植物营养与肥料学报 2013,19(3):559-565
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2013.0305

氮肥运筹对夏玉米产量、品质及植株养分含量的影响

姜涛
(安徽省农业科学院作物研究所,安徽合肥 230031)

摘要: 通过田间试验研究了不同氮肥运筹方式对夏玉米产量、品质及植株养分含量的影响。结果表明,在氮肥施用量较低时,玉米籽粒产量及粗蛋白、粗淀粉和粗脂肪等营养品质指标随氮肥用量的增加而提高;当氮肥用量达到一定数量之后,则不随氮肥用量的增大而增加,甚至有所降低。在氮肥施用量为 N 300 kg/hm^2,基肥:拔节肥:大喇叭口期追肥比例为5:0:5(A_2)时玉米籽粒产量最高为 10902 kg/hm^2,比不施肥(对照)增产 140.5%,比相同施氮量条件下其他基追比处理增产 4.6%~12.3%。随着施氮量增加玉米籽粒氮、磷、钾含量呈先增后减趋势;增施氮肥能显著提高夏玉米籽粒粗蛋白含量,在相同施氮量条件下,玉米籽粒氮素和粗蛋白含量在 A_2 运筹方式下最高,说明该氮肥运筹方式能改善玉米籽粒的品质。

关键词: 氮肥运筹;玉米;产量;品质;养分含量
中图分类号: S513.062.01 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)03-0559-07

Effects of nitrogen application regime on yield, quality and plant nutrient contents of summer maize

JIANG Tao
(*Crop Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei, Anhui 230031, China*)

Abstract: A summer maize field experiment was carried out in Fuyang of Anhui province to investigate the effects of nitrogen applications on plant nutrient contents, yield and quality of summer maize. The results show that grain yield and most of the nutritional quality indicators are improved with the increase of amounts of nitrogen fertilizer applied, which could appear a contrary change trend or even decreased when nitrogen fertilizer amount reached or exceed a certain level. In conclusion, the grain yield of the treatment A_2 whose nitrogen fertilizer rate is 300 kg/ha with a 5:0:5 ratio of base and topdressing is highest, and is 10902 kg/ha with an increase by 140.5% compared to the control (CK), and increases by 4.6% to 12.3% compared to the other base under the same nitrogen rate. The contents of nitrogen, phosphorus and potassium in maize grain appear the curve trends with the increase in the amount of nitrogen application rate, and nitrogen fertilization could significantly improve summer corn grain crude protein content. In the same amount of nitrogen fertilizer application, the grain protein content of treatment A_2 is the highest, which is one of the most appropriate nitrogen fertilizer applying regimes of maize production in the region.

Key words: nitrogen application; maize; yield; quality; nutrient content

据国家统计局数据显示[1],我国玉米种植面积已经超过水稻,跃居第一位。玉米产量和品质与氮肥有重要相关性,合理的氮肥施用量和运筹方式不仅是夏玉米获得优质、高产的关键,还是提高氮肥利用率、降低成本、获得较高经济效益,避免或减少由于施肥过量所带来的环境污染和危害的有效途径[2-4]。目前,在施氮量和基追比例对玉米产量、品质影响方面的研究有大量报道[5-9],但是,在施氮量、基追比例和追肥时期三者的交互效应研究方面鲜有报道。本试验研究从施氮量、基追比例和追

收稿日期: 2012-10-15 **接受日期:** 2013-01-14
基金项目: 安徽养分循环与资源环境省级实验室项目;国家科技支撑计划课题(2011BAD16B06)资助。
作者简介: 姜涛(1980—),男,安徽凤台人,硕士,助理研究员,主要从事农业资源高效利用研究。E-mail: jt8011356@163.com

肥时期三者的交互效应方面入手，研究氮肥施用量与运筹方式对夏玉米产量、品质和植株养分含量的影响，为淮北平原砂姜黑土地区玉米生产中氮肥的合理运筹提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验设在安徽省农业科学院阜南县试验基地，地处东经115°43′43″，北纬32°45′9″，属暖温带半湿润季风气候区南缘，具有明显的过渡带气候特征。常年降水量900 mm左右，日照时数2252.5 h，日照百分率51%，太阳辐射年总量每平方厘米121.6千卡，无霜期222 d。

试验地土质为砂姜黑土，耕层0—20 cm土壤有机质含量13.12 g/kg、全氮0.90 g/kg、碱解氮87.05 mg/kg、速效磷16.50 mg/kg、速效钾136.00 mg/kg。前茬作物为小麦。

1.2 试验设计

本试验选用弘大8号玉米品种为试验材料，设置不同的施氮量、追肥时期和基追比，研究在不同施氮量和基追比条件下夏玉米最适合的高产优质氮肥运筹方式。采用大田试验，设置一个对照(CK)和5个施氮量处理，即N_0、N_{150}、N_{225}、N_{300}、N_{375}，分别表示施氮(N) 0、150、225、300、375 kg/hm^2；磷、钾肥全部基施(P_2O_5 90 kg/hm^2、K_2O 150 kg/hm^2)。N_0、N_{150}处理氮肥全部基施；N_{225}、N_{300}、N_{375} 3个施氮量处理的氮肥运筹方式均为基肥，拔节期和大喇叭口期追肥，基追比(基肥：拔节肥：大喇叭口期追肥)设为10:0:0(A_1)、5:0:5(A_2)、3:5:2(A_3)。共组合为12个处理(CK、N_0、N_{150}、$N_{225}A_1$、$N_{225}A_2$、$N_{225}A_3$、$N_{300}A_1$、$N_{300}A_2$、$N_{300}A_3$、$N_{375}A_1$、$N_{375}A_2$、$N_{375}A_3$)，每个处理3次重复；小区面积(4.2 m×6 m)25.2 m^2，共36个小区，完全随机区组排列。种植密度67500 plant/hm^2，行距60cm，株距25cm，其他管理措施同大田。

1.3 测定项目与方法

在玉米播种前与收获后采集0—20 cm土壤样品；成熟期全部收获中间3行玉米(总7行)，装入尼龙网袋晒干，脱粒称重，以含水量14%的重量作为小区产量。另取10穗玉米进行考种，调查穗长、穗行数、穗粒数、行粒数和百粒重等；取植株样品，测定生物量及植株氮、磷、钾含量和籽粒氮、磷、钾含量及品质指标。

土壤有机质含量用重铬酸钾容量法测定；碱解氮用碱解扩散法；速效磷用0.5 mol/L $NaHCO_3$浸提—钼蓝比色法；速效钾用NH_4OAc浸提—火焰光度法测定。

植株及籽粒全量氮、磷、钾含量的测定方法分别为：用凯氏定氮法测定全氮；钼锑抗比色法测全磷；火焰光度计法测定全钾。蛋白质含量通过全氮计算得到，即，蛋白质含量(%) = 全氮(g/kg)×6.25/10；粗脂肪用残余法；粗淀粉用旋光法进行测定[10]。

1.4 数据处理

运用Microsoft Excel 2003软件进行计算及作图；SPSS 16.0数据处理系统进行方差分析和显著性检验。

2 结果与分析

2.1 氮肥运筹方式对玉米产量的影响

2.1.1 氮肥全部基施对玉米产量的影响　由图1可知，在氮肥全部基施条件下，玉米产量均随施氮量增加呈二次抛物线趋势。施氮量从0 kg/hm^{2}增加到300 kg/hm^{2}时，玉米产量逐渐增加；当施氮量增加到375 kg/hm^{2}时，产量反而降低，其中N_{300}处理的产量比对照增加114.15%，比其他施氮处理增产5.04%～80.78%。这说明玉米施用氮肥符合报酬递减规律，在一定范围内，玉米产量随施氮量增加而提高，但超过一定量后增施氮肥并不能使产量持续增加，反而下降。在高氮条件下由于作物生育前期冠层内透光率较低，冠层结构较不合理，导致生育后期叶片提早衰老，使后期光合性能降低，不但起不到增产效果，还会造成肥料的浪费和对环境的污

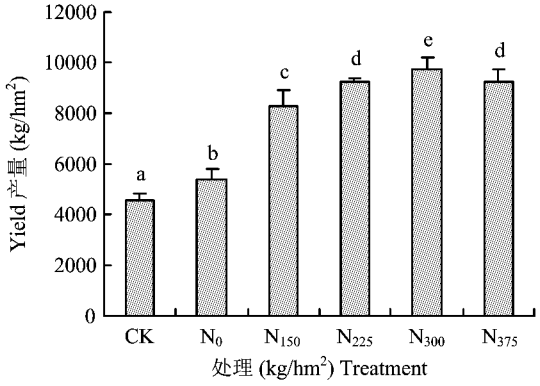

图1 不同施氮量对玉米产量的影响

Fig.1 Effect of different N application rates on maize yield

[注(Note)：图中不同字母表示不同处理间差异达5%显著水平 Different letters above the bars mean significant among different treatments at the 5% level.]

染[11]，因此氮肥的施用量要控制在适当的范围内。不同土壤肥力、不同玉米产量水平的氮肥最佳用量存在差异，本试验中在氮肥基施条件下，通过对玉米产量和施氮量进行二次多项式方程回归分析，得到方程 $Y = -0.0446X^2 + 27.361X + 5333.3$，其 $R^2 = 0.9954$，表明玉米产量与施肥量有显著的相关性。通过对方程求解，可以得到在氮肥全部基施条件下，施氮量为 307 kg/hm² 时，产量最高为 9529.6 kg/hm²。

2.1.2 氮肥运筹方式对玉米产量的影响　施氮时期和追施比例显著影响玉米的产量。由图 2 可以看出，在施氮量为 N 225 kg/hm²、300 kg/hm²、375 kg/hm² 的处理中，相同施氮量不同氮肥运筹方式下玉米产量出现了相同的变化趋势，即 A_2(5∶0∶5) > A_3(3∶5∶2) > A_1(10∶0∶0)，氮肥追施比例为 A_2 的处理与氮肥全部基施处理 A_1 的玉米产量有显著的差异。在相同施氮量条件下，氮肥后移注重苗肥的同时重施穗肥，有利于玉米形成壮苗、增加粒重、提高产量，原因是大喇叭口期是决定玉米雌穗大小、粒数多少和提高产量的关键时期[12]，此期追肥既可促进植株生长与雌穗分化，又有提高光合作用，延长叶片功能期和增花、增粒、提高粒重的作用，因此，在一个适当施肥量内，大喇叭口期重施氮肥有利于增加玉米产量。

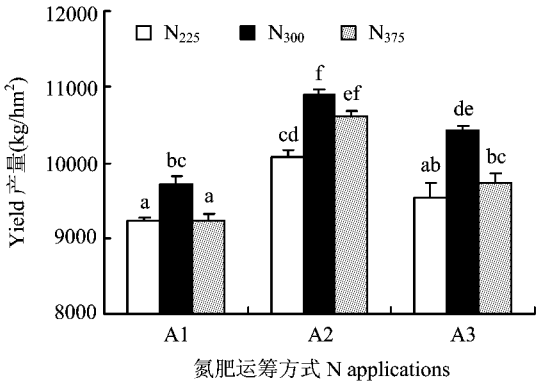

图 2　不同氮肥运筹方式对玉米产量的影响

Fig. 2　Effect of different N applications regime on maize yield

[注(Note)：图中不同字母表示不同处理间差异达 5% 显著水平 Different letters above the bars mean significant among different treatments at the 5% level.]

通过对不同氮肥运筹方式下，玉米产量(Y)与施氮量(X)进行多项式回归分析，得到产量与施氮量的二次回归方程(表 1)，表 1 显示，3 种氮肥运筹模式下产量与施氮量呈极显著相关性，生产中可以根据模型来计算最大产量及其对应的最佳施氮量。

各施氮处理的玉米产量均极显著高于对照和不施氮处理，比对照增产 83.3% ～ 140.5%，比 N_0 处理增产 54.7% ～ 103.0%；其中施氮量为 N 300 kg/hm²，基肥∶拔节肥∶大喇叭口期追肥为 5∶0∶5 的处理 A_2 产量最高为 10902 kg/hm²，比 CK 增产 140.5%，比 N_0 处理增产 94.2%。根据土壤肥力变化、玉米品种氮素吸收积累特性和目标产量水平的不同，适宜的氮肥用量、施氮时期和追施比例也将发生变化，本试验中最适氮肥运筹方式为基肥∶拔节肥∶大喇叭口期追肥为 5∶0∶5(A_2)，最佳施肥量为 300 kg/hm²。

2.2　氮肥运筹方式对玉米籽粒养分含量与品质的影响

2.2.1 对玉米籽粒养分含量的影响　由表 2 可以看出，在氮肥全部基施条件下，随着施氮量的增加玉米籽粒中的氮、磷、钾素养分含量呈先增后减的变化趋势。不同施氮量各处理籽粒的氮、磷、钾养分含量分别比对照增加 8.7% ～ 63.8%、36.6% ～ 69.0%、77.7%～119.6%，差异达显著水平，可见，适量增施氮肥能显著增加玉米籽粒氮、磷、钾养分含量。N_0 处理的籽粒氮、磷、钾养分含量分别比对照高 8.7%、36.6%、77.7%，说明在不施氮肥的情况下，施磷、钾肥也有助于增加玉米对土壤中氮、磷、钾的吸收，提高玉米籽粒的品质。

表 1　玉米产量与施氮量的回归方程模型

Table 1　Regression equation model of corn yield and nitrogen application rate

氮肥运筹方式 N appl. regime	回归方程 Regression equation	R^2	最佳施氮量(kg/hm²) Optimum nitrogen rate	最大产量(kg/hm²) Maximum yield
A_1	$Y = -0.0478X^2 + 28.393X + 5361.3$	0.9978	297	9578
A_2	$Y = -0.0488X^2 + 32.506X + 5357.5$	0.9972	323	10771
A_3	$Y = -0.0503X^2 + 30.935X + 5348.4$	0.9893	308	10105

表2 不同氮肥运筹方式对玉米籽粒养分含量的影响(g/kg)

Table 2 Effects of different nitrogen applications regime on nutrient contents of maize grains

施氮量 N applications rate	氮肥运筹方式 N applications regime	氮含量 N content	磷含量 P content	钾含量 K content
CK		9.04 h	2.13 g	1.12 e
N_0		9.83 g	2.91 e	1.99 cd
N_{150}	A_1	12.14 f	3.28 c	2.30 ab
N_{225}	A_1	13.71 de	3.06 cde	2.46 a
	A_2	14.96 ab	2.95 de	2.30 ab
	A_3	13.49 e	3.14 cd	2.27 ab
N_{300}	A_1	14.81 bc	2.87 ef	2.19 bcd
	A_2	15.55 a	2.96 de	2.19 bcd
	A_3	14.23 cd	2.67 f	1.98 d
N_{375}	A_1	14.21 cd	4.82 a	2.20 bc
	A_2	14.95 ab	3.56 b	2.17 bcd
	A_3	14.67 bc	3.60 b	2.18 bcd

注(Note):数值后不同字母表示不同处理差异达5%显著水平 Values followed by different letters mean significant among different treatments at the 5% level.

在相同施氮量不同氮肥运筹方式下,玉米籽粒氮素含量变化趋势为:$N_{225}A_2 > N_{225}A_1 > N_{225}A_3$;$N_{300}A_2 > N_{300}A_1 > N_{300}A_3$;$N_{375}A_2 > N_{375}A_3 > N_{375}A_1$。肥料运筹方式 A_2(基肥:拔节肥:大喇叭口期追肥为5:0:5)处理的籽粒氮素含量大于 A_1 和 A_3,说明重施基肥和穗肥能显著提高玉米籽粒的氮素养分含量。

2.2.2 对玉米籽粒品质的影响 各施肥处理玉米籽粒的粗脂肪和粗淀粉含量高于对照(见表3),但差异不显著。而与对照(CK)相比,增施氮肥显著提高了玉米籽粒中粗蛋白的含量,增幅为1.94~4.07个百分点,达到极显著差异水平。

1)氮肥全部基施对玉米籽粒品质的影响 由表3可知,在氮肥全部基施条件下,随着施氮量的增加,玉米籽粒的粗脂肪、粗蛋白和粗淀粉含量的变化趋势基本一致,均随施氮量的增加呈先增后减,这与王春虎[3]等人的研究结果一致。N_{150}、N_{225}、N_{300} 和 N_{375} 处理玉米籽粒的粗蛋白含量比对照(CK)增加1.94~4.07个百分点,差异达极显著水平;而 N_{225}、N_{300}、N_{375} 处理间的粗蛋白含量差异不显著。随着施氮量的增加,粗淀粉和粗脂肪含量的变化幅度不大,与不施氮肥处理 N_0 相比,施用氮肥后籽粒粗淀粉和粗脂肪的含量分别增加0.06~1.01、-0.14~0.23个百分点,各处理间差异不显著。可见,施氮量对玉米籽粒粗淀粉和粗脂肪含量没有明显影响。

2)氮肥运筹方式对玉米籽粒品质的影响 由表3还可以看出,在基肥:拔节肥:大喇叭口期追肥比例为 A_1(10:0:0)、A_2(5:0:5)的两种氮肥运筹方式下,随着施氮量的增加,玉米籽粒粗蛋白和粗淀粉含量呈先增后减的变化趋势,表现出一定的规律性;粗脂肪的含量却随着施氮量的增加出现了减少的变化趋势。在 A_3(3:5:2)氮肥运筹方式下,玉米籽粒中粗蛋白含量出现了随施氮量的增加而增加的变化趋势,而粗淀粉含量则出现了先减后增的情况,粗脂肪与粗淀粉含量有相反的变化趋势。在相同的施氮量条件下,玉米籽粒粗蛋白含量在 A_2(5:0:5)氮肥运筹方式下最高,说明该种氮肥运筹方式能改善玉米籽粒品质。本试验结果表明,不同氮肥运筹方式对玉米籽粒品质的影响不同,在重施基肥和大喇叭口肥的条件下,增加施氮量使玉米籽粒中粗蛋白和粗淀粉含量先增后减,而粗脂肪含量呈现逐渐减少的趋势;当兼顾基肥和大喇叭口肥,同时重施拔节肥时,随施氮量增加玉米籽粒粗蛋白含量逐渐增加、粗脂肪含量先增后减,而粗淀粉含量则是先减后增,但整体差异不显著。

表 3　不同氮肥运筹方式对玉米籽粒品质的影响(%)

Table 3　Effects of different nitrogen applications regime on quality of maize grains

施氮量 N application rate	氮肥运筹方式 N applications regime	粗脂肪含量 Fatty acid content	粗蛋白含量 Crude protein content	粗淀粉含量 Starch content
CK		4.30 a	5.65 f	71.35 a
N_0		4.47 a	6.14 e	71.47 a
N_{150}	A_1	4.53 a	7.59 d	71.83 a
N_{225}	A_1	4.57 a	8.57 c	71.93 a
	A_2	4.53 a	9.35 ab	71.70 a
	A_3	4.47 a	8.43 c	72.10 a
N_{300}	A_1	4.40 a	9.26 ab	72.07 a
	A_2	4.43 a	9.72 a	72.13 a
	A_3	4.70 a	8.89 bc	71.53 a
N_{375}	A_1	4.33 a	8.88 bc	71.97 a
	A_2	4.40 a	9.34 ab	72.07 a
	A_3	4.53 a	9.17 b	71.93 a

注(Note):表中数值后不同字母表示不同处理差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters mean significant among different treatments at the 5% level.

2.3　对玉米植株养分含量的影响

由表 4 可以看出,在氮肥基施条件下,随着施氮量的增加,玉米秸秆氮和钾的含量呈先增后减的抛物线变化趋势,而磷含量则呈先减后增再降的 S 型

表 4　不同氮肥运筹方式对玉米秸秆氮、磷、钾养分含量的影响(g/kg)

Table 4　Effects of different nitrogen applications regime on N, P and K of maize Stover

施氮量 N application rate	氮肥运筹方式 N applications regime	氮含量 N content	磷含量 P content	钾含量 K content
CK		8.51 i	1.55 a	11.83 j
N_0		10.00 h	1.39 a	13.66 i
N_{150}	A_1	12.32 e	0.77 cd	16.31 f
N_{225}	A_1	13.18 c	0.73 de	17.56 e
	A_2	10.36 g	0.74 de	10.32 k
	A_3	14.00 b	0.85 cd	18.93 d
N_{300}	A_1	12.56 de	1.18 b	15.88 g
	A_2	12.62 de	0.56 e	16.10 fg
	A_3	15.55 a	1.40 a	21.01 a
N_{375}	A_1	11.19 f	0.68 de	14.79 h
	A_2	13.24 c	1.12 b	20.15 b
	A_3	12.77 d	0.94 bc	19.52 c

注(Note):表中数值后不同字母表示不同处理差异达 5% 显著水平 Values followed by different letters mean significant among different treatments at the 5% level.

曲线变化趋势。与对照相比较，不同施氮量条件下玉米收获期秸秆氮、钾含量显著高于对照，各处理植株氮素养分含量比对照高17.5%～47.6%，钾素比对照高15.5%～48.4%，其中，施氮量为N 225 kg/hm^{2}的处理其秸秆氮素和钾素含量最高，分别比对照高47.6%和48.4%，各处理间差异达极显著水平。表明适当的施氮量能增加夏玉米秸秆中氮素、钾素的含量，施氮量过少和过多均不利于秸秆氮素含量的增加。

在相同施氮量不同氮肥运筹方式下，玉米秸秆氮素含量的变化趋势为：$N_{225}A_3 > N_{225}A_1 > N_{225}A_2$；$N_{300}A_3 > N_{300}A_2 > N_{300}A_1$；$N_{375}A_2 > N_{375}A_3 > N_{375}A_1$；肥料运筹方式$A_3$处理的秸秆氮素含量大于$A_1$和$A_2$。

3 讨论与结论

本试验研究表明，在氮肥全部基施条件下，产量均随施氮量的增加整体呈二次抛物线趋势，这与已有的研究结果相似[13-17]。氮肥后移有利于增加玉米粒重，从而增加产量，其中施氮量为N 300 kg/hm^2，基肥：拔节肥：大喇叭口期追肥的比例为5:0:5时产量最高，原因是试验地土壤为砂姜黑土，属典型的低产土壤，因此，经济最佳施氮量相对较高。

玉米大喇叭口期为营养生长和生殖生长的并进阶段，根、茎、叶的生长非常旺盛，体积迅速扩大、干重急剧增加，同时，雄穗已发育成熟，各器官间开始争夺养分，群体和个体以及个体之间矛盾日益突出，大喇叭口期到籽粒建成期是玉米吸收氮素强度最大的时期[18-19]，也是决定玉米产量的关键时期，此期重施氮肥能获得显著增产效果[20]，本试验也得出相似的研究结果，其中，以重施大喇叭口肥的氮肥运筹方式A_2的籽粒产量最高。

本试验中，氮肥基施条件下，在一定施氮量范围内，适当增加施氮量能有效增加夏玉米秸秆中氮素、钾素含量，并显著增加玉米籽粒中的氮、磷、钾含量，但过多施用氮肥反而使籽粒养分含量下降。不同氮肥运筹方式中，在相同施氮量条件下，重施基肥和大喇叭口肥能显著提高夏玉米籽粒氮素含量。当重施拔节肥，兼顾基肥和大喇叭口期施肥能显著提高夏玉米秸秆的氮素含量，因为拔节期是玉米营养生长旺盛时期，对养分的需求量较大，重施拔节肥，能满足玉米拔节期根、茎、叶大量生长的养分需求，能显著提高夏玉米秸秆中的氮素养分含量，但是，玉米拔节期过多追施氮肥易使第三、第四节间伸长，造成倒伏，因此，要考虑合理的追肥量。

有研究认为[21]，施用氮肥不同程度地增加了玉米籽粒蛋白质、淀粉和脂肪酸的含量，但也有研究表明[22]，增施氮增加籽粒粗蛋白、粗脂肪含量的同时却降低了粗淀粉的含量。在本研究中，不同氮肥运筹方式对玉米籽粒品质的影响不同，与不施氮肥处理相比，增施氮肥能显著提高玉米籽粒的粗蛋白含量，随施氮量的增加，粗蛋白含量呈先增后减的变化趋势。在重施基肥和大喇叭口肥的氮肥运筹方式A_2中，各施氮量处理的籽粒粗蛋白含量相对较高，差异显著，但氮肥运筹方式对粗淀粉和粗脂肪含量的影响不明显。

综上所述，在砂姜黑土中低产田种植夏玉米的最佳施氮量为N 300 kg/hm^2，最佳氮肥运筹方式为A_2，即基肥：拔节肥：大喇叭口期追肥的比例为5:0:5，但是，考虑到生态环境效应和农业的可持续发展，应减少化学肥料的使用量，同时要注意增施有机肥，以培肥土壤，提高地力，减少氮肥在环境中的残留和积累，减少潜在的农田环境污染，提高氮肥增产效果。

参 考 文 献：

[1] http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2011/indexch.htm

[2] 赵营，同延安，赵护兵. 不同供氮水平对夏玉米养分累积、转运及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2006，12(5)：622-627.
Zhao Y, Tong Y A, Zhao H B. Effects of different N rates on nutrients accumulation, transformation and yield of summer maize [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2006, 12(5): 622-627.

[3] 王春虎，陈士林，董娜，等. 华北平原不同施氮量对玉米产量和品质的影响研究[J]. 玉米科学，2009，17(1)：128-131.
Wang C H, Chen S L, Dong N *et al*. The effects of different nitrogen applications on yield and quality of maize in north China plain[J]. Maize Sci., 2009, 17 (1): 128-131.

[4] 郑伟，何萍，高强，等. 施氮对不同土壤肥力玉米氮素吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2011，17(2)：301-309.
Zheng W, He P, Gao Q *et al*. Effect of N application on nitrogen absorption and utilization of spring maize under different soil fertilities[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2011, 17(2): 301-309.

[5] 吕鹏，张吉旺，刘伟，等. 施氮时期对超高产夏玉米产量及氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2011，17(5)：1099-1107.
Lü P, Zhang J W, Liu W *et al*. Effects of nitrogen application dates on yield and nitrogen use efficiency of summer maize in super-high yield conditions[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2011, 17 (5): 1099-1107.

[6] 吕鹏，张吉旺，刘伟，等. 施氮量对超高产夏玉米产量及氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2011，17(4)：852-860.
Lü P, Zhang J W, Liu W *et al*. Effects of nitrogen application on yield and nitrogen use efficiency of summer maize under super-high yield conditions[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2011, 17(4): 852-860.

[7] 赵士诚，裴雪霞，何萍，等. 氮肥减量后移对土壤氮素供应和夏玉米氮素吸收利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2010，16(2)：492-497.
Zhao S C, Pei X X, He P *et al*. Effects of reducing and postponing nitrogen application on soil N supply, plant N uptake and utilization of summer maize[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(2): 492-497.

[8] 战秀梅，李亭亭，韩晓日，等. 不同施肥方式对春玉米产量、效益及氮素吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2011，17(4)：861-868.
Zhan X M, Li T T, Han X R *et al*. Effects of nitrogen fertilization methods on yield, profit and nitrogen absorption and utilization of spring maize[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2011, 17(4): 861-868.

[9] 鱼欢，杨改河，王之杰. 不同施氮量及基追比例对玉米冠层生理性状和产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2010，16(2)：266-273.
Yu H, Yang G H, Wang Z J. Nitrogen rate and timing considerations on yield and physiological parameters of corn canopy[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(2): 266-273.

[10] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京：中国农业科技出版社，2000.
Lu R K. Analysis methods of soil agricultural chemistry[M]. Beijing: Chinese Agricultural Science and Technology Press, 2000.

[11] 吕丽华，赵明，赵久然，等. 不同施氮量下夏玉米冠层结构及光合特性的变化[J]. 中国农业科学，2008，41(9)：2624-2632.
Lü L H, Zhao M, Zhao J R *et al*. Canopy structure and photosynthesis of summer maize under different nitrogen fertilizer application rates[J]. Sci. Agric. Sin., 2008, 41(9): 2624-2632.

[12] 刁操铨. 作物栽培学各论[M]. 北京：中国农业出版社，1994.
Diao C Q. The crop cultivation each on[M]. Beijing: China Agricultural Press, 1994.

[13] 吴永成，王志敏，周顺利. ^{15}N 标记和土柱模拟的夏玉米氮肥利用特性研究[J]. 中国农业科学，2011，44(12)：2446-2453.
Wu Y C, Wang Z M, Zhou S L. Studies on the characteristics of nitrogen fertilizer utilization in summer maize based on techniques of soil column and ^{15}N-label[J]. Sci. Agric. Sin., 2011, 44(12): 2446-2453.

[14] 巨晓棠，刘学军，邹国元，等. 冬小麦/夏玉米轮作体系中的氮素损失途径分析[J]. 中国农业科学，2002，35(12)：1493-1499.
Ju X T, Liu X J, Zou G Y *et al*. Evaluation of nitrogen loss way in winter wheat and summer maize rotation system[J]. Sci. Agric. Sin., 2002, 35(12): 1493-1499.

[15] 宋海星，李生秀. 玉米生长量、养分吸收量及氮肥利用率的动态变化[J]. 中国农业科学，2003，36(1)：71-76.
Song H X, Li S X. Eynamics of nutrient accumulation in maize plants under different water and N supply conditions[J]. Sci. Agric. Sin., 2003, 36(1): 71-76.

[16] 吴文强，贺建德，赵永志，等. 施氮量对糯玉米产量及土壤氮动态的影响[J]. 华北农学报，2008，23（增刊）：283-285.
Wu W Q, He J D, Zhao Y Z *et al*. Effect of nitrogen fertilizer on waxy corn yield and soil nitrogen dynamics[J]. Acta Agric. Boreali-Sin., 2008, 23(Suppl.): 283-285.

[17] 金继运，何萍，刘海龙，等. 氮肥用量对高淀粉玉米和普通玉米吸氮特性及产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2004，10(6)：568-573.
Jin J Y, He P, Liu H L *et al*. Comparison of nitrogen absorption, yield and quality between high-starch and common corn as affected by nitrogen application[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(6): 568-573.

[18] 谭金芳. 作物施肥原理与技术[M]. 北京：中国农业大学出版社，2003.
Tan J F. Principles and techniques of crop fertilization[M]. Beijing: China Agricultural University Press, 2003.

[19] 郭庆法，王庆成，汪黎明，等. 中国玉米栽培学[M]. 上海：上海科学技术出版社，2004. 438-441.
Guo Q F, Wang Q C, Wang L M *et al*. China corn cultivation[M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2004. 438-441.

[20] 王宜伦，韩燕来，张许，等. 氮磷钾配比对高产夏玉米产量、养分吸收积累的影响[J]. 玉米科学，2009，17(6)：88-92.
Wang Y L, Han Y L, Zhang X *et al*. Effects of different fertilizers on yield and plant nutrient accumulation of high-yield summer maize[J]. Maize Sci., 2009, 17(6): 88-92.

[21] 杨恩琼，黄建国，何腾兵，等. 氮肥用量对普通玉米产量和营养品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2009，15(3)：509-513.
Yang E Q, Huang J G, He T B *et al*. Effect of nitrogen fertilization on yield and nutritional qualities of food maize[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(3): 509-513.

[22] 李建奇. 氮、磷营养对黄土高原旱地玉米产量、品质的影响机理研究[J]. 植物营养与肥料学报，2008，14(6)：1042-1047.
Li J Q. Study on the influencing mechanisms of nitrogen and phosphorus nutrients on maize yield and quality in rain fed lands of the Loess Plateau[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(6): 1042-1047.