doi：10.11838/sfsc.1673-6257.19236

东北地区春玉米氮肥利用效率变异机制研究

包启平，韩晓日，殷　源，崔志刚，张　慧，刘小虎

（沈阳农业大学土地与环境学院，辽宁　沈阳　110866）

摘　要：分析东北地区春玉米肥料农学效率和偏生产力的变异，研究其变异机制，对提高东北玉米氮肥利用效率提供重要理论依据。以 2010 年以来东北地区开展的测土配方施肥项目“3414”的 921 个田间试验的方法，研究氮肥偏生产力（PFP_N）和氮肥农学利用效率（AE_N）的变异机制。AE_N 随着施氮量和 Y_0/Y_G 的增加而减小，随着增产量（DY）的增加而增加，随着 $F_N/(1-Y_0/Y_G)$ 的增加而明显减小；PFP_N 随着 Y_0 的增加而增加，随着施肥量的增加而减小，在同一施肥量的情况下随着 Y_0 的增加而逐渐增大，随着 Y_0/F_N 的增加而显著增加，其中 Y_0 代表不施肥的基础产量，Y_G 代表施肥后的目标产量，F_N 代表施氮量。研究发现，F_N 和 Y_0/Y_G 是氮肥农学利用效率的两条变异途径，土壤氮素供应强度是影响 AE_N 的主要因素；Y_0 和 F_N 是氮肥偏生产力的两条变异途径，肥料氮素供给是影响 PFP_N 的主要因素。

关键词：春玉米；基础产量；施氮量；农学氮肥利用效率（AE_N）；氮肥偏生产力（PFP_N）

玉米是我国种植面积最大的粮食作物，在东北的种植面积约占我国玉米种植总面积的 30%[1-2]，具备食用、饲用、工业和能源原料等多种用途。据联合国人口预测，到 2050 年，全世界人口数量将由 72 亿增长到 90 亿，全球粮食生产将迎来一场前所未有的挑战[3]，这预计要求全球主要农作物产量在 2050 增长至 70%[4-5]。然而，农民过分追求粮食高产，导致盲目过量施肥已经成为了一种习惯[6]，如果农民的意识仍然停留在“肥料越多产量就越高”的错误观点上，将会给生物圈带来巨大的威胁[7]。人们的不合理施用氮肥导致了我国氮肥利用率偏低，造成肥料资源浪费和严重的环境污染等系列问题，所以研究氮肥农学利用率和偏生产力的变异机制对于提高氮肥利用效率具有重要的意义。世界农业发展的实践证明，施用化肥是最快、最有效、最重要的增产措施[8]。研究表明，肥料对粮食作物单产的贡献可达 40% ~ 50%[9]，而我国化肥生产对粮食的贡献率只有 40.8%[10]。大量研究表明，氮素不仅是一个生命元素，也是一个限制因子，其活性组分含量和有效性与土壤肥力和生产力息息相关[11]，氮肥对于玉米产量的贡献率可达 30% ~ 50% 左右，施用氮肥全球多养活了 48% 的现有人口[12]。国内外评价氮肥利用效率的指标有很多，我国目前比较通用的是氮肥利用率（Aparent recovery efficiency of applied N，RE_N），主要是因为过去我国化肥资源短缺和土壤肥力普遍较低，肥料的增产效应很显著，RE_N 能够很好地反映作物对氮肥的吸收状况[13]，除肥料利用率之外，国际上还常用以下 3 个参数来表征农田氮肥的利用效率[14-16]，氮肥偏生产力（Partial factor productivity from applied N，PFP_N）、氮肥农学效率（Agronomic efficiency of applied N，AE_N）和氮肥生理利用率（Physiological efficiency of applied N，PE_N）。目前中国土壤和环境养分供应量增大，化肥增产效益下降的情况下，偏生产力是现阶段评价氮肥利用效率的适宜指标[17]，而且由于它不需要空白区产量和养分吸收量的测定，简单明了，易于农民掌握，所以国际农学界也常用 PFP_N[18]。AE_N 则是评价肥料增产效应较为准确的指标。本文将从肥料偏生产力和肥料利用效率两个指标来分析影响东北地区玉米氮肥利用效率的主要限制因子，为提高我国氮肥利用效率做出贡献。随着我国施氮量的逐渐增加，氮肥利用效率低是目前农业生产面临的主要问题，本文构建了 $F_N/(1-Y_0/Y_G)$ 和 Y_0/F_N 两个新的变量来解释氮

收稿日期：2019-05-31；**录用日期：**2019-06-22

基金项目：肥料养分推荐方法与限量标准（2016YFD0200105）；东北平原玉米水稻高效施肥（2015BAD23B05-02）。

作者简介：包启平（1994-），男，陕西安康人，硕士研究生，研究方向为植物营养。E-mail：bao18302443586@163.com。

通讯作者：刘小虎，E-mail：liuxiaohu-mail@163.com。

肥农学利用效率（AE_N）和氮肥偏生产力（PFP_N）的变异机制，国内外关于氮肥农学利用效率和偏生产力的研究有很多，但是大多数都是对它们的一些简单的统计分析，而对它们变异机制的研究却鲜有报道。研究氮肥农学利用效率和偏生产力的变异机制，找出其主要影响因素，为提高我国东北玉米氮肥利用效率做出贡献。

1　材料与方法

1.1　试验点概况

东三省即黑龙江、吉林和辽宁，位于北纬38°43′～53°33′，东经118°53′～135°05′，地处中高纬度及欧亚大陆东端。属于寒温带、中温带，湿润半湿润气候，热量资源是全国热量资源最少的地区，夏季平均气温为20～25℃，无霜期为140～170 d，降水量自西北向东南方向为150～880 mm，光照资源丰富。区域面积为79.18万 km^2，其中耕地面积2.64万 km^2，约占全国耕地总面积的16.5%。在地貌上，以东北大平原北半部的松嫩平原为核心，地面起伏平缓，土层深厚，利于大型农业机械作业，为农业发展提供了良好的条件，是中国主要耕作基地，是世界三大黑土带之一，土壤农业生产能力较高。

1.2　数据来源

本文的数据来源于2010年以来的921个田间试验，基本覆盖辽宁、吉林和黑龙江。采用多年多点分散试验，肥力涵盖高、中、低3个等级。设计方案如表1所示。

表1　玉米“3414”试验方案

处理号	处理	氮肥水平（N）	磷肥水平（P_2O_5）	钾肥水平（K_2O）
1	$N_0P_0K_0$	0	0	0
2	$N_0P_2K_2$	0	2	2
3	$N_1P_2K_2$	1	2	2
4	$N_2P_0K_2$	2	0	2
5	$N_2P_1K_2$	2	1	2
6	$N_2P_2K_2$	2	2	2
7	$N_2P_3K_2$	2	3	2
8	$N_2P_2K_0$	2	2	0
9	$N_2P_2K_1$	2	2	1
10	$N_2P_2K_3$	2	2	3
11	$N_3P_2K_2$	3	2	2
12	$N_1P_1K_2$	1	1	2
13	$N_1P_2K_1$	1	2	1
14	$N_2P_1K_1$	2	1	1

1.3　试验设计

在每个试验点都进行“3414”田间试验，每个试验采取完全随机区组试验设计，每个处理3次重复。小区面积为30 m^2，共计14个处理。玉米试验的“2”水平肥料设计量：N 210～270 kg·hm^{-2}；P_2O_5 60～90 kg·hm^{-2}；K_2O 90～120 kg·hm^{-2}。氮肥选用尿素（N 46%），磷肥选择过磷酸钙（P_2O_5 16%），钾肥选用硫酸钾（K_2O 50%）。肥料的施用方法是将1/3的氮肥作为底肥，2/3的氮肥用做追肥，磷肥和钾肥作为基肥一次性施入。9月下旬进行收获和计产；同时采集植株样本，测定氮、磷、钾养分含量。

1.4　数据统计

本试验使用Excel 2016软件对数据进行整理计算，将产量数据存在异常或缺失的试验进行剔除，利用SPSS 19.0统计软件对数据进行统计分析，用Origin 9.0进行图形的绘制。

1.5　计算方法

增产量（DY）= $Y_G - Y_0$，式中，Y_G 指目标产量，Y_0 指基础产量。

氮肥农学效率（AE_N）：表征单位施氮量所增加的作物籽粒产量，即 $AE_N = (Y_G - Y_0)/F_N$。式中，F_N 指施氮量。

氮肥偏生产力（PFP_N）：表征单位投入的肥料氮所能生产的作物籽粒产量，即 $PFP_N = Y_G/F_N$。

2　结果与分析

2.1　氮肥农学效率（AE_N）的变异

由相关数据分析和图1可以得出，随着推荐施肥量的逐渐增大，AE_N 总体上呈现一个下降的趋势，决定系数为0.203，表明了施肥对氮肥农学利用效率 AE_N 的影响（图1a）；Y_0/Y_G 是土壤肥力水平的评价指标，AE_N 随着 Y_0/Y_G 的增大而总体呈现下降的趋势，决定系数为0.459，表明了土壤氮素供应强度对氮肥农学利用效率的影响（图1b），土壤供应强度越大，表示土壤肥力水平越高，其对肥料的稀释作用越强，肥料农学利用率就越小。AE_N 随着增产量的增加而逐渐增大，决定系数为0.596，表明 AE_N 在很大程度上受作物增产量的影响，作物增产量越大，表明肥料对于作物的增产效果越明显，从而肥料的农学利用效率越大（图1c）；单从前几个变量都不能很好地解释氮肥农学利用效率的变异机制，所以定义一个新的变量 $F_N/(1-Y_0/Y_G)$，表示肥料氮供应量与土壤氮素供应强度之间的关系

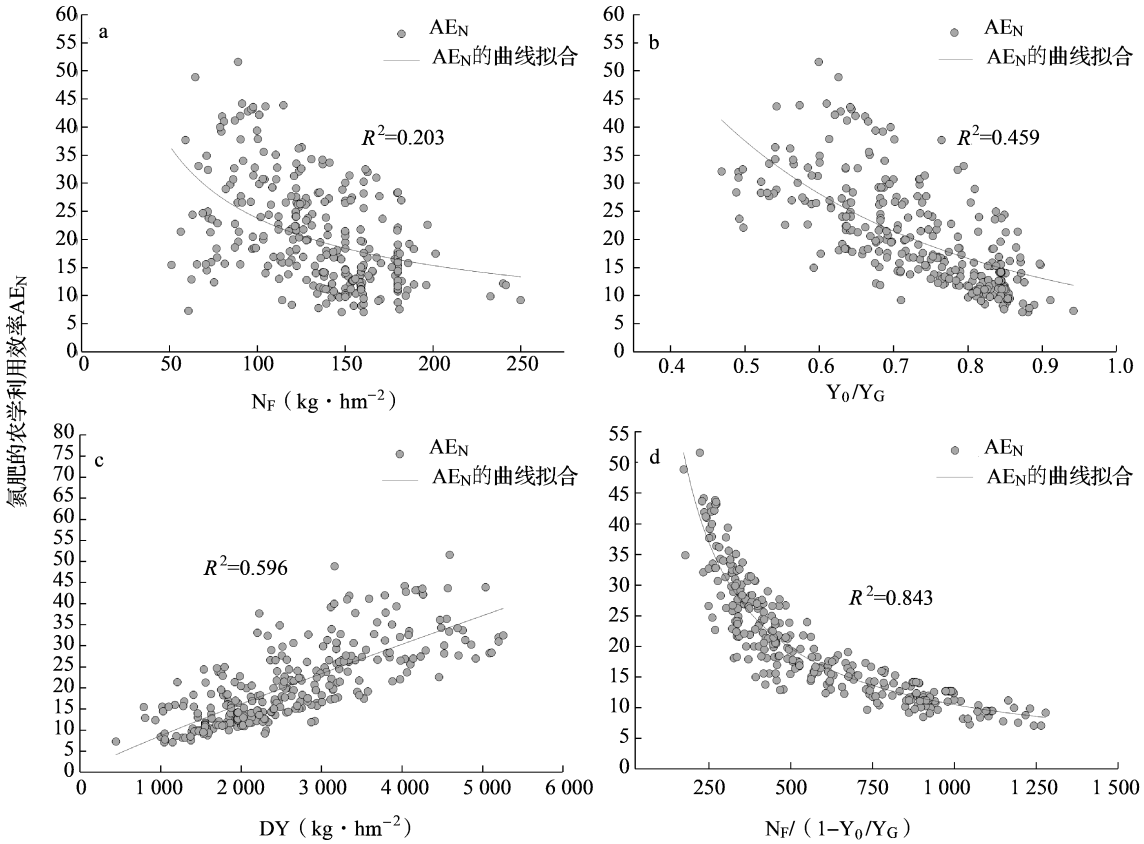

图 1　氮肥的农学利用效率分析

注：a、b、c、d 分别表示推荐施肥量 N_F、Y_0/Y_G、DY、$N_F/(1-Y_0/Y_G)$ 与 AE_N 之间的关系拟合图。均采用 POWER 函数的 pow2p2 进行曲线拟合。

（图 1d），其中 N_F 表示肥料供给，Y_0/Y_G 表示土壤氮素供应强度，土壤氮素供应强度越大，$F_N/(1-Y_0/Y_G)$ 就越大，氮肥农学利用效率就越小，决定系数为 0.843，能够很好地解释氮肥供应与土壤氮素供应强度对肥料农学利用效率的影响。

2.2　氮肥农学利用效率变异机制模型的建立

通过偏相关性分析，结果表明，当控制变量 F_N 时，Y_0/Y_G 与氮肥农学利用效率呈极显著负线性相关，相关系数为 −0.854；控制变量 Y_0/Y_G 时，F_N 与氮肥农学利用效率呈极显著负线性相关，相关系数为 −0.765。这一结果表明，两者在 AE_N 变异方面既相互独立，又相辅相成。所以可以用二元线性模型来表达 AE_N 的变异：

$$Y=89.123-67.091X_1-0.144X_2 \quad R^2=0.892^{**}$$

式中，X_1-Y_0/Y_G，X_2-F_N（kg·hm^{-2}），$Y-AE_N$（kg·kg^{-1}）。

此模型表明，F_N 和 Y_0/Y_G 是氮肥农学利用效率的两条变异途径，前者表示氮肥供应量，后者表示土壤氮素供应强度。X_1 的标准回归化系数为 −0.743，X_2 的标准回归化系数为 −0.539，说明土壤氮素供应强度是影响 AE_N 的主要因素。

2.3　氮肥偏生产力（PFP_N）的变异

氮肥偏生产力反映了作物吸收肥料氮和土壤氮后所产生的边际效应，它不需要空白区产量和养分吸收量的测定，简单明了，易于农民掌握。也是现阶段我国评价氮肥效应的适宜指标。

根据相关数据分析和图 2，研究表明，随着 Y_0 的增加，PFP_N 总体上呈上升趋势，Y_0 平均每增加一个单位 PFP_N 就增加 0.002 kg·kg^{-1}，决定系数为 0.123，Y_0 越大，代表作物养分需求越大，PFP_N 就越大（图 2a）；随着施肥量的逐渐增大，PFP_N 越小，决定系数为 0.704，表明随着施肥量的逐渐增加，氮肥的增产效应越来越小，PFP_N 就越来越小（图 2b）。PFP_N 在施肥量不变时随着作物基础产量 Y_0 的逐渐增加而增大，在目标产量不变的情况下随着施肥量的增加而逐渐减小（图 2c）。为了更全面地解释氮肥的偏生产力变异机制，笔者定义一个新的变量 Y_0/F_N，表示作物养分需求和施肥水平对

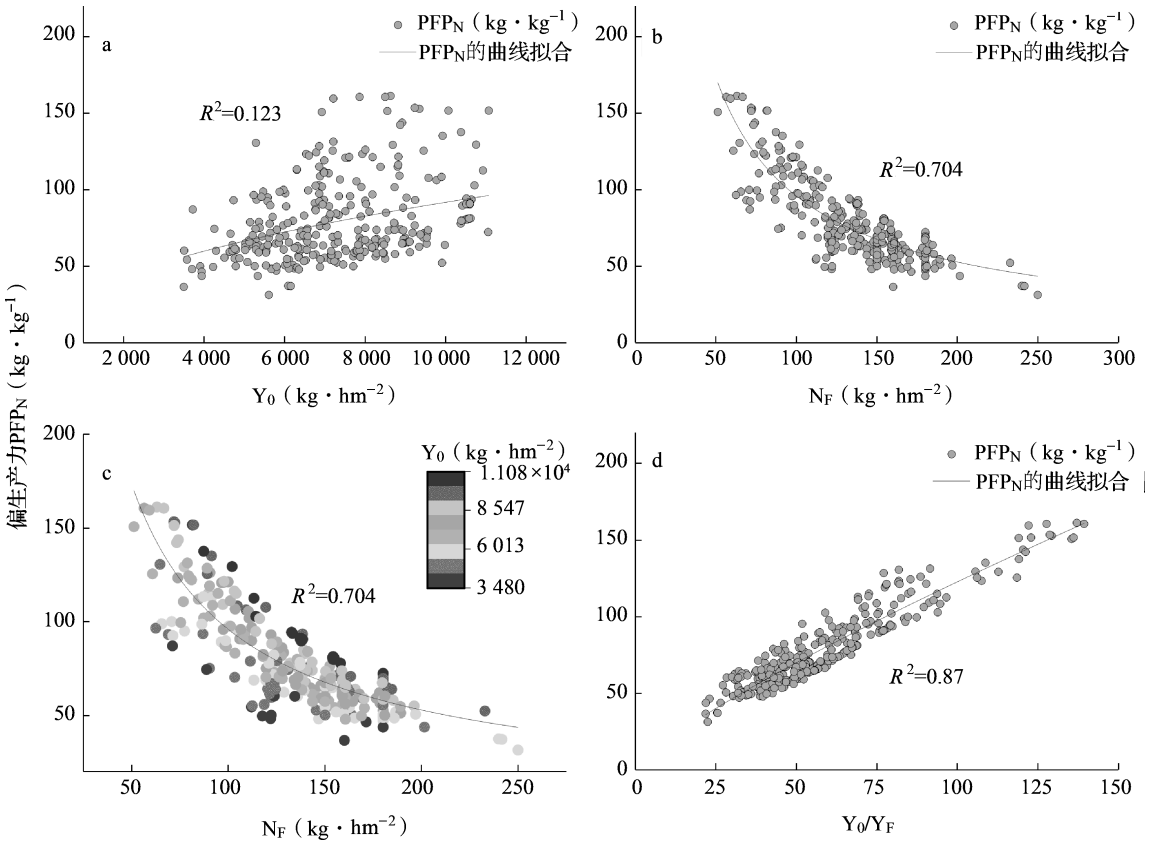

图 2　氮肥的偏生产力（PFP_N）分析

注：a、b、c、d 分别表示 Y_0、N_F、N_F 和 Y_0、Y_0/N_F 与 PFP_N 之间的关系图。均采用 POWER 函数的 pow2p2 进行曲线拟合。

氮肥偏生产力的影响，其中 Y_0 表示作物自身养分需求量，F_N 表示肥料供应量，研究发现 PFP_N 随着 Y_0/F_N 的逐渐增大而增大，每增加一个单位就增加 0.974 kg・kg^{-1}，R^2=0.87，当 Y_0 越大时，表明作物的养分需求越大，PFP_N 越大，而当 F_N 越大时，作物的增产效应就会越低，PFP_N 就会越小（图 2d）。所以同时从养分需求和施肥两个因素对 PFP_N 变异机制的解释程度要比单方面的解释好很多，所以在实际粮食生产中，应该尽量少施氮肥和加强管理来提高 PFP_N。

2.4　偏生产力的变异机制模型的建立

通过偏相关性分析，结果表明，当控制变量 F_N 时，Y_0 与氮肥偏生产力呈极显著线性相关，相关系数为 0.665**；控制变量 Y_0 时，F_N 与氮肥农学利用效率呈极显著负线性相关，相关系数为 −0.899**。这一结果表明，两者在 PFP_N 变异方面既相互独立，又相辅相成。所以可以用二元线性模型来表达 PFP_N 的变异：

$$Y=118.408+0.006X_1-0.625X_2 \quad R^2=0.912^{**}$$

式中，X_1–Y_0（kg・hm^{-2}），X_2–F_N（kg・hm^{-2}），Y–PFP_N（kg・kg^{-1}）。此模型表明，Y_0 和 F_N 是氮肥偏生产力的两条变异途径。前者表示作物自身养分需求，后者表示氮肥供应量。X_1 的标准回归化系数为 0.417，X_2 的标准回归化系数为 −0.847，说明肥料氮素供给是影响 PFP_N 的主要因素，科学合理地施用化肥是提高东北春玉米氮肥偏生产力的当务之急。

3　讨论

3.1　施肥对 AE_N 和 PFP_N 的影响

科学合理的施用氮肥能够显著提高作物产量和氮肥利用效率，张福锁等[13]认为合理地减少施氮量时，玉米的氮肥利用效率可以达到 40%，而施肥量达到 240 kg・hm^{-2} 时，利用率大幅度下降到 14%，孙占祥等[19]研究表明，玉米施氮量高于 200 kg・hm^{-2} 时，玉米并不会增产。徐新朋等[20]研究表明，东北春玉米基于产量反应和农学利用效率的推荐施肥方法的农学利用效率和偏生产力比农民习惯施肥平均分别增加了 5.8 和 16.8 kg・kg^{-1}。

蒋静静等[21]研究表明，减小施肥量能够大幅度地增大 PFP_N，侯云鹏等[22]研究也表明，在农民习惯施肥的基础上减施 25.8% ~ 33.4% 的氮肥，氮肥利用效率提高 13.7 ~ 19.6 个百分点，Chen 等[23]在对 5 个省调查时发现，玉米的平均施氮量高达 257 kg·hm^{-2}，而偏生产力却只有 26 kg·kg^{-1}。本研究发现，随着推荐施肥量的逐渐增大，AE_N 和 PFP_N 呈现下降的趋势，表明随着施肥量的逐渐增加，氮肥的增产效应越来越小，AE_N 和 PFP_N 就越来越小。于飞等[17]研究也表明，玉米的氮肥利用效率随施肥量的增加呈下降趋势。所以在保证粮食高产的情况下，适量减少氮肥的施用可以提高氮肥的农学利用效率和偏生产力。

3.2　作物养分需求对 PFP_N 的影响

氮肥偏生产力表示的是每千克氮肥所能产生的作物籽粒千克数，反映了作物吸收肥料氮和土壤氮后所产生的边际效应，Cassman 等[24]研究认为只有当作物需求远大于土壤原有供应时，才能实现高施肥量与高氮肥利用效率。林国林等[25]则认为肥料利用率主要取决于作物的吸收能力和土壤、肥料供应养分的能力。本研究表明，随着 Y_0 的增加，PFP_N 总体上呈上升趋势，Y_0 平均每增加一个单位 PFP_N 就增加 0.002 kg·kg^{-1}，Y_0 越大，代表作物养分需求越大，PFP_N 就越大。提高田间管理水平和选择优良的品种可以提高作物的养分需求，所以在东北春玉米粮食生产中可以通过提高作物田间管理水平和选择优良的玉米品种来提高作物的偏生产力。

3.3　土壤氮肥供应强度对 AE_N 的影响

肥料利用效率受多种因素的影响，王伟妮等[26]研究表明：土壤基础地力与环境因素影响施肥肥效的发挥，应该在农业生产中加强地力的培肥，王寅等[27]研究表明提高土壤基础地力可以减少对外源肥料的依赖。Ladha[28]认为土壤供氮对肥料供氮的影响可以解释为土壤氮对肥料氮的稀释效应，高肥力土壤的供氮量高，对肥料的稀释作用较强，在施肥量和作物养分需求不变的条件下，氮肥利用率随土壤供氮量的升高而降低。本文构建新的变量 $N_F/(1-Y_0/Y_G)$，其中 N_F 表示肥料供给，Y_0/Y_G 表示土壤氮素供应强度。研究氮肥的农学利用效率（AE_N）的变异机制，研究发现，随着 $N_F/(1-Y_0/Y_G)$ 的增加 AE_N 逐渐减小，土壤氮素供应强度越大，$N_F/(1-Y_0/Y_G)$ 就越大，氮肥农学利用效率就越小。所以要根据不同土壤肥力水平，合理地选用不同的施氮量，保证东北地区春玉米的高产高效生产。

4　结论

研究结果表明，F_N 和 Y_0/Y_G 是氮肥农学利用效率的两条变异途径，其中土壤氮素供应强度是影响 AE_N 的主要因素，所以根据作物的养分需求和科学合理的施用氮肥能够显著提高作物的氮肥农学利用效率（AE_N）；Y_0 和 F_N 是氮肥偏生产力的两条变异途径，其中氮肥供给量是影响 PFP_N 的主要因素，所以科学合理施肥和有效的作物田间管理模式，能够显著提高作物的氮肥偏生产力（PFP_N）。

参考文献：

[1]　张以秀. 我国玉米种植分布与气候关系研究［J］. 乡村科技，2016，1（2）：22-23.

[2]　张宝文. 加快推进我国玉米生产机械化［J］. 农机质量与监督，2007，（5）：4-7.

[3]　Fedoroff N V，Cohen J E. Plants and population：Is there time?［J］. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America，1999，96（11）：5903-5907.

[4]　Alexandratos N. World food and agriculture：Outlook for the medium and longer term［J］. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America，1999，96（11）：5908-5914.

[5]　Cassman K G. Ecological intensification of cereal production systems：Yield potential，soil quality，and precision agriculture［J］. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America，1999，96（11）：5952-5959.

[6]　Wang G，Zhang Q C，Witt C，et al. Opportunities for yield increases and environmental benefits through site-specific nutrient management in rice systems of Zhejiang province，China［J］. Agricultural Systems，2007，94（3）：801-806.

[7]　Nosengo N. Fertilized to death［J］. Nature，2003，425：894-895.

[8]　闫湘，金继运，何萍，等. 提高肥料利用率技术研究进展［J］. 中国农业科学，2008，41（2）：450-459.

[9]　金继运，李家康，李书田. 化肥与粮食安全［J］. 植物营养与肥料学报，2006，12（5）：601-609.

[10]　石元亮，王玲莉，刘世彬，等. 中国化学肥料发展及其对农业的作用［J］. 土壤学报，2008，45（5）：852-864.

[11]　Knicker H. Soil organic N - An under-rated player for C sequestration in soils?［J］. Soil Biology & Biochemistry，2011，43（6）：1118-1129.

[12]　Erisman J W，Sutton M A，Galloway J，et al. How a century of ammonia synthesis changed the world［J］. Nature Geoscience，2008，1（10）：636-639.

[13]　张福锁，王激清，张卫峰，等. 中国主要粮食作物肥料利用

率现状与提高途径［J］. 土壤学报，2008，45（5）：915-924.

［14］ Novoa R，Loomis R S. Nitrogen and plant production［J］. Plant and Soil，1981，58：177-204.

［15］ Cassman K G，Peng S，Olk D C，et al. Opportunities for increased nitrogen use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems［J］. Field Crops Research，1998，56：7-38.

［16］ Fageria N K，Baligar V C. Methodology for evaluation of low land rice genotypes for nitrogen use efficiency［J］. Journal of Plant Nutrition，2003，26：1315-1333.

［17］ 于飞，施卫明. 近10年中国大陆主要粮食作物氮肥利用率分析［J］. 土壤学报，2015，52（6）：1311-1324.

［18］ Cassman K G，Dobermann A，Walters D T. Agroecosystems，nitrogen-use efficiency，and nitrogen management［J］. Ambio，2002，31：132-140.

［19］ 孙占祥，邹晓锦，张鑫，等. 施氮量对玉米产量和氮素利用效率及土壤硝态氮累积的影响［J］. 玉米科学，2011，19（5）：119-123.

［20］ 徐新朋，魏丹，李玉影，等. 基于产量反应和农学效率的推荐施肥方法在东北春玉米上应用的可行性研究［J］. 植物营养与肥料学报，2016，22（6）：1458-1467.

［21］ 蒋静静，屈锋，苏春杰，等. 不同肥水耦合对黄瓜产量品质及肥料偏生产力的影响［J］. 中国农业科学，2019，52(1)：86-97.

［22］ 侯云鹏，孔丽丽，尹彩侠，等. 养分专家系统推荐施肥对吉林省玉米产量、养分吸收和利用的影响［J］. 吉林农业大学学报，2013，35（5）：563-567.

［23］ Chen X P，Cui Z L，Vitousek P M，et al. Integrated soil-crop system management for food security［J］. Proceedings of the National Academy of Sciences，2011，108（16）：6399-6404.

［24］ Cassman K G，Doberman A R，Walters D T. Agroecosystems，nitrogen-use efficiency，and nitrogen management［J］. Agronomy & Horticulture -- Faculty Publications. 2002.356.

［25］ 林国林，云鹏，陈磊，等. 小麦季磷肥施用对后作玉米的效果及土壤中无机磷形态转化的影响［J］. 土壤通报，2011，42（3）：676-680.

［26］ 王伟妮，鲁剑巍，陈防，等. 湖北省水稻施肥效果及肥料利用效率现状研究［J］. 植物营养与肥料学报，2010，16(2)：289-295.

［27］ 王寅，冯国忠，焉莉，等. 吉林省玉米施肥效果与肥料利用效率现状研究［J］. 植物营养与肥料学报，2016，22（6）：1441-1448.

［28］ Ladha J K，Pathak H，Timothy J K，et al. Efficiency of fertilizer nitrogen in cereal production：Retrospects and prospects［J］. Advances in Agronomy，2005，87：85-156.

Study on variation mechanism of nitrogen use efficiency of spring maize in Northeast China

BAO Qi-ping，HAN Xiao-ri，YIN Yuan，CUI Zhi-gang，ZHANG Hui，LIU Xiao-hu（College of Land and Environmental Science，Shenyang Agricultural University，Shenyang Liaoning 110866）

Abstract： The variation of fertilizer agronomic efficiency and partial productivity of spring maize in Northeast China was analyzed，and its variation mechanism was studied，which provided important theoretical basis for improving nitrogen use efficiency of spring maize in Northeast China. The variation mechanism of partial productivity of nitrogen fertilizer（PFP_N）and agronomic efficiency of nitrogen fertilizer（AE_N）was studied by 921 field experiments of "3414" in Northeast China since 2010. AE_N decreased with the increase of nitrogen application and Y_0/Y_G（Y_0 and Y_G are bisic yield and target yield，respectively），increased with the increase of DY（Y_G-Y_0），and decreased with the increase of $F_N/(1-Y_0/Y_G)$；PFP_N increased with the increase of Y_0，decreased with the increase of fertilizer application，increased with the increase of Y_0，and increased significantly with the increase of Y_0/F_N. It was found that F_N and Y_0/Y_G were two variation pathways of nitrogen fertilizer agronomic use efficiency. Soil nitrogen supply intensity was the main factor affecting AE_N，Y_0 and F_N were two variation pathways of partial productivity of nitrogen fertilizer，and fertilizer nitrogen supply was the main factor affecting PFP_N.

Key words： spring maize；basic yield；nitrogen application rate；agronomic efficiency of nitrogen fertilizer（AE_N）；partial productivity of nitrogen fertilizer（PFP_N）