植物营养与肥料学报 2011,17(4):861 -868
Plant Nutrition and Fertilizer Science

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

战秀梅,李亭亭,韩晓日*,邹殿博,左仁辉,叶 冰
(沈阳农业大学土地与环境学院,农业部东北土壤与环境重点开放实验室,辽宁沈阳 110866)

摘要:通过田间试验研究了农民习惯施肥、氮肥减量及减量后移、氮肥一次性深施对春玉米产量、效益、花后干物质和氮素积累与转移情况及氮的吸收和利用的影响。结果表明,与习惯施肥处理(氮用量 N 280 kg/hm^2,口肥和拔节期追肥比例为1:4,N280/2,)相比,氮肥减量后移处理(氮用量 N 240 kg/hm^2,口肥、拔节期和大喇叭口期追肥比例为 1:2:2,N240/3)增产 3.91%,增收 592 元/hm^2;氮肥一次性深施处理(氮用量 N 240 kg/hm^2,播种时一次深施在 15 cm 处,N240/1)增产 11.48%,增收 2032 元/hm^2;氮肥减量后移处理(N240/3)和氮肥一次性深施处理(N240/1)的经济系数、后期干物质和氮的转移量、转移效率及对子粒的贡献率显著提高,氮肥利用率(NUE)、氮肥农学利用率(ANUE)、氮素吸收效率(NUPE)和氮肥偏生产力(PFP)、氮收获指数(NHI)也显著提高。氮肥减量后移处理(N240/3)花后干物质和氮的积累量及占总量的比例最高;氮肥一次性深施处理(N240/1)花后干物质和氮积累量较高,但所占比例较低;习惯施肥处理(N 280/2)干物质和氮积累量较低,但所占比例较高。由于关于一次性施肥存在较多争议,因此尚不能认为氮肥一次性深施方式可以替代农民习惯施肥;而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。

关键词:春玉米;氮肥后移;一次性深施;氮高效利用
中图分类号:S513.062.01　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1008 -505X(2011)04 -0861 -08

Effects of nitrogen fertilization methods on yield, profit and nitrogen absorption and utilization of spring maize

ZHAN Xiu-mei, LI Ting-ting, HAN Xiao-ri*, ZOU Dian-bo, ZUO Ren-hui, YE Bing
(*College of Land and Environment Sciences, Shenyang Agricultural University/ Key Laboratory of Soil and Environment of Ministry of Agriculture, Shenyang, Liaoning 110866, China*)

Abstract: A field experiment was conducted to study the effects of nitrogen fertilizer application rates and methods on yield, profit, post-anthesis dry matter, N accumulation and translocation, nitrogen absorption and utilization of spring maize. The objective of this experiment was to make a scientific suggestion for high-yield management and N efficient utilization of spring maize. The results show that the yield and profit are increased by 3.91% and 592 Yuan/ha under the reducing and postponing N application (RPN, N 240 kg/ha, 1/5 basal, 2/5 topdressing at the jointing stage and 2/5 topdressing at the bell-mouthed stage, N 240/3) compared with farmers' practice (FP, N 280 kg/ha, 1/5 basal and 4/5 topdressing at the jointing stage, N 280/2). The treatment of single deep placement of nitrogen fertilizer as basal nitrogen fertilizer single basal application (SBN, N 240 kg/ha, total basal into 15 cm, N 240/1) has the best yield and profit, and the yield is increased by 11.48% and the profit is increased by 2032 Yuan/ha compared with FP. In addition to these, the harvest index (HI), dry matter, nitrogen translocation and its rate, rate of contribution to grain, N use efficiency (NUE), agronomic N use efficiency (ANUE), N uptake efficiency (NUPE), N partial factor productivity (PFP) and N harvest index (NHI) were

收稿日期:2010 -11 -29　　**接受日期**:2011 -03 -28
基金项目:农业部公益性行业专项(201103003);国家科技支撑计划课题(2011BAD16B12,2008BAD95B01)资助。
作者简介:战秀梅(1974—),女,辽宁朝阳人,博士,副教授,主要从事植物营养与施肥研究。E-mail:xiumeizhan@163.com
* 通讯作者 Tel:024 -88487155,E-mail:hanxiaori@163.com

increased significantly ($P<0.05$) under RPN and SBN treatments. The post-anthesis dry matter and N accumulation amount, and their ratios to the total are the highest under N240/3, are higher under N240/1, but the ratios are lower, and are lower under N280/2, but the ratios are higher. There are many controversies on single basal application (SBN) of nitrogen fertilizer, so it could not conclude that SBN can be used to replace the farmers' practice. It has got higher yield and N efficiency for the RPN treatment, so the reducing and postponing N application (RPN) is a scientific nitrogen fertilizer application method.

Key words: spring maize; postponing N application; single deep placement of nitrogen fertilizer; nitrogen efficient utilization

在我国,为追求高产,生产中大量施用氮肥,氮磷钾比例不合理,施肥方法不当,造成粮食产量和氮肥利用率降低,浪费资源并污染环境[1-4]。在美国,玉米生产中大量施用高效复合肥和微量元素肥料,并通过施用缓效肥料和氮肥稳定剂等来提高肥料利用率,且常年坚持大量施用有机肥料,做到化肥与有机肥料搭配合理;并建立完善的农化服务体系,通过测土配方施肥和植株营养诊断来确定施肥的时期、种类、数量和方法[5]。2006 年美国玉米高产竞赛的田块,最高产量21797.3 kg/hm^2,而氮肥施用量只有 134 kg/hm^2,钾肥 67 kg/hm^2,没有施用磷肥[6]。我国与美国自然条件有许多相似之处,但玉米生产水平和科技水平有较大差距。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[7-8]。近年来,有人提出了氮肥后移技术[9-11],即氮肥分多次施用,以更好地起到养分供应与作物吸收同步的作用[12]。研究表明,氮肥后移能够提高氮肥利用率及玉米和小麦的产量[12-14]。

当前,玉米一次性施肥发展速度很快,特别是近些年来,在玉米生产中尿素撒施到耕地表面[15],造成氮肥损失更加严重。一次性施肥法主要是指结合整地在原垄沟一次性把全部肥料施入垄沟后覆土,施肥深度一般为 10—15 cm,整个生育期内不再追肥的施肥方法[16]。这种施肥方法劳动效率高,被越来越多的农民所接受。但是关于一次性施肥,研究者所持观点不同[15,17-18]。为此,本研究结合沈阳地区的耕地和玉米种植特点,从施肥对玉米产量、效益,花后碳、氮积累、转移及氮肥的吸收和利用方面,开展了农民习惯施肥、氮肥后移和一次性施肥研究,为春玉米高产高效施肥提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

春玉米田间试验于2009 年4 月 28 日至9 月19 日在沈阳农业大学后山棕壤试验地(40°48′N,123°33′E)进行。试验田土壤基本性状为:容重 1.2 g/cm^3、pH 6.72、有机质含量 17.9 g/kg、全氮 1.48 g/kg、全磷 0.16 g/kg、全钾 14.07 g/kg、碱解氮 119.6 mg/kg、速效磷 16.2 mg/kg、速效钾 89.6 mg/kg。

据调查,当地农民习惯施肥一般氮、磷、钾肥约为 N 280、P_2O_5 60、K_2O 75 kg/hm^2,且施用方法为氮肥分口肥和拔节期 2 次追施,比例为 1∶4,磷、钾肥作基肥一次施用。因此,本试验设 6 个处理:1)不施氮肥对照(N0);2)农民习惯施肥(N 280 kg/hm^2,氮肥分2 次施用,基肥和拔节期追肥比例为 1∶4,N280/2);3)氮肥减量 1(N 195 kg/hm^2,基肥和拔节期追肥比例为 1∶4,N195/2);4)氮肥减量 2(N 240 kg/hm^2,基肥和拔节期追肥比例为 1∶4,N240/2);5)氮肥后移(N 240 kg/hm^2,基肥、拔节期追肥和大喇叭口期追肥比例为 1∶2∶2,N240/3);6)氮肥一次性深施(N 240 kg/hm^2,氮肥在播种时一次深施 15 cm 处,N240/1)。随机区组排列,3 次重复。各处理磷、钾肥用量为 P_2O_5 97.5、K_2O 105 kg/hm^2,作基肥一次施用。小区面积 30 m^2。

供试玉米品种为郑单 958,4 月 28 日播种,5 月 10 日出苗,追肥为拔节期(6 月 22 日)和大喇叭口期(7 月 20 日)穴施,田间管理同当地高产田。

1.2 调查测定项目与计算

各处理分别于拔节期(出苗后 44 d)、大喇叭口期(出苗后 72 d)、开花期(出苗后 79 d)、灌浆期(出苗后 100 d)、收获期(出苗后 132 d)分茎、叶、穗采取植株样本,于 105℃杀青,80℃烘至衡重后称重并粉碎,备用。9 月 19 日收获时各小区取 4 行共 12 m^2 计产、考种。

植株氮含量的测定方法:植物样本先用 H_2SO_4-H_2O_2 消煮,再采用半微量凯氏定氮法测定。

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[19-21];

氮肥偏生产力(PFP, kg/kg) = 施氮处理产

量/施氮量[22];

氮肥农学利用率(ANUE, kg/kg) = (施氮区产量 - 空白区产量)/施氮量[23];

氮素吸收效率(NUPE, kg/kg) = 植株地上部氮素累积量/施氮量[19-20];

氮收获指数(NHI, %) = 子粒中氮量/植株氮素累积量 × 100[21, 23];

花后干物质和氮素积累量、转移量和转移效率、转移干物质和氮素对子粒的贡献率根据以下公式计算[24]:

花后干物质积累量(PDMA, kg/hm^2) = 成熟期全株干物质重 - 开花期全株干物质重;

花后氮素积累量(PNA, kg/hm^2) = 成熟期全株氮素积累量 - 开花期全株氮素积累量;

氮素转移量(NT, kg/hm^2) = 开花期营养体氮累积量 - 成熟期营养体氮累积量;

氮素转移效率(NTE,%) = 氮素转运量/开花期营养体氮素累积量 × 100;

转移氮素对子粒的贡献率(NTC, %) = 氮素转移量/子粒中氮量 × 100;

干物质转移量(DMT, kg/hm^2) = 开花期营养体干物质重 - 成熟期营养体干物质重;

干物质转移效率(DMTE, %) = 干物质转移量/开花期营养体干物质重 × 100;

转移干物质对子粒的贡献率(DMTC, %) = 干物质转移量/粒重 × 100。

试验数据采用 Excel 2003 与 SPSS13.0 软件进行方差分析和显著性检验。

2　结果与分析

2.1　氮肥用量和施用方式对春玉米产量和效益的影响

2.1.1 产量　田间试验结果表明(表 1),与不施氮处理相比,各施氮处理产量均显著增加,增加幅度为 12.5%～62.8%。表明氮肥是影响春玉米产量的重要因素,施氮肥能显著提高产量。与农民习惯施肥 N280/2 处理相比,N195/2 处理产量显著降低,降幅为 23.0%,而 N240/2 处理产量与之相近,两者差异不显著,表明在施磷、钾肥基础上,大量降低氮肥用量不利于产量的提高,而适当降低氮肥用量,能维持原来的产量水平;N240/3 处理产量较农民习惯施肥处理增加了 3.9%,差异显著,表明氮肥分 3 次施用,施肥期适当后移,能显著促进产量的提高;N240/1 处理最高产量比习惯施肥处理增加了 1365 kg/hm^2,增产率为 11.5%;比氮肥后移处理产量增加了 900 kg/hm^2,增产率为 7.3%,表明氮肥一次性深施,在试验地所在的土壤和气候条件下,更有利于产量的提高。

表 1　春玉米产量和效益

Table 1　Grain yield and profit of spring maize

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm^2)	肥料成本 Fertilizer cost (Yuan/hm^2)	效益 Profit (Yuan/hm^2)	比 N0 Compared with N0		比 N280/2 Compared with N280/2	
				(%)	(Yuan/hm^2)	(%)	(Yuan/hm^2)
N0	8145 ± 30 e	972	12060			-42.5	-5120
N280/2	11895 ± 45 c	1852	17180	46.0	5120		
N195/2	9165 ± 90 d	1811	12854	12.5	793.5	-25.2	-4326
N240/2	11910 ± 135 c	2004	17052	46.2	4992	0.1	-128
N240/3	12360 ± 75 b	2004	17772	51.8	5712	3.4	592
N240/1	13260 ± 30 a	2004	19212	62.8	7152	11.8	2032

注(Note):价格 Prices,肥料 Fertilizers N 4.3, P_2O_5 4.8, K_2O 4.8 Yuan/kg;玉米 Maize 1.6 Yuan/kg. 同列不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Different letters in a column mean significant at the 5% level.

2.1.2 效益　现代农业追求的不仅是高产,更注重的是施肥对作物经济效益的影响。表 1 还看出,氮肥一次深施处理(N240/1)的施肥效益(即玉米产值扣除肥料成本)最大,N0 处理最小。与不施氮处理相比,各处理收益均显著增加,增收范围为 794 ～ 7152 元/hm^2,表明施用氮肥是实现增产增收的有效途径。但是,氮肥减量的 N195/2 和 N240/2 处理施肥效益比 N280/2 降低,说明产量降低导致收益下降,或虽然没有减产,但扣除肥料成本后的经济效益反而低于农民习惯施肥;氮肥后移处理较习惯施肥处理增收 592 元/hm^2,一次性深施处理增收 2032 元/hm^2,增幅为 11.8%,效益最大,且较氮肥后移处

理也增收 1440 元/hm^2。效益中计入劳动力投入，则随施肥次数增加，效益降低，一次性施肥效益将更为突出。

2.2 不同施肥方式对春玉米经济系数及干物质和氮积累、转移的影响

经济系数是子粒与地上部干物质积累量的比值，是反映作物库源比的重要的栽培生理指标。经济系数、经济产量、生物产量之间存在着相互制约的关系；经济产量的形成是在特定栽培措施下，源、库相互作用、相互制约的结果。表 2 可见，各处理的经济系数（HI）差异较大，变动范围在 0.42 ～ 0.51 之间。不施氮肥处理的 HI 显著低于施氮处理。各施氮处理中，施 N 240 kg/hm^2 处理的 HI 显著高于 N280/2 和 N195/2 处理，后两者差异不显著。在施 N 240 kg/hm^2 条件下，氮肥一次深施处理显著高于氮肥分 2 次和 3 次施用处理。表明施用氮肥可显著促进玉米经济产量的形成，且氮肥用量和施用方式均对 HI 产生显著影响。

玉米子粒干物质形成过程中的碳除了大部分来源于粒重形成阶段叶片的光合作用外，也有少部分来源于抽雄前营养体碳素的转移[25]。子粒中的养分，一部分来源于根系吸收的养分直接输送，另一部分来源于营养器官养分的再转移。养分的转移量和转移效率是营养器官养分向子粒转输出的重要指标[26]。表 2 还看出，不施氮处理的碳、氮转移量最少，转移效率也处于较低水平，表明不施氮肥条件下，营养体中的碳、氮的转移与再利用受到显著的影响。在各施氮处理中，碳、氮转移量总体上是以施氮 240 kg/hm^2 的处理最大，其次为习惯施肥（N280/2）处理，N195/2 处理最低；转移效率也表现出同样的趋势。表明氮肥用量过高或过低，均不利于碳、氮的再利用。在施氮 240 kg/hm^2 条件下，一次性深施（N240/1）与氮肥后移处理（N240/3）碳、氮转移量与转移效率较高，两者之间差异不显著，表明这两种施肥方式能更加充分地利用植株营养体中的干物质与氮素营养。

表 2 春玉米经济系数及干物质和氮素转移情况

Table 2 Harvest index, dry matter and N translocation of spring maize

处理 Treatment	经济系数 HI	干物质转移 Dry matter translocation			氮素转移 Nitrogen translocation		
		转移量 DMT（$\times 10^3$ kg/hm^2）	转移效率 DMTE（%）	贡献率 DMTC（%）	转移量 NT（kg/hm^2）	氮转移率 NTE（%）	贡献率 NTC（%）
N0	0.42 d	2.07 d	14.3 d	23.0 b	56.4 d	48.2 c	51.6 b
N280/2	0.43 c	2.76 c	14.7 d	22.9 b	88.2 b	48.7 c	55.2 a
N195/2	0.43 c	2.69 c	13.5 e	19.9 c	84.0 c	48.4 c	50.8 b
N240/2	0.49 b	3.21 b	18.6 c	23.8 b	87.6 b	49.9 b	46.3 c
N240/3	0.49 b	3.51 ab	19.1 b	24.5 a	92.4 a	50.2 b	46.5 c
N240/1	0.51 a	3.66 a	20.7 a	25.0 a	91.2 a	51.7 a	44.9 d

注（Note）：HI—Harvest index；DMT—Dry matter transfer amount；DMTE—Dry matter translocation efficiency；DMTC—Contribution of dry matter transfer amount to grain；NT—Nitrogen transfer amount；NTE—Nitrogen translocation efficiency；NTC—Contribution of nitrogen transfer amount to grain. 同列不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Different letters in a column mean significant at the 5% level.

花后光合产物的积累和养分的吸收对玉米产量形成非常重要。花后干物质积累占总干物质比例与花后营养器官干物质转移效率及对子粒的贡献率相反（表 2），即营养体干物质转移比例越大，花后积累比例就越少。花后氮素积累所占比例与营养体氮素转移比例及贡献率也呈相同趋势。表 3 可见，各处理花后干物质和氮素积累量及占总干物质和总氮的比例，除个别处理外，总体差异显著。其中 N0 处理各项指标最低，其次为 N195/2 处理，说明不施氮肥或氮肥用量偏低，不利于春玉米花后光合同化作用及养分吸收。N280/2 处理花后干物质和氮素积累量处于较低水平，但占总量的比例均处于较高水平；N240/1 处理与 N280/2 处理相反，花后干物质和氮素的积累量较高，但占总量的比例较低；N240/3 处理的各项指标最高，这与各处理干物质积累总量和氮素总吸收量不同有关。说明氮肥适当后移，有利于春玉米花后保持较高的同化能力和吸收能力；氮肥一次性深施，花后的同化能力和吸收能力降低，营养体的干物质和养分转移对子粒产量的影响更大；习惯施肥也不利于花后有机物和养分的积累。

表 3　春玉米花后干物质和氮素积累情况

Table 3　Post-anthesis dry matter and N accumulation of spring maize

处理 Treatment	花后干物质积累 Post-anthesis dry matter accumulation		花后氮素积累 Post-anthesis N accumulation	
	积累量 PDMA ($\times 10^3$ kg/hm^2)	占总干物质比例(%) % of total DM	积累量 PNA (kg/hm^2)	占总氮比例(%) % of total N
N0	10.03 f	47.2 e	79.2 f	46.6 f
N280/2	14.52 d	53.6 b	159.4 d	61.9 b
N195/2	13.95 e	47.3 e	139.4 e	54.9 d
N240/2	14.65 c	51.9 c	163.6 b	59.3 c
N240/3	15.06 a	54.3 a	186.6 a	64.1 a
N240/1	14.93 b	49.6 d	161.2 c	53.1 e

注(Note):PDMA—Post-anthesis dry matter accumulation amount; PNA—Post-anthesis nitrogen accumulation amount. 同列不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Different letters in a column mean significant at the 5% level.

2.3　不同施肥方式对氮素吸收和利用的影响

2.3.1 氮素吸收　氮肥利用率(NUE)是作物吸收利用氮肥的主要指标。表 4 表明,与 N280/2 处理相比,其它各施肥处理 NUE 均有显著提高,提高幅度为 14.09 ~ 20.71 个百分点,说明降低氮肥用量有利于氮肥利用率的提高。在氮肥用量相同的 3 个处理中,以 N240/1 和 N240/3 处理的 NUE 较高,N240/2 处理较低,与前两者达到差异显著水平,表明不同的氮肥施用方式对玉米 NUE 有显著的影响,氮肥后移处理能获得较高的 NUE,氮肥一次性深施较后移处理并不会显著降低其利用率,而且与传统的口肥加一次追肥相比,氮肥利用率有所提高,这与相关报道相近[10]。氮肥农学利用率(ANUE)反映单位施氮量下作物经济产量的增加情况,是农业生产中最关心的经济指标之一。试验表明,各处理间 ANUE 差异均达到了显著水平。除 N195/2 处理外,其它处理 ANUE 均较 N280/2 显著提高,说明适当降低氮肥用量,单位氮肥的增产效果提高,每千克氮增加了玉米产量 2.3 ~ 7.9 kg。氮肥用量相同、施用方式不同的 3 个处理,其 ANUE 以 N240/1 处理最大,N240/2 处理最小,氮肥一次性深施和适当后移处理,能使每千克氮多生产玉米 5.6 和 1.9 kg,说明适当的施肥方法有利于氮肥生产能力的提高。

氮素吸收效率(NUPE)是作物累积氮量与施氮量的比值。以 N280/2 处理最低,以 N195/2 处理最高。各处理均显著高于 N280/2 处理,提高幅度在 0.26 ~ 0.41 kg/kg 之间,提高了 29 ~ 46 个百分点。施氮 240 kg/hm^2 条件下,一次性深施和氮肥分 3 次施用处理 NUPE 相同,较氮肥分两次施用提高了 4.3%。表明施氮量增大,NUPE 降低,且不同的施肥方式导致 NUPE 存在一定差异。

2.3.2 氮素利用　氮肥偏生产力(PFP)反映了单位

表 4　春玉米氮素吸收和利用效率

Table 4　N uptake and utilization efficiency of spring maize

处理 Treatment	氮肥利用率 NUE (%)	氮肥农学利用率 ANUE (kg/kg)	氮素吸收效率 NUPE (kg/kg)	氮肥偏生产力 PFP (kg/kg)	氮收获指数 NHI
N0					64.4 c
N280/2	29.8 c	13.4 d	0.90 d	42.5 e	63.2 d
N195/2	43.9 b	5.2 e	1.31 a	47.0 d	64.9 c
N240/2	45.3 b	15.7 c	1.16 c	49.6 c	68.3 b
N240/3	50.5 a	17.6 b	1.21 b	51.5 b	68.4 b
N240/1	49.8 a	21.3 a	1.21 b	55.3 a	70.4 a

注(Note):NUE—Nitrogen use efficiency; ANUE—Agronomic nitrogen use efficiency; NUPE—Nitrogen uptake efficiency; PFP—Partial factor productivity; NHI—N harvest index. 同列不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Different letters in a column mean significant at the 5% level.

施氮量对产量的贡献。表4可见,各处理间PFP差异显著,以施氮240 kg/hm^{2}的各处理高于N195/2和N280/2;在施氮240 kg/hm^{2}条件下,N240/1 > N240/3 > N240/2。表明氮肥用量过高和过低,均抑制了所施氮肥对经济产量形成的促进作用,并且在相同的氮肥用量下,不同施用方式可显著影响氮肥偏生产力。氮肥一次性深施处理较习惯施肥处理PFP提高30.1%,表明当前农民习惯施肥方式不利于氮肥偏生产力的提高,即所施氮肥对产量的贡献不及氮肥一次性深施及其他处理。

氮收获指数(NHI)反映氮素在植株营养器官与生殖器官间的分配。在各施氮处理中,以施氮240 kg/hm^{2}各处理的NHI最高,N280/2和N195/2处理均显著降低,表明施氮量过高和过低都不利于氮收获指数的提高。施氮量相同条件下,以氮肥一次性深施处理NHI最高,表明该施肥方式在试验条件下有利于氮素在子粒中的分配。

3 讨论与结论

在本试验条件下,与农民习惯施氮肥相比,在施磷、钾肥基础上适当减少氮肥用量(N240/2处理),虽然小幅地提高了玉米产量,显著提高了氮肥利用率和经济系数等指标,但由于磷、钾肥投入较多,增加了肥料成本,因此效益较农民习惯施肥有一定幅度降低。故该施肥方式不宜用以替代当前农民习惯施肥。

合理运筹氮肥是实现玉米高产和超高产的重要措施。近年来,关于氮肥后移提高作物产量的报道较多[10-13]。本研究表明,与农民习惯施肥相比,氮肥减量且分口肥、拔节期和大喇叭口期追肥3次施用,增产显著,施肥效益也有较大幅度提高。相关报道[24,27]表明,不同的氮、磷、钾用量和施氮方式影响了干物质和氮素的转移量和转移率。本研究也表明,与农民习惯施肥相比,氮肥减量后移显著提高了经济系数及玉米花后干物质积累和氮素吸收以及生育后期碳、氮的转移量和转移率,后期转移的碳、氮对子粒干物质的贡献率差异不大,但对子粒氮素积累贡献率显著降低。说明干物质和氮素营养能够较多地分配到经济器官,是获得高产的重要途径[27];而氮肥后移使得玉米在生育后期仍保持较强的同化能力,有利于子粒库的碳、氮积累。

研究认为,氮肥用量过高、运筹不当、养分供应不同步是氮素利用率低的主要原因[29]。氮肥减量后移和农民习惯施肥相比,氮肥利用率提高了20.7个百分点,氮的吸收效率、利用效率和收获指数也显著提高。这是由于降低氮量、提高磷、钾肥用量,使养分配比更加趋于合理,养分之间相互促进吸收[30]。氮肥用量下降,且氮肥分次施用,能显著减少氮肥的田间表观损失[12],更加适应作物的养分吸收需求,所吸收的氮素较多地分配在子粒中,促进了氮的吸收与氮素的高效利用和产量的提高。

关于一次性施肥,存在许多争议[15,18,31]。有的认为,玉米一次性施肥相对于习惯施肥,在降水充足的年份产量差异不显著,干旱年份一次性施肥产量降低[18];有的则认为,一次性深施肥与常规施肥相比,不会影响玉米对养分的吸收,而且有助于养分的吸收;氮肥利用率提高,产量没有显著差异或小幅提高[15,31]。在本试验条件下,玉米播种时氮肥一次性深施获得了最高的产量和收益,比习惯施肥处理产量增加了1365 kg/hm^2,增产率为11.5%,效益增加了2032 Yuna/hm^2;比氮肥后移处理产量增加了900 kg/hm^2,增产率为7.3%,效益增加了1440 Yuan/hm^2。一次性施肥的氮肥利用率达到了49.8%,显著高于农民习惯施肥,但与氮肥后移处理差异不显著;经济系数、碳与氮的转移量和转移率、氮的吸收和利用效率等指标与其它处理相比均处于较高水平,花后干物质积累和氮吸收量及所占比例明显降低。表明一次性施肥,玉米生育前期具有较强的积累和同化能力,后期则不及氮肥分次追施的处理;玉米产量的形成与花前营养体贮藏物的转移关系更加密切。

综上所述,在本试验条件下,一次性施肥处理获得了高产及氮的高效利用,但由于有关一次性施肥的争议较多,故仍不能简单的认为一次性施肥方式可以替代习惯施肥,尚需对该施肥方式的产量形成的影响因素、土壤养分供应规律等进一步研究,以解释其高产高效机理。氮肥后移处理获得了较高的产量、效益和氮效率,相关报道也表明,该施肥方式有利于高产与氮的高效利用,因此氮肥适当后移是一种科学的施肥方式。

参 考 文 献:

[1] Trenton F S, Joseph G L. Corn grain yield response to crop ration and nitrogen over 35 years[J]. Agron. J., 2008, 100: 643-650.

[2] Sheri C, Deanna O, Carl C *et al*. Winter wheat and maize response to urea ammonium nitrate and a new urea formaldehyde polymer fertilizer[J]. Agron. J., 2007, 99: 1654-1653.

[3] 袁新民,杨学云,同延安,等. 不同施氮量对土壤NO_3^--N累积

的影响[J]. 干旱地区农业研究,2001,19(1):8-13.
Yuan X M, Yang X Y, Tong Y A *et al*. Effect of N fertilizer rate on soil nitrate nitrogen accumulation [J]. Agric. Res. Arid Areas, 2001, 19(1): 8-13.

[4] 樊军,郝明德. 旱地农田土壤剖面硝态氮累积的原因初探[J]. 农业环境科学学报,2003,22(3):263-266.
Fan J, Hao M D. Nitrate accumulation in soil profile of dryland farmland [J]. J. Agric. Environ. Sci., 2003, 22(3): 263-266.

[5] 赵久然,王荣焕. 美国玉米持续增产的因素及其对我国的启示[J]. 玉米科学,2009,17(5):156-159.
Zhao J R, Wang R H. Factors promoting the steady increase of American maize production and their enlightenments for China [J]. J. Maize Sci., 2009, 17(5): 156-159.

[6] 刘志全,李万良,路立平,等. 2006 年美国玉米高产竞赛的启示[J]. 玉米科学,2007,15(6):144-145.
Liu Z Q, Li W L, Lu L P *et al*. Revelation of American national maize yield contest in 2006[J]. J. Maize Sci., 2007, 15(6): 144-145.

[7] Hawkins J A, Sawyer J E, Barker D W, Lundvall J P. Using relative chlorophyll meter values to determine nitrogen application rates for corn [J]. Agron. J., 2007, 99: 1034-1040.

[8] Zhang J, Alfred M B, Jason W. Sensitivity of chlorophyll meters for diagnosing nitrogen deficiencies of corn in production agriculture [J]. Agron. J., 2008, 100: 543-550.

[9] 王激情,马文奇,江荣风,张福锁. 我国水稻、小麦、玉米基肥和追肥用量及比例分析[J]. 土壤通报,2008,39(2):329-334.
Wang J Q, Ma W Q, Jiang R F, Zhang F S. Analysis about amount and ratio of basal fertilizer and topdressing fertilizer on rice, wheat, maize in China[J]. Chin. J. Soil Sci., 2008, 39(2): 329-334.

[10] 刘新月,乔蕊清,卫云宗,等. 冬小麦超高产栽培氮肥后移技术的研究[J]. 山西农业科学,2001,29(2):26-28.
Liu X Y, Qiao R Q, Wei Y Z *et al*. A study on the technique of N application at later growing stage for super-high yield cultivation of winter wheat [J]. J. Shanxi Agric. Sci., 2001, 29(2): 26-28.

[11] 盛华安,张明慧,周永寿. 小麦氮肥后移技术对产量的影响[J]. 安徽农学通报,2003,9(3):64-67.
Sheng H A, Zhang M H, Zhou Y S. The effect of N fertilizer postpone on yield of wheat [J]. Anhui Agric. Sci. Bull., 2003, 9(3): 64-67.

[12] 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*. Effect 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.

[13] 陈祥,同延安,亢欢虎,等. 氮肥后移对冬小麦产量、氮肥利用率及氮素吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14(3):450-455.
Chen X, Tong Y A, Hang H H. Effect of postponing N application on the yield, apparent N recovery and N absorption of winter wheat[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(3): 450-455.

[14] Cui Z L, Chen X P, Miao Y X *et al*. On-farm evaluation of the improved soil N min-based nitrogen management for summer maize in north China plain [J]. Agron. J., 2008, 100: 517-525.

[15] 安景文,汪仁,包红静,等. 不同肥料配方一次性施肥对玉米产量和养分吸收的影响[J]. 土壤通报,2008,39(4):874-877.
An J W, Wang R, Bao H J *et al*. Effects of basal dressing total fertilizers once with different fertilizer formulas on product and nutrient uptake of maize[J]. Chin. J. Soil Sci., 2008, 39(4): 874-877.

[16] 高强,李德忠,黄立华,等. 吉林玉米带玉米一次性施肥现状调查分析[J]. 吉林农业大学学报,2008,30(3):301-305.
Gao Q, Li D Z, Huang L H *et al*. Investigation of present situation on single fertilization for maize in Jilin maize belt [J]. J. Jilin Agric. Univ., 2008, 30(3): 301-305.

[17] 吴景贵,任成礼,代静玉,等. 玉米一次性分层施肥技术研究[J]. 土壤肥料,1995,(1):29-31.
Wu J G, Ren C L, Dai J Y *et al*. Study on the technique of single layered fertilization of maize [J]. Soils Fert., 1995, (1): 29-31.

[18] 高强,李德忠,汪娟娟,等. 春玉米一次性施肥效果研究[J]. 玉米科学,2007,15(4):125-128.
Gao Q, Li D Z, Wang J J *et al*. Effects of single fertilization for spring Maize[J]. J. Maize Sci., 2007, 15(4): 125-128.

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

[20] 冯学民,向春阳,田秀萍,等. 黑龙江省几个玉米杂交种氮效率差异的分析[J]. 黑龙江八一农垦大学学报,2004,16(1):1-6.
Feng X M, Xiang C Y, Tian X P *et al*. Analysis of nitrogen efficiency differences among several maize hybrids of Heilongjiang province[J]. J. Heilongjiang Aug. First Recl. Univ., 2004, 16(1): 1-6.

[21] 王启现. 夏玉米氮肥高效利用机制研究及周年氮素分析[D]. 北京:中国农业大学博士学位论文,2004.
Wang Q X. Efficiency usage of nitrogen fertilizer in summer maize and annual soil-plant N balance under wheat-maize system [D]. Beijing: PhD dissertation, China Agricultural University, 2004.

[22] 王小燕,沈永龙,高春宝,等. 氮肥后移对江汉平原小麦子粒产量及氮肥偏生产力的影响[J]. 麦类作物学报,2010,30(5):896-899.
Wang X Y, Shen Y L, Gao C B *et al*. Effects of postponing N application on grain yield and partial factor productivity of wheat in Jianghan Plain[J]. J. Trit. Crops, 2010, 30(5): 896-899.

[23] 刘新宇,巨晓棠,张丽娟,等. 不同施氮水平对冬小麦季化肥氮去向 及土壤氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报,

2010,16(2): 296-300.
Liu X Y, Ju X T, Zhang L J *et al*. Effect of different N rates on fate of N fertilizer and balance of soil N of winter wheat [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(2): 296-300.

[24] 徐祥玉,张敏敏,翟丙年,等. 施氮对不同基因型夏玉米干物质累积转移的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15 (4): 786-792.
Xu X Y, Zhang M M, Zhai B N *et al*. Effects of nitrogen application on dry matter accumulation and translocation of different genotypes of summer maize [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(4): 786-792.

[25] 金继运,何萍. 氮钾营养对春玉米后期碳氮代谢与粒重形成的影响[J]. 中国农业科学,1999,32(4): 55-62.
Jin J Y, He P. Effect of N and K nutrition on post metabolism of carbon and nitrogen and grain weight formation in maize [J]. Sci. Agric. Sin., 1999, 32(4): 55-62.

[26] 杜金哲,李文雄,胡尚连,刘锦红. 春小麦不同品质类型氮的吸收、转化利用及与子粒产量和蛋白质含量的关系[J]. 作物学报,2001,27(2): 253-260.
Du J Z, Li W X, Hu S L *et al*. Nitrogen assimilation, transfer and utilization in relation to grain protein content and yield of spring wheat genotypes differing in quality [J]. Acta Agron. Sin., 2001, 27(2): 253-260.

[27] 李华,王朝辉,李生秀. 地表覆盖和施氮对冬小麦干物质和氮素积累与转移的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2008,14 (6): 1027-1034.
Li H, Wang Z H, Li S X. Effect of soil surface mulching and N rate on dry matter and nitrogen accumulation and translocation of winter wheat[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2008, 14(6): 1027-1034.

[28] 陈国平. 玉米的干物质生产与分配(综述) [J]. 玉米科学, 1994, 2(1): 48-53.
Chen G P. The dry matter production and distribution of maize (review) [J]. Maize Sci., 1994, 2(1): 48-53.

[29] Sainz H R, Echeverria H E, Barbie A. Nitrogen balance as affected by application time and nitrogen fertilizer rate in irrigated no-tillage maize[J]. Agron. J., 2004, 96: 1622-1631.

[30] 李文娟,何萍,金继运. 钾素营养对玉米生育后期干物质和养分积累与转运的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15 (4): 799-807.
Li W J, He P, Jin J Y. Potassium nutrition on dry matter and nutrients accumulation and translocation at reproductive stage of maize [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2009, 15(4): 799-807.

[31] 杨俊刚,高强,曹兵,等. 一次性施肥对春玉米产量和环境效应的影响[J]. 中国农学通报,2009,25(19): 123-128.
Yang J G, Gao Q, Cao B *et al*. Effect of single fertilization on spring maize yield and environment [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2009, 25(19): 123-128.