

玉米氮素利用效率的研究进展

吴 迅^{1,2}, 黄玉碧², 郑祖平¹, 何 川¹, 李 钟¹, 杨克相², 任兴江¹, 史 抒³

(1. 南充农业科学研究所, 四川 南充 637000; 2. 四川农业大学 玉米研究所, 四川 雅安 625014; 3. 西昌农业科学研究所, 四川 西昌 615000)

摘要:根据目前国内外氮素利用效率研究的现状,从氮素利用效率的含义、玉米氮素吸收和利用特性、提高玉米氮素利用效率的可行性、提高玉米氮素利用效率分子遗传学研究方面阐述了玉米氮素利用效率的研究进展,并对提高玉米氮素利用效率的发展进行了展望。

关键词:玉米;氮素利用效率;产量;环境污染

中图分类号:S513.06

文献标识码:A

文章编号:1002-2767(2010)07-0159-03

氮素是植物生长发育所必需的大量营养元素之一,同时也是植物细胞原生质的重要组成成分,是组成氨基酸、蛋白质的必需化学元素,是核酸、叶绿素及多种酶、维生素、植物激素的组成成分^[1]。氮素营养的好坏不仅直接影响植物的氮代谢等生理过程,而且通过影响根、茎、叶、穗、粒等器官的建成与功能,最终影响其产量和品质^[2]。然而,现代农业生产中,伴随着玉米产量的逐年增加,氮肥施用量成倍增长^[3]。由于氮肥的过量使用,对大气、水体等生态系统的污染日趋严重^[4]。

为更好地保护生存环境,减少因农业氮肥过量施用所造成的环境污染,欧盟特制定了(Nitrates directive 91/676/EEC)限制农业氮肥污染,扩大淡水保护面积,增加有机农业的栽培面积等措施^[5],改善作物栽培模式,施用氮肥的类型,以及改善作物的氮利用效率。因此,提高玉米氮素利用效率,选育高氮利用率的品种,将是发展高效、可持续农业的关键途径。因此,针对玉米氮素利用效率研究的一些新进展加以探讨,以期对玉米合理施肥和氮效率育种提供依据。

1 氮素利用效率的含义

不同的学者对氮素利用率的定义不同,Moll等^[6]将氮素利用效率(NUE)定义为单位氮肥所获得的产量(包括土壤中的氮和增施的氮),这里的氮肥利用率包括吸收效率(NupE)和同化效

率(NutE)。NupE是指氮以硝酸盐或铵盐的形式从土壤进入植物细胞内的能力,即氮的效率;而同化率(NutE)则是在酶的作用下,植物将硝酸盐或铵盐转化为氨基酸从而形成蛋白质,最终转化为作物产量的能力。

Raun等^[7]将氮素利用率定义为(NUE),
$$NUE = (N_{\text{植物}} - N_{\text{土壤}}) / (N_{\text{氮肥}})$$
这里并没有考虑作物的产量。因此,对于不同的应用目标,可以采用不同的氮素利用率来衡量作物的氮素利用能力。产量是玉米的主要性状,但随着经济的发展,人们生活水平的不断提高,环境污染日趋加剧,以玉米植株为原料所发展的生物能源、青贮玉米等的发展逐渐受到人们的关注。充分掌握氮素利用效率的不同含义有助于特种玉米育种中不同育种目标与氮素利用效率的有机结合。

2 玉米氮素吸收和利用特性

氮素是调控玉米叶片光合能力的最有效因子之一,适量施用氮肥可增加叶片含氮量,提高叶片的光合速率,延缓叶片光合功能的衰老进程。许多研究表明,玉米氮素利用大致可分为两个时期——营养生长期和生殖生长期。研究表明,玉米籽粒中45%~65%的氮来自抽丝前植物体的贮藏氮,35%~55%为抽丝后的吸收氮^[8]。营养生长期,根和叶作为主要的氮吸收和同化器官,吸收的氮经过硝酸盐同化代谢途径合成氨基酸,然后进一步形成负责细胞形态建成和光合作用的酶以及蛋白质,贮藏于植株体。抽丝后,根、茎、叶开始作为氮源,通过蛋白质的水解释放出氨基酸,然后转运到玉米籽粒^[9]。

然而,Masclaux等^[10]认为不能将植物氮吸收和利用过程简单地分为两个阶段,Lattanzi

收稿日期:2010-04-03

第一作者简介:吴迅(1983-),男,贵州省金沙县人,在读博士,助理研究员,从事作物遗传育种研究。E-mail:wuxun-nyong@126.com。

通讯作者:郑祖平(1966-),男,四川省南充市人,博士,研究员,从事作物遗传育种研究。E-mail:zzp0817@163.com。

等^[11]研究表明,在营养生长期,细胞中同样存在蛋白质水解形成新的蛋白质转运过程,说明了氮吸收和同化的复杂性。

大田生产条件下,玉米氮肥施用方式简单,主要以一次性施基肥($100\sim 240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)和播种期的底肥和 5~6 叶期追肥的分次施用^[12]。这些粗放的施肥模式,不但浪费肥料,造成环境污染,而且不能满足玉米生长所需的氮肥量。Chapman 等^[13]认为,利用叶绿素仪,测定营养生长期和抽丝后一段时间玉米叶绿素含量,是衡量玉米氮素平衡状况,用以指导施肥的方便可靠的方法。

3 提高玉米氮素利用效率的可行性

过去的研究表明,玉米产量的提高主要依靠品种改良和肥料施用量的增加。面对日益增加的人口和不断减少的耕地面积,如何在低成本条件下提高玉米产量,满足日益增长的粮食和饲料生产需求,将是一个严峻的问题。

Bertin 等^[14]研究了欧洲不同基因型玉米产量和氮肥利用效率的相关性,结果表明,不同基因型玉米氮素利用效率不同。Wang 等^[15]在低氮条件下对不同基因型作物进行选择试验,结果表明,在热带和温带不同作物中,玉米的遗传多样性比其它作物高。Presterl 等^[4]则认为,低氮条件下,虽然玉米的产量大幅度降低,但对于选择耐低氮基因型品种是可行的。Gallais 等^[8]试验表明,当玉米表现出很好的低氮适应性时,产量减少不超过 $35\%\sim 40\%$ 的个体可以作为玉米育种的选育指标。

因此,利用玉米的遗传多样性和低氮条件下的直接选择,对提高氮素利用效率是可行的。但是如何获得低氮条件下的理想产量以及低氮条件下所选品种在高氮条件下的稳定表现等均是玉米氮效率育种所面临的一个挑战。对于氮素利用的遗传机理需要深入研究,需要从形态学、生理学以及分子生物学等角度去研究玉米遗传多样性以及对氮肥适应性的相关关系。

4 提高玉米氮素利用率的分子遗传学研究

玉米育种在很大程度上还处在常规育种阶段,对玉米遗传多样性以及不同氮肥条件适应性的遗传机理认识非常有限。随着科学技术的不断发展和研究手段的改善,在提高玉米氮素利用效率的研究方面也取得了显著进步。

Hirel^[16]等利用¹⁵N 标记方法研究了植物在

不同氮素条件下的分子生物学特征, Martin 等^[17]研究了缺氮条件下,灌浆前后,不同自交系或品种氮素吸收和利用的不同特征,结果表明,不同基因型玉米在不同的生长时期,不同氮素条件下,氮素利用效率差异显著。Moll 等^[6]研究表明,高氮条件下,氮素利用效率的差异主要体现为氮吸收效率;低氮条件下,则表现为氮的同化效率。Bertin 等^[18]研究发现,低氮条件下所检测的与产量、氮素利用效率相关的 QTLs 和高氮条件下所检测到的 QTLs 相一致,而 Agrama 等^[19]在低氮条件下检测到更多 QTLs 位点。这些研究表明,低氮条件下,玉米氮素利用效率的不同主要表现在氮的同化效率方面,而高氮条件则相反。

虽然许多研究结果均有助于玉米氮素利用遗传基础的阐明,随着研究的深入,对与氮素利用相关的基因或基因族的研究越来越多。Hirel 等^[9]利用数量遗传学的方法研究了谷氨酸合成酶和玉米产量的相关性,结果表明,玉米产量和谷氨酸合成酶呈显著正相关,同时谷氨酸合成酶催化氮原子的生成。Coque 等^[20]认为在谷氨酸合成酶的作用下,氮原子可以通过吸收、同化和转运而沉积到玉米籽粒器官中。

5 展望

玉米作为重要的粮食和饲料作物,在未来的发展中,为满足日益增加的人口对粮食和饲料的需求,提高玉米产量依然是育种目标之首,环境污染的严重性以及人们对高效农业的不断追求,提高玉米生产效益,减少肥料过多所带来的污染将是可持续农业发展的一个长远目标。

提高玉米氮素利用效率,利用玉米遗传多样性,选育耐低氮玉米新品种将是解决人口增加所带来的粮食生产问题和过量氮肥施用所带来的环境污染问题的一个根本途径。

然而,仅仅依靠传统常规育种方法,选育适应不同氮素条件下的玉米新品种将不能适应社会发展的需要。进一步阐明玉米氮素利用的遗传机理,明确氮素利用效率和玉米产量、品质等主要性状的遗传关系,利用分子辅助和转基因等育种手段与常规育种相结合的方法,将大大提高玉米育种效率。

过去对于氮素利用遗传基础的研究主要局限在少数基因上,对于解释氮素利用效率这样的数量性状存在很大的局限性。玉米氮素吸收、同化以及玉米自身基因的调控是一个复杂的网络途

径,涉及众多基因的相互作用以及基因和环境
的互作。如何全面的研究氮素利用效率和作物代谢
的相互关系,阐明氮素吸收和利用的遗传机理,将
是一个复杂的课题,需要新的研究手段加入,也许
随着功能基因组研究的开展,基因芯片技术的诞
生,将为这个问题提供解决途径。

参考文献:

- [1] 刘明钟,张洪源,周兴根,等.施肥对小麦籽粒营养品质和产量的影响[J].江苏农业学报,1987,3(3):31-37.
- [2] 胡霭堂.植物营养学[M].2版.北京:中国农业大学出版社,2003;52-53.
- [3] Food and Agricultural Organization of the United Nations. FAO Statistical Databases [EB/OL]. <http://apps.fao.org/>,2000.
- [4] Presterl T, Thiemt E M, Seitz G, et al. Improving Nitrogen-Use Efficiency in European Maize Estimation of Quantitative Genetic Parameters [J]. Crop Science, 2003, 43: 1259-1265.
- [5] Organic Centre Wales. Statistics about Organic Farming[EB/OL]. <http://www.organic.aber.ac.uk/stats.shtml>. 2001.
- [6] Moll R H, Kamprath E J, Jackson W A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization [J]. Agronomy Journal, 1982, 74: 562-564.
- [7] Raun W R, Solie J B, Johnson G V, et al. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application [J]. Agron. J., 2002, 94(4): 815-820.
- [8] Gallais A, Coque M. Genetic variation and selection for nitrogen use efficiency in maize; a synthesis [J]. Maydica, 2005, 50: 531-537.
- [9] Hirel B, Lea P J. Ammonium assimilation[M]//Lea P J, Morot-Gaudry J F. Plant nitrogen. Berlin: Springer-Verlag, 2001: 79-99.
- [10] Masclaux C, Valadier M H, Brugiere N, et al. Characterization of the sink/source transition in tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) shoots in relation to nitrogen management and

leaf senescence[J]. Planta, 2000, 211: 510-518.

- [11] Lattanzi F A, Schnyder H, Thornton B. The sources of carbon and nitrogen supplying leaf growth. Assessment of the role of stores with compartmental models [J]. Plant Physiology, 2005, 137: 383-395.
- [12] Plenet D, Lemaire G. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration [J]. Plant and Soil, 2000, 216: 65-82.
- [13] Chapman S, Baretto H. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth [J]. Agronomy Journal, 1997, 89: 557-562.
- [14] Bertin P, Gallais A. Genetic variation for nitrogen use efficiency in a set of recombinant maize inbred lines I Agrophysiological results [J]. Maydica, 2000, 45: 53-66.
- [15] Wang R L, Stec A, Hey J, et al. The limits of selection during maize domestication [J]. Nature, 1999, 398: 236-239.
- [16] Hirel B, Andrieu B, Valadier M H, et al. Physiology of maize. II. Identification of physiological markers representative of the nitrogen status of maize (*Zea mays* L.) leaves, during grain filling [J]. Physiologia Plantarum, 2005, 124: 178-188.
- [17] Martin A, Belastegui-Macadam X, Quillere' I, et al. Nitrogen management and senescence in two maize hybrids differing in the persistence of leaf greenness. Agronomic, physiological and molecular aspects [J]. New Phytologist, 2005, 167: 483-492.
- [18] Bertin P, Gallais A. Physiological and genetic basis of nitrogen use efficiency in maize. II. QTL detection and coincidences [J]. Maydica, 2001, 46: 53-68.
- [19] Agrama H A S, Zacharia A G, Said F B, et al. Identification of quantitative trait loci for nitrogen use efficiency in maize [J]. Molecular Breeding, 1999, 5: 187-195.
- [20] Coque M, Bertin P, Hirel B, et al. Genetic variation and QTLs for ^{15}N natural abundance in a set of maize recombinant inbred lines [J]. Field Crops Research, 2006, 97: 310-321.

Research Development of Nitrogen Use Efficiency in Maize

WU Xun^{1,2}, HUANG Yu-bi², ZHENG Zu-ping¹, HE Chuan¹,
LI Zhong¹, YANG Ke-xiang², REN Xing-jiang¹, SHI Shu³

(1. Nanchong Institute of Agricultural Sciences, Nanchong, Sichuan 637000; 2. Maize Research Institute of Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014; 3. Xichang Institute of Agricultural Sciences, Xichang, Sichuan 615000)

Abstract: According to the current situation of the nitrogen use efficiency in domestic and international the research works on nitrogen(N)utilization in maize was summarized from the definition of nitrogen use efficiency, maize nitrogen utilization uptake and utilization trait, feasibility of improving nitrogen use efficiency in maize, molecule genetic analyzing of improving nitrogen use efficiency in maize and prospect of nitrogen use efficiency in future was elaborated.

Key words: maize; nitrogen use efficiency; yield; environmental pollution