

# 施氮模式对夏玉米氮肥利用和产量效益的影响

王云奇<sup>1</sup> 陶洪斌<sup>1</sup> 黄收兵<sup>1</sup> 徐丽娜<sup>1</sup> 杨利华<sup>2</sup> 祁利潘<sup>1</sup> 王璞<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>中国农业大学农学与生物技术学院,北京 100193;<sup>2</sup>河北省农林科学院粮油作物研究所,河北 石家庄 050031)

**摘要:**为了明确不同施氮模式对夏玉米物质生产、经济效益和氮肥利用的影响,设置4种施氮模式: N0(CK)、N1(基肥30+大口肥120+吐丝肥30)、N2(基肥60+大口肥120)、N3(基肥120+大口肥120+吐丝肥30),进行大田试验。结果表明,施氮能改善夏玉米产量因子、提高产量。氮肥适量后移显著改善穗部性状,N1与N0、N2处理相比穗粒数提高34.7和28.5粒,收获指数提高11.3%~17.1%,增加产量1590和60.6kg·hm<sup>-2</sup>。在同等施氮量下,氮肥部分后移能增加产量收入,但不能提高纯收益、产投比。夏玉米吐丝期施氮显著增加灌浆期干物质积累(N1、N3处理的干物质与N2相比分别提高2153和2319.4kg·hm<sup>-2</sup>),延缓吐丝后LAI的下降。施氮可以显著提高夏玉米花前花后生物量;氮肥部分后移到吐丝期可提高花后干物质积累。适当降低氮肥投入,每1kg氮多生产4.3kg玉米;氮肥用量相同,氮肥适当后移,每1kg氮多生产0.56kg玉米。因此,合理的施氮模式,不仅可以增玉米加产量,还可获得好的经济效益。

**关键词:**夏玉米;氮肥;经济效益;产量

## Effects of Nitrogen Patterns on Nitrogen Use and Yield Benefit of Summer Maize

WANG Yun-qi<sup>1</sup> TAO Hong-bin<sup>1</sup> HUANG Shou-bing<sup>1</sup> XU Li-na<sup>1</sup> YANG Li-hua<sup>2</sup> QI Li-pan<sup>1</sup> WANG Pu<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>College of Agronomy and biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

<sup>2</sup>Institute of Cereal and Oil Crops, Hebei Academy of Agricultural and Forestry Sciences, Shijiazhuang, Hebei 050031)

**Abstract:** Field experiments were conducted with four nitrogen patterns to clarify the effects of different nitrogen patterns on the process of matter productivity, ear traits, yield, economic benefits and N efficiency. The four nitrogen patterns were I nitrogen rate of 0kg·hm<sup>-2</sup>, Pattern N0; II nitrogen rate of 180kg·hm<sup>-2</sup> (30kg·hm<sup>-2</sup> before sowing plus 120kg·hm<sup>-2</sup> at big trumpet stage, 30kg·hm<sup>-2</sup> at silking stage), Pattern N1; III nitrogen rate of 180kg·hm<sup>-2</sup> (60kg·hm<sup>-2</sup> before sowing, 120kg·hm<sup>-2</sup> at big trumpet stage), Pattern N2; IV nitrogen rate of 270kg·hm<sup>-2</sup> (30kg·hm<sup>-2</sup> before sowing, 120kg·hm<sup>-2</sup> at big trumpet stage, 120kg·hm<sup>-2</sup> at silking stage), Pattern N3. The results showed that appropriately postponing nitrogen fertilizer can significantly improve ear traits, for example, the number of grains per ear of N1 pattern increased by 34.7 and 28.5, the harvest index increased by 11.3 and 17.1%; the yield increased by 1590kg·hm<sup>-2</sup> and 60.6kg·hm<sup>-2</sup>, compared to N0 and N2 respectively. After treated with the same amount of nitrogen input, postponing appropriately proportion of nitrogen fertilizer can increase yield but not the net-income or the input-output rate; Nitrogen input at silking stage were also found significantly increased dry matter accumulation at grain-filling stage and the drop of LAI after silking was postponing. Nitrogen fertilizer significantly improve biomass of summer maize before and after anthesis, Moreover, postponing part of nitrogen to silking stage could increase dry matter accumulation of post-anthesis. Reducing appropriate amount of nitrogen input produced 4.3kg more corn per kilogram nitrogen; under the same amount of nitrogen fertilizer input, postponing part of nitrogen to silking stage produced 0.56kg corn per kilogram nitrogen more.

收稿日期:2012-05-22 接受日期:2012-08-21

基金项目:国家玉米产业技术体系项目(CARS-02-26),国家科技支撑计划(2011BAD16B15)

作者简介:王云奇(1985-),男,河南西华人,硕士研究生,主要从事作物高产和资源高效利用研究。Tel: 18911126361;E-mail:wyqay163@163.com

通讯作者:王璞(1957-),男,山西朔州人,博士,教授,主要从事作物高产和资源高效利用研究。E-mail: wangpu@cau.edu.cn

Therefore, scientific nitrogen pattern is very important not only for yield increase, but also for improving of economic benefits.

**Key words:** Summer maize; Nitrogen fertilizers; Economic benefits; Yield

氮肥是玉米生长发育过程中需求量最大的营养元素<sup>[1,2]</sup>,对提高玉米产量有着重要作用。但是,生产上为追求高产而大量甚至过量施用氮肥,且施肥方法不当,不但没有提高粮食产量和氮肥利用率,反而造成资源浪费和环境污染<sup>[3]</sup>。研究表明,华北平原玉米氮肥一般有20%~30%<sup>[4]</sup>未被作物吸收利用,残留在土壤中的肥料氮,易随降水和灌溉水淋溶到土壤深层或随径流进入地表水,从而污染地下和地表水,或经氨挥发、硝化和反硝化作用以气体形态进入大气,污染大气环境<sup>[5]</sup>。因此,适宜的氮肥用量,恰当的施用时期和施用方法,是协调氮素供应与作物吸收,减少氮素损失,提高氮肥利用率、降低农资投入的有效措施。

如何进行科学的氮肥管理成为近年养分资源管理研究的热点<sup>[6,7]</sup>。适量施氮可以提高玉米产量和氮肥利用效率,而过量施氮未表现出进一步的增产效果,氮肥利用率也较低<sup>[8,9]</sup>。基施氮主要在拔节至大喇叭口期发挥作用,追施氮则主要在大喇叭口至吐丝期发挥作用,氮肥利用率随追氮比例增大而提高<sup>[10]</sup>。同等施氮量下,基肥配合追肥显著提高玉米产量<sup>[11]</sup>。有机肥与化肥长期配施在协调土壤氮素供应,提高作物产量及氮肥利用率方面具有突出作用<sup>[12]</sup>。有研究提出了氮肥后移技术<sup>[13,14]</sup>,即氮肥分多次施用,以便更好地起到养分供应与作物吸收同步的作用。研究表明,氮肥后移能够提高氮肥利用率及玉米<sup>[13]</sup>和小麦<sup>[15]</sup>的产量。但是,生产中由于玉米中后期追肥困难,玉米氮肥的施用主要以基肥为主,氮肥的施用不能耦合玉米生育进程及其阶段需肥规律,氮肥利用率低。近年来,有机肥的施用呈减少趋势,长期大量施用化肥引起土壤肥力下降,造成肥料利用率低、施肥成本高、经济效益下降。为了实现玉米增产和农民增收,就应该以玉米的需肥规律和降低农民投入为出发点,建立高产高效、简化易行的施肥体系。为此,本研究以提高氮肥利用率为目的,研究了不同施氮模式对夏玉米物质生产、经济效益和氮肥利用的影响,以期节肥高产高效提供理论依据和技术指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料与试验设计

供试品种为郑单958,试验于2010年6月23日至10月4日在河北省农林科学院粮油作物研究所堤上

试验站进行。试验地为轻壤潮褐土,肥力中等,0~30cm土层含有机质12.8g·kg<sup>-1</sup>,全氮118.3mg·kg<sup>-1</sup>,碱解氮61.06mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷28.78mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾42.20mg·kg<sup>-1</sup>。氮肥为普通尿素(含氮46%);磷肥为过磷酸钙(含P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>16%)105kg·hm<sup>-2</sup>(以P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>计);钾肥为硫酸钾(含K<sub>2</sub>O50%)120kg·hm<sup>-2</sup>(以K<sub>2</sub>O计)。磷肥、钾肥作为基肥一次性施入。

试验为单因素试验,随机区组设计,设置4种施氮模式,试验处理如表1,每处理3次重复,小区面积8.5×7.5m<sup>2</sup>,株距22.2cm,行距60cm,种植密度为75000株·hm<sup>2</sup>。

表1 试验处理

施氮模式 Nitrogen pattern	基肥 Base fertilizer	大口期 Big trumpet stage	吐丝期 Silking stage	施氮总量 Total nitrogen
N0	0	0	0	0
N1	30	120	30	180
N2	60	120	0	180
N3	120	120	30	270

### 1.2 取样方法与测定项目

分别于拔节期、大喇叭口期、吐丝期、吐丝后25d和成熟期(分茎鞘、叶片、苞叶、籽粒和穗轴),在每个小区选择有代表性的3株玉米,测量每株绿叶叶片的长与宽,按照公式:叶面积=长×宽×0.75和LAI=绿叶面积/土地面积计算叶面积指数,然后取地上部分于烘箱中105℃杀青30min,80℃烘干至恒重后称重,然后粉碎,采用半微量凯氏定氮法测定全N。

收获期(2010年10月4日)每小区收获中间4行(每行4m),称所有果穗总鲜重,按平均鲜穗重从所收果穗中随机选取20穗,调查穗行数、行粒数、穗粒数、千粒重、出籽率、穗粗、穗长和秃尖长,测定出籽率和含水量,计算实际产量(按14%折算含水量)。

### 1.3 数据处理及计算方法

收获指数 = 经济产量 / 生物产量;

氮肥利用率(NUE,%) = (施氮区植株总吸氮量 - 空白区植株总吸氮量) / 施氮量 × 100;

氮肥偏生产力(PFP,kg·kg<sup>-1</sup>) = 施氮处理产量 / 施氮量;

氮肥农学利用率(ANUE,kg·kg<sup>-1</sup>) = (施氮区产量 - 空白区产量) / 施氮量;

氮素吸收效率(NUPE,kg·kg<sup>-1</sup>) = 植株地上部氮

素累积量/施氮量;

氮收获指数(NH I %) = 籽粒中氮量/植株氮素累积量 × 100;

花后干物质积累量(PDMA,  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ) = 成熟期全株干物质重 - 开花期全株干物质重。数据处理采用 Microsoft Excel 2007, 统计分析用 SAS8.0 软件完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 产量和产量构成

表 2 可知,在施基肥和大口期施氮肥的基础上,吐丝期再追施氮肥可以使穗粗、穗长、穗行数、行粒数分别提高 0.13cm、0.5cm、0.3 行、1.2 粒。N0 的秃尖长比 N1、N2 和 N3 分别长 1.2cm、1.0cm、1.4cm。N2 和 N3 的穗部性状除了秃尖长有显著差异外,其他穗部性

状差异不显著。N1 和 N2 的施氮总量一样,N1 将基施氮肥一半后移到吐丝期,就使穗粗、穗长、穗行数和行粒数分别提高 2.8%、3.5%、2.1%、4.2%。因此,基施氮肥,应适量,多则浪费,不利于节肥。

如表 3 所示,施氮使穗数、穗粒数、千粒重得到显著提高。各处理间的穗数差异不显著。吐丝期追施氮肥可以显著改善夏玉米穗部性状,从表 3 可以看出,N1 与 N2 相比,穗粒数提高 28.5 粒。由于吐丝肥提高穗粒数和收获指数(N1 较 N2 处理的穗粒数和收获指数分别提高 6.9%、11.3%),最终使 N1 的产量显著高于所有处理,较 N0、N2 分别增产 1590 和 60.6  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

由上述结果可见,在施基肥和大口期施氮的基础上,吐丝期施氮可以显著改善穗部性状(表 2)和收获指数,显著提高产量。

表 2 夏玉米穗部性状的分析

Table 2 The analysis of summer maize ear traits

施氮模式 Nitrogen pattern	穗粗 Ear diameter(cm)	穗长 Ear length(cm)	穗行数 Number of rows	行粒数 Kernels per row	秃尖长 Bare top length(cm)	出籽率 Seed rate(%)
N0	4.51 c	13.8 b	14.6 a	27.8 d	3.0 a	81.2 b
N1	4.80 a	14.8 a	14.8 a	29.8 b	1.8 c	85.6 a
N2	4.67 b	14.3ab	14.5 a	28.6 c	2.0 b	84.8 a
N3	4.78ab	14.8 a	14.4 a	30.2 a	1.6 d	84.2 a

注:同列内数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。下表同

Note: Different letters in a column mean significant at the 5% level with the following table. The same as below

表 3 夏玉米产量的分析

Table 3 The analysis of summer maize yield

施氮模式 Nitrogen model	穗数 Number of ear( $\text{穗} \cdot \text{hm}^{-2}$ )	穗粒数 Kernels per ear	千粒重 1000-kernei weight(g)	收获指数 Harvest index(%)	籽粒产量 Yield( $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )
N0	74208 a	407.2 c	221.7 c	32.8 c	6159.4 d
N1	74828 a	441.9 a	234.2 b	34.5 b	7749.6 a
N2	74910 a	413.4bc	240.7 a	31.0 d	7689.0 b
N3	71920 a	418.6 b	239.4 a	36.3 a	7448.7 c

### 2.2 经济效益

衡量某项技术的实际应用价值,除了增产效果,还有经济效益。由表 4 可知,施氮处理的玉米产量收入显著高于不施氮处理,N1、N2 处理间差异不显著,但显著高于 N3 处理,其中 N1 的产量收入比 N0、N2 每  $1\text{hm}^2$  分别多 3180.4 元、121.3 元。N1、N2 纯收益之间的差异不显著,但显著高于 N0、N3 处理的纯收益,N0、N3 处理间差异不显著。由于 N0 不施氮,所以 N0 的产投比显著高于所有施氮处理,同时 N3 是氮肥和人工投入最多的处理,致使 N3 的产投比显著小于所有处理,N1、N2 氮肥投入相同,N1 多施一次肥,因此,N2 的产投比显著大于 N1。可见,在同等施氮量的

情况下,氮肥部分后移可以使产量收入增加,但不能增加纯收益、产投比。

### 2.3 物质生产

表 5 显示,随着生育进程,各处理玉米植株的干物质呈不断增加的趋势。拔节期 N0、N1、N2、N3 处理的干物质依次增大,大喇叭口期和成熟期呈现类似规律。吐丝期的玉米植株的干物质表现为  $N2 > N3 > N1 > N0$ ;灌浆期 N1、N3 处理间差异不显著,而显著高于 N3、N0,N3、N0 之间差异不显著,N1、N3 的干物质与 N2 相比分别提高 2153 和 2319.4  $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。表明夏玉米吐丝期施氮可以显著增加灌浆期的干物质积累;基施氮肥适量利于夏玉米干物质积累,过多则不利。

表4 玉米产量效益和产投比

Table 4 Yield and value to cost ratio

施氮模式 Nitrogen model	农资投入 Agricultural inputs (Yuan·hm <sup>-2</sup> )	其它投入 Other inputs (Yuan·hm <sup>-2</sup> )	总投入 Total inputs (Yuan·hm <sup>-2</sup> )	玉米单价 Corn price (Yuan·kg)	产量收入 Yield income (Yuan·/hm <sup>-2</sup> )	纯收益 Net income (Yuan·/hm <sup>-2</sup> )	产投比 Ratio of output to input
N0	1305	1200	2505	2	12318.8 b	9813.8 b	3.90 a
N1	1881	2100	3981	2	15499.2 a	11518.2 a	2.89 c
N2	1881	1650	3531	2	15377.9 a	11846.9 a	3.36 b
N3	2169	2100	4269	2	14897.5 b	10628.5 b	2.48 d

注:表中农资投入包括种子、化肥和农药,其中,尿素为2.2元·kg<sup>-1</sup>,过磷酸钙1.0元·kg<sup>-1</sup>,氯化钾为5.0元·kg<sup>-1</sup>。其它投入包括机械作业和人工投入,秸秆进行还田,故未计进收入。2010年,玉米市场价格为2.0元·kg<sup>-1</sup>

Note: agricultural inputs, including seeds, fertilizers and pesticides, Among them, urea is 2.2 Yuan·kg<sup>-1</sup>, superphosphate 1.0 Yuan·kg<sup>-1</sup>, potassium chloride is 5.0 Yuan·kg<sup>-1</sup>. Other inputs, including machinery and labor put into operation, Straw to field, it does not count into the input. 2010, the corn market price is 2.0 Yuan·kg<sup>-1</sup>

各处理玉米叶片的LAI都呈抛物线的变化趋势,各处理峰值出现在吐丝期(表5)。除了成熟期和拔节期之外,N0的LAI都是所有处理中最小的。拔节期N0、N1、N3的LAI显著大于N2;大喇叭口期N2、N3显著高于N0、N1,这可能是N2、N3基施氮肥量大于N0、N1所致;吐丝期N0、N1、N3的LAI显著小于N2;灌浆期N3的LAI最大,其次是N1,N0最小;成熟期各处理的LAI达显著水平,N2、N3、N1、N0依次增大(表5)。可见,施氮肥可以增加夏玉米叶片的LAI;基施氮肥可

以显著增加拔节期、大口期和吐丝期的LAI。夏玉米吐丝期施氮可以显著延缓吐丝后叶片LAI的下降,其中成熟期N1、N3的LAI与N2相比分别提高0.41、0.29。

综合分析干物质和LAI的变化可知,LAI的大小和干物质积累呈正相关,如灌浆期N3、N1、N2、N0的LAI依次增大,而这个时期的干物质积累也是此规律。可见,氮肥通过调控叶面积,来调节干物质积累量。

表5 干物质和LAI的动态变化

Table 5 Dynamic changes of dry matter and LAI

	施氮模式 Nitrogen model	拔节期 Jointing stage	大口期 Big bell mouth stage	吐丝期 Silking stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturity Stage
干物质 Dry matter (kg·hm <sup>-2</sup> )	N0	170.7 d	2920.9 d	6799.3 d	15879.8 b	19439.6 d
	N1	264.0 b	3989.3 b	7241.6 c	18360.5 a	21702.5 b
	N2	299.4 a	4314.0 a	8115.2 a	16207.5 b	22972.1 a
	N3	285.1 a	4424.7 a	7882.2 b	18526.9 a	21136.5 c
叶面积指数 LAI	N0	0.73 a	3.28 c	4.80 b	4.71 c	3.51 a
	N1	0.72 a	4.09 b	4.88 b	4.72 c	3.44 b
	N2	0.61 b	4.56 a	5.25 a	4.92 a	3.03 d
	N3	0.71 a	4.41 a	4.95 b	4.79 b	3.32 c

Note: LAI-leaf area index

表6可见,各施氮处理的生物产量、花前生物量、花后生物量都显著高于不施氮处理,各处理间的生物量达显著水平,其中成熟期N2、N1、N3、N0依次增大。花前生物量各处理间差异显著,其中N2最大,N0最小。N1、N2间的花后生物量没有显著差异,显著大于N0和N3。由于N1生物量显著小于N2,N1花后生物量几乎与N2相当,致使N1花后生物量/生物产量比N2增大近2个百分点。结果表明,氮肥部分后移到吐丝期可以提高花后干物质积累,因为花后干物质积累的主要部分籽粒,最终使N1的收获指数与N2相比提高了近5个百分点,显著增加产量(表3)。

## 2.4 氮肥利用

表7显示,施氮处理N1与N2、N3间的氮肥利用效率差异未达显著水平,N2的氮肥利用率显著大于N3,说明降低氮肥投入利于氮肥利用率的提高,在氮肥用量相同的情况下,氮肥后移能获得较高的氮肥利用率。N1的氮肥农学利用率与N3处理相比有显著提高,说明适当降低氮肥投入,单位氮肥的增产效果提高,每1kg氮多生产4.3kg玉米;氮肥用量相同,氮肥适当后移,能使每1kg氮多生产0.56kg玉米,说明氮肥适量后移有利于氮肥生产能力提高。

N1、N2的氮素吸收效率显著高于N3,但N1、N2

表 6 夏玉米花前花后物质生产

施氮模式 Nitrogen model	生物产量 Biomass production	花前生物量 Biomass before flowering	花后生物量 Biomass after flowering	花后生物量/生物产量 BA/BP (%)
N0	19439.6 d	6799.3 d	12640.3 c	65.02 b
N1	21702.5 b	7241.6 c	14460.9 a	66.62 a
N2	22972.1 a	8115.2 a	14856.9 a	64.68 b
N3	21136.5 c	7882.2 b	13254.4 b	62.71 c

Note: BA/BP- Biomass after flowering/ Biomass production

间差异不显著。可见,施氮量越大, NUPE 就越低,且不同的施氮方式使氮素吸收效率产生一定的差异。N1、N2 处理间的氮肥偏生产力差异不显著,2 个处理显著大于 N3 的氮肥偏生产力。在施氮量相同的情况下, N1 的 PFP 大于 N2。表明氮肥用量过多对所施氮对经济产量的形成有一定的抑制,并且在施氮量相

同的情况下,氮肥适量后移可以提高氮肥偏生产力。从表 7 还可以看出,各处理间的氮收获指数达显著水平,其中 N0、N1、N2 的氮收获指数依次增大。可见,施氮量过高过低都不利于氮素向籽粒中转移。在施氮量相同的情况下,基施加大口肥较利于氮收获指数的提高。

表 7 玉米氮素吸收和利用效率

施氮模式 Nitrogen model	氮肥利用率 NUE (%)	氮肥农学利用率 ANUE ( $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	氮素吸收效率 NUPE ( $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	氮肥偏生产力 PFP ( $\text{kg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )	氮收获指数 NHI
N0	0	0	0	0	51.51 c
N1	15.46ab	5.91 a	94.21 a	44.03 a	54.63 b
N2	17.27 a	5.35 a	96.03 a	43.48 a	57.12 a
N3	13.86 b	1.61 b	66.37 b	27.03 b	48.37 d

Note: NUE-Nitrogen use efficiency; ANUE-Agronomic nitrogen use efficiency; NUPE-Nitrogen uptake efficiency; PFP-Partial factor productivity; NHI-Nitrogen harvest index

### 3 讨论

氮肥对玉米有明显增产作用<sup>[16]</sup>,玉米营养体建成期间的干物质积累是超高产形成的基础,灌浆期间的干物质积累则是超高产形成的关键<sup>[17]</sup>。赵士诚<sup>[14]</sup>等研究表明氮肥减量后移可以显著提高干物质积累量。本研究表明夏玉米吐丝期施氮可以显著增加灌浆期的干物质积累(灌浆期 N1、N3 的干物质与 N2 相比分别提高 2153 和 2319.4  $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ )。在夏玉米整个生育期内施氮量相同的情况下,基施氮肥部分后移到吐丝期可以大大提高花后干物质积累,因为花后干物质积累的主要部分是籽粒,使 N1 的收获指数与 N2 相比提高了近 5 个百分点,产量显著增加(表 3)。氮肥减量后移处理既获得了较高的产量,也提高了氮效率,是一种科学的施肥方式<sup>[13,18,19]</sup>,在小麦上也获得了类似研究结果<sup>[14]</sup>。

现代农业不仅追求高产,更注重的是施肥对作物经济效益的影响。前人研究表明施用氮肥是实现增产增收的有效途径<sup>[19]</sup>。本研究结果表明在同等施氮量

的情况下,虽然施肥次数及劳动力投入有所增加,但是分次施肥的氮肥模式还是收入最高的模式,同时研究还发现氮肥部分后移可以使纯收益、产投比分别提高 328 元 $\cdot\text{hm}^{-2}$ 、0.47(表 4)。对夏玉米来说,基施氮肥应适量,如果施肥过多,不但起不到增产增效的作用,反而产生相反作用。合理施用氮肥不但能够维持玉米产量,还可减少氮肥投入<sup>[16]</sup>,提高经济效益。

氮肥利用效率和农学利用效率是表征氮肥利用效率的重要指标<sup>[22]</sup>。拔节期、大口期、花后 10d 施氮可提高氮素利用率,实现高产高效<sup>[22]</sup>。降低施氮量利于氮肥利用率的提高,在氮肥用量相同的情况下,氮肥后移能获得较高的氮肥利用率。本研究中,适当降低氮肥投入,氮肥农学利用率提高 4.3%,氮肥用量相同,氮肥适当后移,氮肥农学利用率提高 0.56%。刘占军<sup>[15]</sup>研究认为夏玉米在花前施氮的基础上,灌浆期追施氮肥显著提高氮素的偏生产力和农学效率。高产田适量施氮可以提高玉米产量,过量施氮没有表现出进一步增产效果,其氮肥利用率较低,中低产田随施氮量的增加,产量提高,而氮肥利用率却降低<sup>[19]</sup>。随施氮量增大,产量增大,氮肥利用率(NUE)降低<sup>[23]</sup>。氮

肥后移可促进超高产夏玉米后期的氮素吸收积累,氮肥后移比习惯施氮的氮肥利用率提高 1.88% ~ 9.70%、农学效率提高 0.96% ~ 2.21% 以“30% 苗肥 + 30% 大喇叭口肥 + 40% 吐丝肥”方式施用氮肥的产量和氮肥利用率最佳<sup>[13]</sup>。

综上所述,现代农业不仅关注高产高效,更注重施肥对作物经济效益的影响。施用氮肥是实现增产增收的有效途径<sup>[18]</sup>。合理施用氮肥不但能够维持玉米产量,还可减少氮肥投入,提高氮肥利用效率<sup>[20]</sup>。要想实现增产就应该适当增加氮肥投入,而要想实现增效则应该适当减少氮肥投入,但要实现二者的统一就应该从科学施肥上入手。因此,从物质生产、经济效益、氮肥利用情况上看 N1(基肥 30 + 大口肥 120 + 吐丝肥 30)是一种实现高产高效的施肥模式。

#### 参考文献:

- [ 1 ] 王友华,许海涛,许波,张海申,冯晓曦. 施用氮肥对玉米产量构成因素及其根系生长的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010, (3): 58 - 61
- [ 2 ] Burkart M R, Kolpin D W. Hydrologic and land-use factors associated with herbicides and nitrate in near-surface aquifers[J]. Journal of Environmental Quality, 1993, 22: 646 - 656
- [ 3 ] Zhu Z L. Loss of fertilizer N from plant soil system and strategies and techniques for its reduction [J]. Soil Environmental Science, 2000 9(1): 1 - 6
- [ 4 ] 张福锁. 测土配方施肥技术要览 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2006
- [ 5 ] Miao Y X, Bobby A S, Zhang F S. Long-term experiments for sustainable nutrient management in China. A review [J]. Agronomy for Sustainable Development, (2011) 31: 397 - 41
- [ 6 ] 隗英华,汪仁,孙文涛,邢月华,隋世江,鲁东,毛佰传. 施氮模式对春玉米养分累积特性的影响[J]. 核农学报, 2011, 25 (1): 0143 - 0148
- [ 7 ] Zhang J, Alfred M B, Jason W E, Kenneth J K. Sensitivity of chlorophyll meters for diagnosing nitrogen deficiencies of corn in production agriculture [J]. Agronomy Journal, 2008, 100 : 543 - 550
- [ 8 ] 吕丽华,王慧军,王璞. 不同施氮量下夏玉米产量形成的源库关系[J]. 华北农学报, 2010, 25(2): 194 - 199
- [ 9 ] 丁民伟,杜雄,刘梦星,张建恒,崔彦宏. 氮素运筹对夏玉米产量形成与氮素利用效果的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(5): 1100 - 1107
- [ 10 ] 易镇邪,王璞,陶洪斌,鲁来清,于国建. 肥基/追比对华北平原夏玉米生长发育与水、氮利用的影响 II. 夏玉米氮素累积、转运与土壤无机氮动态[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(1): 86 - 90
- [ 11 ] 鱼欢,杨改,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
- [ 12 ] 梁斌,赵伟,杨学云,周建斌. 氮肥及其与秸秆配施在不同肥力土壤的固持及供应[J]. 中国农业科学, 2012, 45(9): 1750 - 1757
- [ 13 ] 王宜伦,李潮海,谭金芳,张许,刘天学. 氮肥后移对超高产夏玉米产量及氮素吸收和利用的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(2): 339 - 347
- [ 14 ] 赵士诚,裴雪霞,何萍,张秀芝,李科江,周卫,梁国庆,金继云. 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
- [ 15 ] 李升东,王法宏,司纪升,张宾,孔令安,冯波. 氮肥管理对小麦产量和氮肥利用效率的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(2): 403 - 407
- [ 16 ] 宇万太,姜子绍,马强,周桦. 不同施肥制度对作物产量及土壤磷素肥力的影响[J]. 中国生态农业学报, 2009, 17(5): 885 - 889
- [ 17 ] 马兴林,王庆祥,钱成明,柯福来,王传海. 不同施氮量玉米超高产群体特征研究[J]. 玉米科学, 2008, 16(4): 158 - 162
- [ 18 ] 王俊忠,黄高宝,张超男,杨亚军,赵会杰,朱晓燕,马培芳. 施氮量对不同肥力水平下夏玉米碳氮代谢及氮素利用率的影响[J]. 生态学报, 2009, 29(4): 2045 - 2052
- [ 19 ] 战秀梅,李亭亭,韩晓日,邹殿博,左仁辉,叶冰. 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
- [ 20 ] 刘占军,谢佳贵,张宽,王秀芳,侯云鹏,李彩侠,李书田. 不同氮肥管理对吉林春玉米生长发育和养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 38 - 47
- [ 21 ] 张福锁,王激清,张卫峰,崔振岭,马文奇,陈新平,张荣风. 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 - 922
- [ 22 ] 吕鹏,张吉旺,刘伟,杨今胜,刘鹏,董树亭,李登海. 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
- [ 23 ] 易镇邪,王璞,刘明,吕丽华,魏凤桐. 不同类型氮肥与施氮量下夏玉米水、氮利用及土壤氮素表观盈亏[J]. 水土保持学报, 2006, 20(1): 63 - 67