植物营养与肥料学报 2006,12(4):495－499
Plant Nutrition and Fertilizer Science

夏玉米氮效率基因型差异研究

徐祥玉，张敏敏，翟丙年*，李生秀，张兴昌，王朝辉
（西北农林科技大学资源环境学院，陕西杨凌 712100）

摘要：利用田间小区试验，通过测定作物产量、收获指数、氮效率和氮响应度等指标，研究了陕西关中农业生产中常用的10个夏玉米杂交种的氮效率基因型差异。结果表明，无论施氮与否，10个夏玉米品种的子粒产量和生物学产量均表现出显著的基因型差异；其收获指数、氮效率和氮响应度，也存在显著的基因型差异。根据氮效率和氮响应度可将10个不同基因型分为四种类型：H-H型包括户单4号、陕资1号、掖单19；L-L型包括中单2号、豫玉22；H-L型包括陕单16、陕单902和户单2000；L-H型包括陕单9号和农大108。综合考虑氮效率类型和响应度，选择有代表性的基因型（户单4号、豫玉22和户单2000）测定氮累积量，计算氮利用效率和氮收获指数，结果表明，氮累积量不能反映氮效率类型，氮利用效率对氮效率的贡献与施氮水平有关；不论施氮与否，氮收获指数均能较好地反映氮效率类型。

关键词：夏玉米；氮效率；基因型差异
中图分类号：S512.105　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1008-505X(2006)04-0495-06

Genotypic variation in nitrogen use efficiency in summer maize

XU Xiang-yu, ZHANG Min-min, ZHAI Bing-nian,* LI Sheng-xiu, ZHANG Xing-chang, WANG Zhao-hui
(*College of Resour. and Environ. Sci., Northwest Agric. and For. Univ., Yangling, Shaanxi 712100, China*)

Abstract: A field experiment was conducted to study the genotypic variation in nitrogen use efficiency in summer maize by quantify analyzing grain yield and biological yield, harvest index, nitrogen efficiency and responsiveness to nitrogen fertilizer. The results showed that there are significant genotypic variation in grain yield and biological yield among different summer maize varieties whatever nitrogen application rate. So did the harvest index, nitrogen efficiency and nitrogen responsiveness. The tested maize varieties could be classified into four different types based on their nitrogen efficiency and nitrogen responsiveness. Hudan 4, Shanzi 1 and Yedan 19 belonged to H-H type (high N use efficiency with high N responsiveness); Zhongdan 2, Yuyu 22 belonged to L-L type (low N use efficiency with low N responsiveness); Shandan16, Shandan 902 and Hudan 2000 belonged to H-L type (high N use efficiency with low N responsiveness), and Shandan 9 and Nongda108 belonged to L-H type (low N use efficiency and high N responsiveness). Comprehensive considering nitrogen efficiency and responsiveness, three representative genotypes (Hudan4, Yuyu 22 and Hudan 2000) were selected to determine their nitrogen accumulation, and compute their nitrogen utilization efficiency and nitrogen index. The results showed that the nitrogen accumulation couldn't reflect the nitrogen use efficiency in summer maize accurately. The contribution to nitrogen use efficiency was given by nitrogen utilization efficiency rely on nitrogen rate, and the nitrogen index can well reflected the nitrogen use efficiency whatever nitrogen application rate.

Key words: summer maize; nitrogen use efficiency; genotype difference

20世纪80年代以来，我国的化肥施用量大约以每年150万吨（纯养分）的速度增加，至1998年已达4085万吨，占世界肥料消耗量的41.4%。其中化学氮肥的用量为2200多万吨，全国约有14个省份

收稿日期：2005-09-23　　**修改稿收到日期**：2006-03-15
基金项目：国家自然科学基金重点项目(30230230)；国家自然科学基金重大项目(49890330)；国家自然科学基金农业倾斜项目(30070429)；国家重点基础研究专项经费(G1999011707)；学校人才专项基金资助。
作者简介：徐祥玉(1979—)，男，甘肃天水人，硕士研究生，主要从事植物营养生理生态研究。　　* 通讯作者

的单位面积平均施氮量超过了国际上公认的上限225 kg/hm²。然而氮肥的利用率平均只有35%左右,有些城郊蔬菜区和高产区则更低,仅为10%～20%,氮肥损失率在45%以上。这意味着我国每年约有1000万吨左右的氮素通过不同的途径损失,造成了资源的严重浪费,同时对生态环境构成了严重威胁[1]。

玉米是我国种植面积最大的粮食作物之一,但由于不合理施用,使肥料的利用率很低,平均只有30%～35%,而世界平均水平是50%[1-4]。因此,如何通过各种措施提高玉米的氮肥利用效率是当前农业上面临的重大课题。研究表明,作物基因型在吸收利用氮素方面存在极大的差异[5-7],通过挖掘玉米本身遗传潜力,筛选或培育氮高效利用玉米杂交种是提高氮肥利用效率、增加粮食产量的一条有效途径[8-10]。

本试验选取陕西关中地区有代表性的10个夏玉米品种,试图通过对其氮肥效率的比较,筛选出氮高效基因型,以便为进一步提高玉米氮素利用效率及培育新型氮高效玉米杂交种提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤类型为红油土,质地为粉砂粘壤土,容重1.32 g/cm³。其基本理化性状 pH 8.18,有机质15.85 g/kg,全氮0.66 g/kg,碱解氮76.65 mg/kg,速效磷13.24 mg/kg,速效钾189.91 mg/kg。

供试夏玉米品种有10个,分别为陕单16、陕单9号、户单4号、陕资1号、掖单19、中单2号、豫玉22、陕单902、农大108、户单2000,依次编为1～10号。由西北农林科技大学玉米研究所提供。

1.2 试验设计

试验于2004年6月～10月在西北农林科技大学农作一站试验田进行。主要考虑玉米品种和氮肥两个因素,采用裂区设计,氮肥为主处理,玉米品种为副处理,分别设施氮(240 kg/hm²)和不施氮(0 kg/hm²)两个水平,播种时施用2/3,灌浆期追施1/3。磷肥选用过磷酸钙(P_2O_5 含量以14%计),施用量按112 kg/hm² 计,作为肥底于播前均匀施入,共有处理20个,重复4次。

田间采取随机区组排列,副区面积12 m²,株、行距分别为33 cm、50 cm,密度为7万株/hm²。6月24日播种,10月9日收获。苗期补灌一次,全生育期降雨量为325.7 mm。田间管理同一般大田。

1.3 测定项目及方法

成熟期分区采样,样品分部位于105℃杀青,75℃烘干,测定不同器官干物质生物量和子粒产量。依照 Moll 的理论计算氮效率,即 NUE = Gw/Ns(氮效率 = 子粒产量/土壤的总供氮量);氮响应度为高氮水平下玉米产量和低氮水平下玉米产量之差除以施氮量(以纯氮计算)。数据用 EXCEL 和 SAS 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同夏玉米品种产量的基因型差异

收获后分小区测定玉米子粒产量,表1结果表明,不论是施氮还是不施氮处理,不同玉米基因型之间均存在显著差异。在不施氮肥处理的情况下,10个玉米品种的产量差异十分明显,产量变化在2458.07 kg/hm² ～6696.46 kg/hm²,其中户单2000的产量最高,掖单19、陕单902、陕资1号和户单4号的产量也比较高,和其他品种相比达到5%的显著水平;中单2号产量最低。在施氮处理下,户单4号的产量最高,达到10527 kg/hm²,和其余的品种达到5%的显著水平,农大108、陕资1号、掖单19、陕单2号、豫玉22以及陕单902产量次之,几个品种之间差异不显著。

施氮比不施氮增产显著。这10个品种在施氮情况下产量都显著提高,平均增产幅度是74.4%。在不施氮的情况下,户单2000产量最高,但在施氮情况下,户单4号产量最高。中单2号在不施氮和施氮情况下产量都是最低的,在不施氮情况下产量只有平均产量的45%,在施氮情况下子粒产量大幅度地上升,达到平均产量的88.65%,说明这个品种对氮肥反应敏感。

对不同基因型玉米的生物学产量进行方差分析表明(表1),无论施氮与否,不同品种的玉米生物量有很大的差异,处理之间达到5%的显著水平。施氮同不施氮相比,10个玉米品种平均增幅34.62%,中单2号的增幅最大,达到42.99%,进一步说明了中单2号对施用氮肥的敏感程度。陕单16、户单4号、中单2号、农大108等品种的增幅都高于平均增幅,其余增幅相对较低。表1还看出,不同基因型玉米的收获指数差异很大,而且大多数品种在施氮的情况下收获指数大于不施氮处理,但陕单16和户单2000的收获指数下降,说明这两个品种在施氮的情况下其生物量增加的速度超过子粒增产速度。中单2号的收获指数大幅度地增加,而中单2号的子粒

表1　不同施氮量下玉米产量的基因型差异

Table 1　Genotypic differences of maize yield under different nitrogen rates

品种 Varieties	子粒产量(kg/hm²) Grain yield		生物学产量(kg/hm²) Biological yield		收获指数 Harvest index	
	施氮 N	不施氮 No N	施氮 N	不施氮 No N	施氮 N	不施氮 No N
SD16	8129.72±506.4 cd	5524.1±712.4 bc	20573.7±865.2 b	12722.9±756.9 cd	0.40	0.43
SD9	8990.57±717.1 bcd	5383.3±1284.2 bc	17982.3±734.6 d	12000.7±552.5 d	0.50	0.45
HD4	10527.30±443.5 a	5895.7±699.7 abc	19120.8±733.4 c	11897.8±986.7 d	0.55	0.50
SZ1	9080.00±693.5 bc	5917.5±303.3 abc	17810.1±489.1 d	13987.2±170.5 ab	0.51	0.42
YD19	9012.70±607.0 bcd	6230.5±675.4 ab	19975.2±305.0 bc	13345.3±965.5 abc	0.45	0.47
ZD2	7947.26±981.8 d	2458.1±288.9 d	17353.9±802.7 d	9893.4±753.9 e	0.46	0.25
YY22	8851.07±112.1 bcd	5333.2±336.9 bc	21661.9±845.7 a	14441.8±639.3 a	0.41	0.37
SD902	8850.03±1289.0 bcd	5957.4±826.5 abc	20092.4±885.6 bc	13080.7±1250.0 bcd	0.44	0.46
ND108	9916.31±1202.4 ab	5188.5±748.3 c	19956.2±767.1 bc	12456.7±1340.9 cd	0.50	0.42
HD2000	8341.61±526.6 cd	6696.5±684.1 a	19405.2±724.1 c	12883.3±1120.0 bcd	0.43	0.52

注(Note):SD16—陕单16 Shandan16;SD9—陕单9号 Shandan 9;HD4—户单4号 Hudan 4;SZ1—陕资1号 Shanzi 1;YD19—掖单19 Yedan 19;ZD2—中单2号 Zhongdan 2;YY22—豫玉22 Yuyu 22;SD902—陕单902 Shandan 902;ND108—农大108 Nongda 108;HD2000—户单2000 Hudan 2000;下同 Same as follows.

施氮条件下 N application $F_G=11.91, F_B=6.98$;不施氮条件下 No N application $F_G=4.37$, $F_B=16.78$, $F_{0.05}=2.25(9,27)$;G—子粒产量 Grain yield;B—生物学产量 Biological yield. 收获指数=子粒产量/地上部生物量 Harvest Index= grain yield/ biological yield.

产量却不高,说明中单2号在不施氮情况下子粒产量极低,施氮后子粒产量增加很快。其余品种的收获指数都有所增加,说明施氮能够使干物质更多地分配到子粒中,调节了源库关系。

2.2　不同基因型玉米氮效率差异

养分效率包括农学养分效率和养分响应度两个方面[11]。农学养分效率指在某一特定养分供应量下,植物产量或生物量的高低,表示为单位面积产量,本文以施氮和不施氮处理的子粒产量来表示。某一品种的子粒产量低于10个供试基因型平均子粒产量就是氮低效(以L表示),反之就是氮高效(以H表示)。养分响应度指随着养分浓度提高或下降,植物产量增加潜力或减少幅度的大小,用(正常供氮下的产量-不施氮的产量)/施氮量的比值来表示,也称氮肥农学效率。某一品种的这一比值大于10个品种的平均值为高响型,反之为低响型。据此,可将供试10个不同玉米基因型划分成4个不同的氮农学养分效率类型(表2):1)H-H型,此类基因型在不施氮时产量较高,施氮后产量增加也显著,包括户单4号、陕资1号、掖单19;2)L-L型,此类基因型在不施氮时产量较低,施氮后也无明显增加,包括中单2号、豫玉22;3)H-L型,此类基因型在不施氮时产量较高,施氮后产量变化不大,包括陕单16、陕单902和户单2000;4)L-H型,此类基因型在不施氮时产量较低,施氮后产量显著增加,包括陕单9号和农大108。响应度可划分为高响型和低响型2个类型(表2)。

综合考虑氮效率类型和响应度,选择有代表性的基因型(户单4号、豫玉22和户单2000)测定氮累积量,以子粒产量和氮累积量的比值表示氮利用效率,子粒氮累积量与地上部氮累积量的比值表示氮收获指数。由表3可知,不施氮条件不同基因型间氮累积量差异显著,户单2000最高,户单4号最低,而这两者为高氮效率类型;施氮时3个不同基因型之间的氮累积量没有差异,而氮效率却有差异,这说明氮累积量不能反映氮效率类型。不施氮时氮利用效率能较好的反映氮效率,施氮时不能反映;不论施氮与否,氮收获指数和氮效率有明显正相关,说明氮收获指数能够比较好地反映氮效率。

3　讨论

植物品种间的氮素营养差异的研究始于上世纪30年代。到目前为止,在小麦、玉米、水稻、高粱、蚕豆、马铃薯、棉花、牧草、黑麦草、燕麦、大豆等作物上均有这方面的报道[5-7,12]。我们起步比较晚,大多数集中在小麦和玉米上[13-18]。

本研究结果表明,不同基因型玉米在产量性状上表现出很大的差异,不施氮时产量变异系数达到19.97%,供氮情况下变异系数达8.2%。不论施氮与否,地上生物量的变化幅度很大,不施氮时变异系

表2 不同基因型玉米的氮效率类型和氮响应度类型

Table 2 N responsiveness and N efficiency of maize genotypes

基因型 Genotype	低氮氮效率 N efficiency at low N (kg/hm²)	高氮氮效率 N efficiency at high N (kg/hm²)	氮效率类型 Type of N efficiency	响应度 N response (kg/kg)	响应度类型 Type of N response
SD16	5524.097	8129.720	H-L	23.602	低响 Low
SD9	5383.356	8990.567	L-H	32.674	高响 High
HD4	5895.708	10527.260	H-H	41.952	高响 High
SZ1	5917.492	9079.998	H-H	28.646	低响 Low
YD19	6230.498	9012.642	H-H	25.201	低响 Low
ZD2	2458.073	7947.258	L-L	49.721	高响 High
YY22	5333.196	8851.073	L-L	31.865	高响 High
SD902	5957.409	8850.033	H-L	26.201	高响 High
ND108	5188.474	9916.305	L-H	42.825	高响 High
HD2000	6696.463	8341.613	H-L	14.902	低响 Low
平均 Mean	5458.4766	8964.6469		31.759	

表3 不同基因型玉米的氮累积量和氮收获指数

Table 3 N accumulation and N index of maize genotypes

基因型 Genotypes	氮累积量 N accumulation (kg /hm²)	氮效率类型 Type of N efficiency	氮利用效率 Nitrogen use efficiency (kg/kg)	氮收获指数 N index
		不施氮 No N addition		
HD4	136.34 ± 19.02 b	H	57.95	0.68
YY22	150.17 ± 9.00 ab	L	46.71	0.57
HD2000	163.48 ± 18.06 a	H	57.26	0.68
		施氮 N addition		
HD4	286.75 ± 20.83 a	H	67.13	0.72
YY22	281.86 ± 10.08 a	L	67.35	0.59
HD2000	273.52 ± 25.81 a	L	68.71	0.55

数是9.8%，施氮后变异系数是5.3%；说明在施氮和不施氮的情况下，各基因型的产量和生物量都有显著差异。从收获指数可以看出，在施氮后除陕单16和户单2000之外，其余的基因型都有所上升，中单2号的收获指数上升最大，但是从生物量和子粒产量来说，它都不是最高的，说明这个品种对氮肥很敏感。但是不耐贫瘠，而且在240 kg/hm² 的施氮量下算不上高产，继续增加氮肥用量会不会提高产量，还需要进一步试验。

户单2000的收获指数下降，说明施氮后干物质在子粒中累积的速度没有总体干物质累积的速度快。在不施氮的情况下，户单2000的子粒产量最高，施氮后子粒产量不是最高，氮响应度明显偏低，说明在这几个品种中它对氮肥不敏感；但耐贫瘠，在贫瘠的土壤上可以获得高产。这也说明耐贫瘠的品种在高氮水平下不一定获得高产。陕单9号和农大108在不施氮的情况下产量较低，施氮后产量上升很快，氮响应度都较高，说明在高氮获得高产的品种不一定是耐贫瘠的；而农大108的氮响应度明显的地于陕单9号，陕单9号比农大108更耐贫瘠。所以单从响应度或者氮效率来区别不同品种之间的差异显然是不充分的。不论施氮与否，户单4号的产量都高，收获指数高，施氮后响应度也高，说明这个品种在低氮时能够获得比较好的产量，在施氮后产量大幅地上升，在贫瘠的土壤和高氮水平下都得到比较理想的产量。豫玉22在低氮水平下的产量不高，在高氮水平下的产量也不是很高，但是施氮后它的生物量是最大的，说明这个品种对氮肥比较敏感，但干物质的转移不够理想。

在供试的10个玉米品种中，陕单16、陕单902

和户单2000耐贫瘠但是对氮不敏感，在贫瘠的土壤上可获得高产。陕单9号和农大108不耐贫瘠但是对氮敏感，只能在高氮情况下获得高产。刘建安[9]等人研究表明，农大108在低氮和高氮条件下都能获得最高产量，是双高效(H-H)品种，这种差异可能是由于不同生态环境和气候条件造成的。户单4号、陕资1号和掖单19是既耐贫瘠又能在高氮下获得高产的品种，其中户单4号又是最优的，中单2号和豫玉22虽然都是氮高响型，但是不管是施氮还是不施氮，都不能获得高产。

前人的研究表明，氮利用效率对氮效率的贡献随物种、基因型、环境条件和氮水平的变化而变化[9,19-21]，本试验结果进一步证明了这一结论。

单纯从氮农学养分效率和响应度类型来看，氮农学养分效率高的不一定是响应度高的，如4号品种(陕资1号)；同样氮农学养分效率低的不一定是响应度低的。刘建安等人认为，现代作物育种一般是在土壤养分充足的条件下进行的，因而所育出的高产玉米品种通常认为是高氮水平下的氮高效品种，如果减少施氮量，这些氮高效品种表现如何还不清楚，所以为了获得耐低氮的玉米品种，在低氮条件下进行选择是必要的[9]。

参考文献：

[1] 郭战玲，沈阿林.小麦氮营养效率的种间差异与机理研究进展[J].河南农业科学，2004(2)：15-20.
Guo Z L, Shen A L. Research advances of difference in species and mechanism of nitrogen nutrition efficiency in wheat[J]. Henan Agricultural Science., 2004(2): 15-20.

[2] 巨晓棠，张福锁.关于氮肥利用率的思考[J].生态环境，2003，12(2)：192-197.
Ju X T, Zhang F S. Thinking about nitrogen recovery rate[J]. Ecology and Environment, 2003, 12(2): 192-197.

[3] 杨新泉，冯峰，宋长青，冷疏影.主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用研究[J].植物营养与肥料学报，2003，9(3)：373-376.
Yang X Q, Feng F, Sun C Q, Leng S Y. Fate and efficient use of nitrogen fertilizer in main agroecosystems[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2003, 9(3): 373-376.

[4] 向春阳，凌碧莹，关义新，马新林.玉米氮营养基因型差异与生产的关系[J].黑龙江八一农垦大学学报，2002，14(2)：1-4.
Xiang C Y, Ling B Y, Guan Y X, Ma X L. Genotype difference in nitrogen nutrition of maize and maize production[J]. J. of Heilongjiang August First Land Reclamation University, 2002, 14(2): 1-4.

[5] 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 Research, 1998, 58: 35-53.

[6] Gouis J L, Béghin D, Heumez E, Pluchard P. Genetic differences for nitrogen uptake and nitrogen utilization efficiencies in winter wheat[J]. European J. of Agronomy, 2000, 12: 163-173.

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

[8] 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. of Agric. Biotech., 1997, 7(3): 248-254.

[9] 刘建安，米国华，陈范骏，等.玉米杂交种氮效率基因型差异[J].植物营养与肥料学报，2002，8(3)：276-281.
Liu J A, Mi G H, Chen F J *et al*. Genotype differences on nitrogen use efficiency among maize hybrids[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2002, 8(3): 276-28.1

[10] 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, Mi G H. Root growth, nitrogen uptake and yield formation of hybrid maize with different N efficiency [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(5): 615-619.

[11] 上官周平，李世清.旱地作物氮素营养生理生态[M].北京：科学出版社，2004.
Shangguan Z P, Li S Q. Nitrogen nutrition physio-ecology of dry land crop[M]. Beijing: Science Press, 2004.

[12] 张福锁.植物营养生理生态学和遗传学[M].北京：中国科学技术出版社，1993.
Zhang F S. Plant nutrition physio-ecology and genetics[M]. Beijing: China Science and Technology Press, 1993.

[13] 王进军，黄瑞冬. 玉米氮效率及其研究进展[J].玉米科学，2005，13(1)：29-92.
Wang J J, Huang R D. Nitrogen use efficiency and its research advances in maize[J]. J. of Maize Sci., 2005, 13(1): 29-92.

[14] 黄高宝，张恩和，胡觉恒.不同玉米品种氮素营养效率差异的生态生理机制[J].植物营养与肥料学报，2001，7(3)：293-297.
Huang G B, Zhang E H, Hu J H. Eco-physiological mechanism on nitrogen use efficiency difference of corn varieties[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science. 2001, 7(3): 293-297.

[15] 张瑞珍，张恩和，孙长占.不同基因型玉米品种氮素营养效率差异的研究[J].吉林农业大学学报，2003，25(2)：183-186.
Zhang R Z, Zhang E H, Sun C Z. Study different genotype maize variety on diversity of nitrogen nutrition efficiency[J]. J. of Jilin Agric. Univ., 2003, 25(2): 183-186.

[16] 陈新平，周金池，王兴仁，张福锁.冬小麦、夏玉米不同品种(系)之间的氮营养效率差异[J].中国农业大学学报，2000，5(1)：80-83.
Chen X P, Zhou J C, Wang X R, Zhang F S. Difference in nitrogen efficiency among different winter wheat and summer corn varieties [J]. J. of China Agric. Univ., 2000, 5(1): 80-83.

[下转第522页]

[上接第 499 页]

[17] 张福锁,米国华,刘建安.玉米氮效率遗传改良及其应用[J].农业生物技术学报,1997,5(2):112-117.
Zhang F S, Mi G H, Liu J A. Advances in the genetic improvement of nitrogen efficiency in maize[J]. J. of Agric. Biotech., 1997, 5(2): 112-117.

[18] 汤利,张福锁,米国华.小麦氮效率基因型差异评价[A].李生秀.土壤—植物营养研究文集[C].西安:陕西科学技术出版社,1999.413-418.
Tang L, Zhang F S, Mi G H. The evaluation of nitrogen use efficiency in wheat genotypes[A]. Li S X. Soil and plant nutrition study album[C]. Xi'an: Shaanxi Sci-Tec Press. 1999. 413-418.

[19] Dhugga K S, Waines J G. Analysis of nitrogen accumulation and use in bread durum wheat[J]. Crop Science, 1989, 29: 1232-1239.

[20] Ortiz-Monasterio R J I, Sayre K D, Rajaram S, McMahon M. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen rates[J]. Crop Science, 1997, 37: 898-904.

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