时是 N 生理利用效率起决定作用, 在高的供 N 水平下则是吸 N 量起决定作用。Moll 等<sup>[26]</sup>研究发现, 在低 N 水平下 N 效率的差异主要是 N 素利用效率的不同, 在高 N 水平下, N 素的吸收量则起主导作用。N 高效基因型可描述为在不同供 N 水平下均有较高的产量, 同时意味着 N 高效基因型能吸收大量的 N 或有较高的植株 N 利用效率。不同的基因型间 N 高效利用的生理机制差异较大, 因此还需要在不同地点、不同施 N 水平下深入研究, 探索不同 N 效率小黑麦基因型的生理机制, 以获得小黑麦 N 素营养效率遗传改良的实验依据。

有关植株 N 效应的划分, 不同的学者采用了不同的 N 营养指标和划分方法。王树亮等<sup>[27]</sup>采用类平均法对小麦 N 素吸收利用单一指标进行聚类, 然后对多个指标界定一个较高的阈值进行二次筛选, 仅对高效型品种进行了筛选, 没有对低效或 2 种指标不统一型进行细致的划分。卢艳丽等<sup>[28]</sup>以玉米鲜穗、鲜子粒、成熟子粒产量及其相应的 N 素吸收总量和 N 素利用效率为指标进行聚类分析, 筛选出粒产量高、N 素吸收量大、N 素高效利用的品种。本研究通过相关和通径

分析, 选用对小黑麦单株籽粒产量起主导作用的地上部总 N 积累量和 N 利用效率以及单株籽粒产量为指标, 通过聚类分析将供试 69 个小黑麦品种划分为 5 类 N 利用效率不同的类型。类型 III 品种 Clxt75、P1428736、P1429227 和 P1466703 的籽粒产量、地上部 N 素吸收总量和 N 素利用效率均较高, 因此在高施 N 量水平下, 种植类型 III 品种可获得高产并减少 N 肥流失, 降低环境风险。类型 II 品种的籽粒产量和 N 素利用效率较高, 而地上部 N 素吸收总量较低, 类型 II 品种具有在低 N 水平下高效利用 N 的潜力。

#### 参考文献:

- [1] 刘强, 宋海星, 荣湘民, 彭建伟, 谢桂先, 官春云, 陈社员. 不同品种油菜氮效率差异及其生理基础研究. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(1): 113-119
- [2] 夏天翔, 李文朝, 冯慕华. 抚仙湖流域砾质土有机及常规肥料淋溶模拟研究. 土壤, 2008, 40(4): 596-601
- [3] 巩万合, 顾培沈, 沈仁芳. 江三角洲地区竹林经营中的氮磷流失负荷概算. 土壤, 2007, 39(6): 874-878
- [4] 严小龙, 张福锁. 植物营养遗传学. 北京: 中国农业出版社, 1997: 1-17
- [5] Koutroubas SD, Ntanos DA. Genotypic differences for grain yield and nitrogen utilization in indica and japonica rice under Mediterranean conditions. Field Crops Research, 2003, 83: 251-260
- [6] 朱新开, 郭文善, 朱冬梅, 朱波风, 封超年, 彭永欣. 不同基因型小麦氮素吸收积累差异研究. 扬州大学学报, 2006, 26(3): 52-57
- [7] Gouis JL, Beghin D, Heumez E, Pluchard P. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat. European Journal of Agronomy, 2000, 12: 163-173
- [8] Sinebo W, Gretzmacher R, Edelbauer A. Genotypic variation for nitrogen use efficiency in Ethiopian bailey. Field Crops Research, 2004, 85: 43-601
- [9] 李丹丹, 田梦雨, 崔昊, 戴廷波, 姜东, 荆奇, 曹卫星. 小麦苗期耐低氮胁迫的基因型差异. 麦类作物学报, 2009, 29(2): 222-227
- [10] 孙传范, 戴廷波, 荆奇, 姜东, 曹卫星. 小麦品种氮利用效率的评价指标及其氮营养特性研究. 应用生态学报, 2004, 15(6): 983-987
- [11] 徐祥玉, 张敏敏, 翟丙年, 李生秀, 张兴昌, 王朝辉. 夏玉米氮效率基因型差异研究. 植物营养与肥料学报, 2006, 14(2): 258-263
- [12] 何文寿, 陈素生, 康健宏. 宁夏春小麦氮素利用效率的基因型差异研究. 土壤, 2003, 35(6): 500-505
- [13] Inthapanya P, Sihavong P, Sihathep V, ChanhPhengsay M, Fukai S, Basnayake J. Genotypic performance under fertilized and non-fertilized conditions in rainfed lowland rice. Field Crops Research, 2000, 65: 57-68
- [14] Zillinsky FJ. The development of triticale. Advanced Agronomy, 1974, 26: 315
- [15] Wolski T. The present state and main problems in winter Triticale breeding. Hodowla Roslin Aklimatyzacja Nasiennictwo, 1985, 24: 475-485
- [16] 刘杰璞, 王德良, 张五九. 以黑小麦为辅料酿造啤酒的初步研究. 酿酒, 2006, 33(3): 97-99
- [17] 生庆海, 骆承庠. 小黑麦的品质特性及食品中的应用. 食品工业, 1995(6): 31-32
- [18] 姚晓敏, 蒋士龙, 张佩琦. 小黑麦麦芽乳汁饮料的研制. 食品研究与开发, 1999, 20(2): 26-29
- [19] 于丽娟, 孟阳, 张国艳. 小黑麦的品质特性及在焙烤制品中的应用. 食品工业, 1996(6): 29-30
- [20] Balihar VC, Fageria NK, He ZL. Nutrient utilization efficiency of crops. Communication of Soil Science & Plant Analysis, 2001, 32: 921-950
- [21] Kanampiu FK, Raun WR, Johnson GV. Effect of nitrogen rate on plant nitrogen loss in winter wheat varieties. Journal of Plant Nutrient, 1997, 20: 389-404
- [22] 范仲学, 王璞, 梁振兴. 谷类作物的氮肥利用效率及其提高途径研究进展. 山东农业科学, 2001(4): 47-50
- [23] 刘立军. 水稻氮肥利用效率及其调控途径(博士学位论文). 江苏扬州: 扬州大学, 2005: 76-77
- [24] 卢艳丽, 陆卫平, 刘小兵, 王继丰, 刘萍, 陆大雷, 苏辉. 糯玉米氮肥利用效率的基因型差异. 作物学报, 2006, 32(7): 1031-1037
- [25] 张亚丽, 樊剑波, 段英华, 王东升, 叶利庭, 沈其荣. 不同基因型水稻氮利用效率的差异及评价. 土壤学报, 2008, 45(2): 267-273
- [26] Moll RH, Kamprath EJ, Jackson WA. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiencies of nitrogen utilization. Agronomy Journal, 1982, 74: 562-564
- [27] 王树亮, 田奇卓, 李娜娜, 谢连杰, 裴艳婷, 李慧. 不同小麦品种对氮素吸收利用的差异及其分类研究. 华北农学报, 2008, 23(增刊): 213-219
- [28] 卢艳丽, 陆卫平, 刘萍, 王继丰, 刘小兵, 陆大雷, 苏辉. 不同基因型糯玉米氮素吸收利用效率的研究. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 321-326

## Genotypic Differences and Valuation in Nitrogen Uptake and Utilization Efficiency in Triticale

KANG Ou<sup>1,2</sup>, LI Ting-xuan<sup>1</sup>, YU Hai-ying<sup>1</sup>, CHEN Xiao-qin<sup>2</sup>, WANG Huo-yan<sup>2</sup>, ZHOU Jian-min<sup>2</sup>

(1 *College of Resource and Environment Science, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China;*

2 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China)*

**Abstract:** In this study, sixty-nine triticale varieties were employed to evaluate their total nitrogen accumulation (TNA), nitrogen harvest index (NHI), nitrogen transportation efficiency (NTE) and nitrogen utilization efficiency (NUE) at tillering, heading and maturity stages under a same N addition. The correlation analysis indicated that TNA and NUE were significantly correlated with the yield per plant ( $r=0.84$ ,  $r=0.63$ ). The results of cluster analysis indicated that Clxt75, P1428736, P1429227 and P1466703 had high yield per plant, TNA and NUE.

**Key words:** Nitrogen uptake, Nitrogen utilization efficiency, Genotypic differences, Path analysis