植物营养与肥料学报 2013,19(5):1073-1082
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2013.0506

一次性施肥对长江中游春玉米产量及养分利用效率的影响

葛均筑[1,2],展 茗[1*],赵 明[2*],李建鸽[1,2],李淑娅[1,2],田少阳[1]
(1 农业部长江中游作物生理生态与耕作重点实验室/华中农业大学植物科技学院,湖北武汉 430070;
2 农业部作物生理生态重点实验室/中国农业科学院作物科学研究所,北京 100081)

摘要: 通过大田试验,研究了一次性施肥方式对长江中游春玉米产量及养分吸收、转运和利用的影响。研究结果表明,一次性施肥方式与农民常规施肥方式相比,产量差异不显著,经济效益提高 1429～1725 Yuan/hm^2。一次性施肥方式降低春玉米花前干物质积累量,但中后期干物质积累速率加快,全生育期内春玉米干物质积累量及花后干物质对产量贡献率,与农民习惯施肥方式差异不显著。与农民习惯施肥相比,一次性施肥显著降低了春玉米生育前期(拔节期)氮、磷、钾素积累量,生育中后期玉米养分积累速率加快,成熟期氮、磷、钾素积累量差异不显著;一次性施肥方式对春玉米氮素转运和利用效率的影响不显著;一次性施肥减少磷素和钾素的投入,但并不影响春玉米整个生育期磷素和钾素的积累和转运,同时显著提高了磷素和钾素的养分利用效率。

关键词: 春玉米; 一次性施肥; 产量; 养分利用效率
中图分类号: S513.062 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)05-1073-10

Effects of single basal fertilization on yield and nutrient use efficiencies of spring maize in the Middle Reaches of Yangtze River

GE Jun-Zhu[1,2], ZHAN Ming[1*], ZHAO Ming[2*], LI Jian-ge[1,2], LI Shu-ya[1,2], TIAN Shao-yang[1]
(*1 MOA Key Laboratory of Crop Physiology, Ecology and Cultivation (The Middle Reaches of the Yangtze River)/ College of Plant Science and Technology, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China; 2 MOA Key Laboratory of Crop Physiology and Ecology/Institute of Crop Sciences, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: A field experiment was conducted to study the effects of single basal fertilization on yield, nutrient accumulation, translocation and use efficiency of spring maize in the Middle Reaches of Yangtze River. The results show that the yield difference of spring maize between the single basal fertilization treatment and the conventional fertilization treatment is not significant, while the economic benefit of the single basal fertilization treatment is increased to 1429-1725 Yuan/ha. Compared with the conventional fertilization treatment, the amount of dry matter accumulation before the anthesis is significantly decreased under the single fertilization treatment, while the rate of dry matter accumulation is increased after the anthesis, and the total dry matter accumulation and contribution of the dry matters after the anthesis are not significantly different between the two treatments. Compared with the conventional fertilization treatment, the N, P and K accumulations are significantly decreased before the jointing stage under the single fertilization treatment, however, the differences of N, P and K accumulations by spring maize are not significant at the maturation stage because the rate of nutrient accumulations is increased at the middle and later stages. The N translocation amount, translocation efficiency and use efficiency are not significantly different between the two treatments. The single fertilization treatment has no effect on P and K accumulations and translocations by spring maize in the growth stage, but the P and K use efficiencies are increased because the input

收稿日期: 2013-01-10 **接受日期:** 2013-04-22
基金项目: 湖北省楚天学者科研启动项目(52204-09135);中央高校基本科研业务费专项资金(2010PY018)资助。
作者简介: 葛均筑(1982—),男,山东日照人,博士研究生,主要从事玉米高产生理生态研究。E-mail: gjz0121@126.com
*通信作者 E-mail: zhanming@mail.hzau.edu.cn; zhaomingcau@163.net

is decreased.

Key words: spring maize; single fertilization; yield; nutrient use efficiency

玉米是我国第一大粮食作物,但由于区域间发展不平衡,西南与南方玉米产区特别是长江中游玉米发展水平严重滞后于东北春玉米区和黄淮海夏玉米区,产业发展造成产需矛盾进一步拉大,而提高单产和总产水平是缓解南方玉米产需矛盾、保障国家粮食安全的根本途径[1]。作物产量提高过程中肥料贡献率超过40%[2-3],但随肥料投入的增加,其利用效率逐渐下降,我国玉米肥料生产效率由13.8 kg/kg下降至11.5 kg/kg[4],在浪费资源的同时增加了环境负担[5]。当前,由于劳动力成本提高,我国玉米生产劳力机会成本达334元/t,比美国高250元左右,玉米简化施肥或一次性施肥已成为一种趋势[6-7],高强等[8]调查表明吉林省玉米一次性施肥面积占到玉米总面积的62.5%。针对一次性施肥方式对玉米产量、氮肥效应及氮素平衡的影响,在东北春玉米区[9-10]和黄淮海夏玉米区[6-7,11-13]研究较多。但不同研究者观点不同,王宜伦[7]和安景文[14]研究表明一次性施肥有助于生育后期氮素供应,有利于籽粒灌浆,提高产量和氮肥利用效率,而高强[15]研究表明一次性施肥显著降低了玉米的产量,研究结果差异可能是由于研究者所施用的肥料类型、土壤质地以及生态区等因素差异造成的。因此,一次性施肥方式及其对玉米产量及养分吸收利用规律的影响仍有待深入系统地研究。

西南和南方玉米区特别是长江中游平原区关于玉米养分吸收利用规律和一次性施肥方式对玉米产量及肥料利用的研究鲜见报道。为此,本研究结合长江中游玉米种植特点,开展一次性施肥方式对春玉米产量及养分吸收利用规律影响的研究,旨在探明一次性施肥对长江中游春玉米养分吸收利用规律的影响,明确一次性施肥在春玉米上的效应,以期为本区域春玉米合理施肥和简化栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2010年4月至8月,在湖北省仙桃市武旗村(30°37′N,113°45′E,Wuqi)和武汉市汉南区邓南村(30°43′N,114°96′E,Dengnan)进行。试验田土壤基础性状见表1,玉米生育期内降水量和日均温见图1。

表1 试验点土壤基础性状

Table 1 The basic nutrient characters of the tested soils

试验点 Location	pH	有机质 OM	全氮 Total N	铵态氮 NH_4^+-N	硝态氮 NO_3^--N	速效磷 Avail. P	速效钾 Avail. K
		(g/kg)		(mg/kg)			
武旗村 Wuqi	7.04	15.5	0.90	0.68	14.34	7.46	115.65
邓南村 Dengnan	6.9	16.15	1.05	0.72	16.14	9.24	121.72

试验设3个处理:1)不施肥(F_0),全生育期不施任何肥料;2)常规施肥(F_{ck}),尿素587 kg/hm^2(底肥、拔节肥、开花肥按3:5:2比例追施),过磷酸钙1250 kg/hm^2(全部底肥)、氯化钾300 kg/hm^2(按底肥和开花肥7:3比例追施);3)一次性施肥(F_1),于播前整地时一次性施入复合肥1350.0 kg/hm^2。。单质化肥分别为尿素(含N 46%)、过磷酸钙(含P_2O_5 12%)和氯化钾(含K_2O 60%),一次性施肥复合肥由住商肥料(青岛)有限公司提供($N-P_2O_5-K_2O$为20-9-11)。

供试玉米品种为登海9号,种植密度为60 000 plant/hm^2,40+80 cm大小行人工开沟标尺摆播,小区宽6 m,长7 m,为10行区,每处理3次重复,小区随机区组排列。吴旗村于4月17日播种,8月9日收获,邓南村于4月16日播种,8月7日收获。

大田管理采用高产玉米栽培管理方法进行。播种前做好厢沟,厢宽为90 cm,沟宽为30 cm,四周做好围沟,以利于排水防渍。播后苗前用除草剂农药混配进行土壤封闭除草和灭地老虎等地下害虫。出苗后于三叶期间苗[16]、五叶期定苗,根据叶相留匀苗、壮苗;12叶期用辛硫磷颗粒剂丢心,防治玉米螟和蚜虫;在玉米达到生理成熟时收获。

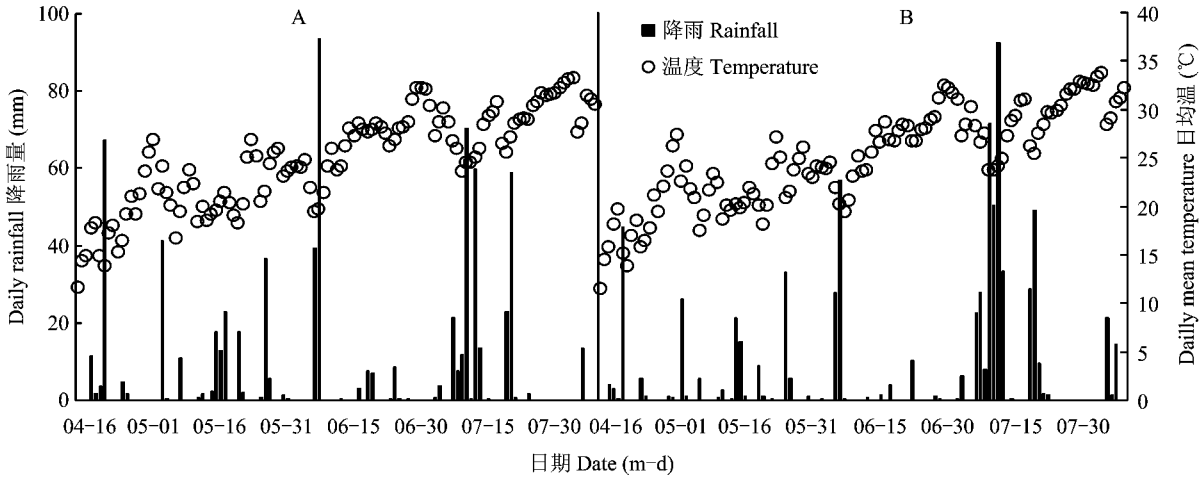

图 1　春玉米生育期间降水量与日均温(A 为武旗村,B 为邓南村)

Fig. 1　The daily rainfall and daily mean temperature of the experiment site during the growing period of spring maize (A: Wuqi village, B: Dengnan village)

1.2　测定项目与计算

每小区分别于拔节期、开花期、完熟期[16]取代表性的样株 3 株,分茎鞘、叶、穗轴和籽粒(完熟期),105℃下杀青 30 min,75℃烘干至恒重,称重后磨粉保存待测。采用浓 H_2SO_4-H_2O_2 消煮—蒸馏定氮法测定植株氮含量,钼锑抗比色法测定植株磷含量、火焰光度法测定植株钾含量[17]。

收获时各小区两头去 2 m,收获中间 2 行,分别装入尼龙网袋,晒干脱粒称重,测定含水率,以 14% 重量折算产量。另连续取 30 穗玉米进行考种,调查穗长、穗行数、穗粒数、行粒数和千粒重等。

1.3　指标计算和统计方法[18-20]

植株总干物质积累量(Total dry matters, TDM, kg/hm^2) = 成熟期单株总干重 × 成熟期实收株数

花后群体干物质积累量(Amount of dry matters of groups after anthesis, ADMGA, kg/hm^2) = 成熟期群体干物质积累量 - 开花期群体干物质积累量

花后群体干物质贡献率(Contribution proportion of the dry matters groups after anthesis, CPDMGA, %) = 开花后群体干物质积累量/成熟期群体干物质积累量 × 100

养分积累量(Total accumulation amount in plant, TAA, kg/hm^2) = 成熟期单株干重 × 成熟期植株养分含量 × 成熟期实收株数

养分收获指数(Havest index, HI) = 籽粒养分含量/植株养分含量

养分吸收量(Absorbed amount, AA, kg/1000 kg) = 养分积累量 × 1000/产量。

营养器官养分转运量(Translocation amount, TA, kg/hm^2) = 开花期营养体养分积累量 - 成熟期营养体养分积累量

养分转运率(Translocation efficiency, TE, %) = 营养器官养分转运量/开花期营养体养分积累量 × 100

养分转运对籽粒贡献率(Contribution proportion, CP, %) = 营养器官养分转运量/成熟期籽粒养分积累量 × 100

养分利用率(Recovery efficiency, RE, %) = (施肥区植株养分积累量 - 不施肥区植株养分积累量)/养分施用量 × 100

养分偏生产力(Partial factor productivity, PFP, kg/kg) = 小区籽粒产量/养分施用量

养分农学利用效率(Agronomic use efficiency, AUE, kg/kg) = (施肥小区籽粒产量 - 不施肥小区籽粒产量)/养分施用量

1.4　数据分析

采用 Microsoft Excel 2003 与 SPSS 16.0 软件 LSD 法进行方差分析和显著性检验。

2　结果与分析

2.1　施肥方式对长江中游春玉米产量的影响

由表 2 可知,长江中游春玉米施肥后籽粒产量提高 46.3%～68.2% ($P < 0.05$)。与农民习惯施肥(F_{ck})相比,一次性施肥方式(F_1)春玉米籽粒产量略有提高,但未达显著差异。施肥方式对春玉米穗粒数和百粒重无显著影响。试验点间表现为,邓南

村点春玉米产量显著高于武旗点，F_0 处理产量提高17.9%，F_1 和 F_{ck} 处理产量仅提高4.4%和2.6%，主要原因可能是邓南点土壤基础肥力高于武旗点，说明施肥会降低试验点之间的产量差异。

节本增效是玉米轻简化栽培的主要目的，由表2可以看出，施肥可提高春玉米经济效益12.58%～37.29%，两试验点 F_1 处理比 F_{ck} 分别增加574和229元/hm^2，增效比为5.22%和1.93%。

表2 施肥方式对长江中游春玉米产量及其构成因素的影响

Table 2 Effects of fertilizer treatments on grain yield and yield composition of spring maize in Middle Yangtze River

地点 Location	处理 Treatment	籽粒产量 Grain yield (kg/hm^2)	穗粒数 Kernel No. per ear (No./ear)	百粒重 100-grain weight (g)	经济效益 Economic benefit (Yuan/hm^2)
武旗村 Wuqi	F_0	5337 b	282 b	31.8 b	8441
	F_{ck}	8815 a	428 a	34.3 a	11015
	F_1	8977 a	439 a	34.1 a	11589
邓南村 Dengnan	F_0	6291 b	330 b	31.8 b	10540
	F_{ck}	9202 a	446 a	34.4 a	11866
	F_1	9207 a	451 a	34.0 a	12095
显著水平 Significant level (*P*)					
处理 Treatment(T)		0.000	0.000	0.000	
地点 Location(L)		0.000	0.383	0.852	
T×L		0.042	0.053	0.824	

注(Note)：不同小写字母表示处理间差异达5%显著水平 Different small letters among treatments mean significant at the 5% level. 经济效益统计为玉米籽粒价格2.2元/kg、玉米种子款为600元/hm^2、农药及用工1200元/hm^2、尿素2250元/吨、过磷酸钙750元/吨、氯化钾3600元/吨、住商肥料($N-P_2O_5-K_2O$:20-9-11)3600元/吨、播种机械用工为1500元/hm^2、追施肥用工为600元/hm^2/次 The economic benefit was calculated with the price of maize in 2011 was 2.2 Yuan/kg, maize hybrid was 600 Yuan/hm^2, pesticides and farmer work were 1200 Yuan/hm^2, N 2250 Yuan/t, P_2O_5 750 Yuan/t, K_2O 3600 Yuan/t, the single basal fertilization 3600 Yuan/t, planter price 1500 Yuan/hm^2, once topdressing work 600 Yuan/hm^2.

2.2 施肥方式对长江中游春玉米干物质积累的影响

表3显示，与 F_0 处理相比，F_1 和 F_{ck} 显著提高长江中游春玉米不同生育时期干物质积累量、花后干物质积累量和花后干物质贡献率。与 F_{ck} 相比，在拔节期两试验点 F_1 处理的春玉米干物质积累量显著降低，但开花期武旗点 F_1 处理的春玉米干物质积累量显著降低，而邓南点却表现为显著增加的趋势，完熟期春玉米干物质积累量在 F_1 与 F_{ck} 间无显著差异。结果表明，长江中游 F_1 处理的春玉米花前干物质积累速率减缓，但花后春玉米干物质积累速率加快，以致成熟期 F_1 处理对春玉米干物质积累量并无影响。施肥方式对花后干物质积累量和花后干物质贡献率无显著影响。

2.3 施肥方式对长江中游春玉米养分吸收特性的影响

随春玉米生长发育的推进，植株氮素积累量逐渐增加(表4)，拔节～开花期是春玉米氮素吸收高峰期，占全生育期氮素积累量的55%～60%，开花～成熟约占27%～32%，拔节前约占11%～14%。与 F_0 相比，施肥处理显著提高春玉米的氮素吸收量。与 F_{ck} 相比，F_1 处理显著降低春玉米拔节前的氮素积累量及出苗～拔节氮素吸收比例(NNAP)；武旗点在玉米开花期 F_1 处理的氮素积累量和拔节～吐丝的氮素吸收比例显著降低，而邓南点 F_1 处理在拔节～吐丝的氮素吸收比例却显著提高；完熟期，F_1 和 F_{ck} 处理间植株氮素积累量差异不显著，但在武旗点 F_1 处理开花～完熟期的氮素吸收比例显著提高。可见，一次性施肥方式虽然降低了春玉米生育前期氮素的吸收利用，但并不影响春玉米生育中后期对氮素的吸收利用。

表 3　施肥方式对长江中游春玉米干物质积累特性的影响

Table 3　Effects of fertilizer treatments on dry matters accumulation of spring maize in Middle Yangtze River

地点 Location	处理 Treatment	干物质积累量 DMA(kg/hm²) 拔节期 Jointing	开花期 Anthesis	完熟期 Maturity	花后干物质积累量 ADMGA (kg/hm²)	花后干物质贡献率 CPDMGA (%)
武旗村 Wuqi	F_0	412.6 c	7016 c	12513 b	5378 b	43.0 b
	F_{ck}	703.3 a	9689 a	18299 a	8610 a	47.1 a
	F_1	603.6 b	9178 b	17923 a	8746 a	48.8 a
邓南村 Dengnan	F_0	463.7 c	7538 b	13890 b	6352 b	45.7 b
	F_{ck}	658.9 a	9448 b	18557 a	9109 a	49.1 a
	F_1	614.9 b	9648 a	18434 a	8786 a	47.7 ab

注(Note)：DMA—Dry matters accumulation；ADMGA—Amount of dry matters of groups after anthesis；CPDMGA—Contribution proportion of the dry matters of groups after anthesis. 不同小写字母表示处理间差异达5%显著水平 Different small letters among treatments mean significant at the 5% level.

表 4　施肥方式对长江中游春玉米养分积累特性的影响

Table 4　Nutrient accumulations and uptake rates of spring maize in Middle Yangtze River

养分 Nutrient	地点 Location	处理 Treatment	养分积累量(kg/hm²) Nutrient accumulation 拔节期 Jointing	开花期 Anthesis	完熟期 Maturity	养分吸收比例(%) Nutrient accumulation Percentage 出苗～拔节 Seedling-Jointing	拔节～开花 Jointing-Anthesis	开花～完熟 Anthesis-Maturity
氮 N	武旗村 Wuqi	F_0	14.9 c	80.0 c	110.5 b	13.5 a	58.8 a	27.7 b
		F_{ck}	27.2 a	142.1 a	196.6 a	13.8 a	58.5 a	27.7 b
		F_1	23.7 b	132.0 b	192.2 a	12.3 b	56.4 b	31.3 a
	邓南村 Dengnan	F_0	16.7 c	90.3 b	125.7 b	13.3 a	58.5 a	28.2 b
		F_{ck}	26.4 a	138.0 a	199.5 a	13.2 a	56.0 b	30.8 a
		F_1	23.5 b	137.8 a	197.6 a	11.9 b	57.8 a	30.3 a
磷 P	武旗村 Wuqi	F_0	1.37 c	15.4 c	25.0 b	5.50 b	56.1 a	38.4 b
		F_{ck}	2.47 a	22.4 a	41.5 a	5.95 a	48.0 b	46.1 a
		F_1	2.09 b	20.8 b	40.3 a	5.20 b	46.5 b	48.3 a
	邓南村 Dengnan	F_0	1.48 b	16.7 c	28.9 b	5.12 a	52.7 a	42.2 b
		F_{ck}	2.33 a	22.1 b	42.2 a	5.52 a	46.9 b	47.6 a
		F_1	2.30 a	23.0 a	43.0 a	5.36 a	48.0 b	46.6 a
钾 K	武旗村 Wuqi	F_0	10.0 c	92.6 c	93.5 b	10.7 c	88.4 a	0.93 c
		F_{ck}	26.7 a	164.1 a	168.7 a	15.8 a	81.4 b	2.75 b
		F_1	19.5 b	154.8 b	166.29 a	11.72 b	81.3 b	6.94 a
	邓南村 Dengnan	F_0	14.8 c	110.6 c	110.7 c	13.4 c	86.5 a	0.16 b
		F_{ck}	29.4 a	172.5 a	177.5 a	16.6 a	80.6 c	2.82 a
		F_1	25.2 b	165.1 b	168.9 b	14.9 b	82.8 b	2.24 a

注(Note)：不同小写字母表示处理间差异达5%显著水平 Different small letters among treatments mean significant at the 5% level.

从表4还可以看出,长江中游春玉米全生育期磷素吸收积累趋势与氮素一致,施肥后春玉米磷素吸收积累量显著提高。F_0 处理在拔节~开花期是磷素吸收高峰期,磷素吸收比例达52.7%~56.1%;F_1 和 F_{ck}处理在拔节~开花期和开花~完熟期两个阶段磷素吸收比例相差不大,为46.1%~48.0%;拔节~开花期春玉米磷素吸收比例施肥处理显著低于不施肥处理 F_0,而开花后磷素吸收比例施肥处理显著高于 F_0,F_1 和 F_{ck}间差异不显著。不同试验点磷素的吸收利用差异显著,在武旗点,F_1 处理比 F_{ck}显著降低春玉米拔节期和吐丝期的磷素吸收累积量及出苗~拔节期的磷素吸收比例;邓南点上,F_1 处理对磷素吸收累积量和磷素吸收比例无显著影响;成熟期春玉米磷素吸收累积量和开花~完熟期磷素吸收比例在 F_1 和 F_{ck}处理间无显著差异。

拔节~吐丝期是长江中游春玉米钾素的吸收高峰期(表4),占全生育期的80%~89%,施肥显著提高春玉米钾素吸收积累量。春玉米拔节期和开花期钾素吸收积累量在两试验点均为 F_1 处理显著低于 F_{ck},至成熟期武旗点表现无显著差异,邓南点 $F_1 < F_{ck}$($P<0.05$)。F_1 处理春玉米出苗~拔节期钾素吸收比例显著低于 F_{ck};拔节~开花期武旗点二者差异不显著,而邓南点 F_1 显著高于 F_{ck};武旗点在开花~成熟期 F_1 处理钾素吸收比例显著高于 F_{ck},而邓南点无差异。可见复合肥一次性底施不利于玉米苗期钾素的吸收,但并不影响中后期对钾素的吸收积累。

2.4 施肥方式对长江中游春玉米养分转运利用效率的影响

养分转运利用效率是反映植株营养器官养分向籽粒输出、形成产量的重要指标。与 F_0 相比,施肥显著提高长江中游春玉米氮素吸收量、氮素转运量和氮素收获指数(表5),但对氮素转运率和氮素转运对籽粒贡献率影响未达显著水平。与 F_{ck}相比,F_1 对长江中游春玉米氮素吸收量、氮素转运量、氮素转运率和氮素转运对籽粒贡献率无显著影响,但显著提高了氮素收获指数。两试验点比较发现,武旗点氮素吸收量显著高于邓南点,而氮素转运量、氮素转运率和氮素转运对籽粒贡献率则显著低于邓南点。在武旗点,与 F_{ck}相比,F_1 处理氮素收获指数显著提高,但在邓南点两处理差异未达显著水平。F_1 和 F_{ck}处理间春玉米氮素养分利用率、氮肥偏生产力和氮肥农学利用效率差异未达显著水平。试验点间氮素养分利用率和氮肥农学利用效率表现为武旗点>邓南点($P<0.05$),而氮肥偏生产力表现为邓南>武旗($P<0.05$)。

由表5还以看出,与 F_0 相比,施肥显著提高了长江中游春玉米的磷素吸收量、磷素转运量和磷素收获指数,却显著降低了磷素转运率和磷素转运对籽粒贡献率。F_1 和 F_{ck}处理对磷素转运利用的影响试验点间具有差异性,磷素吸收量和磷素收获指数在两试验点之间均未表现出差异;武旗点 F_1 处理的磷素转运量、磷素转运率和磷素转运对籽粒贡献率比 F_{ck}显著降低,而邓南点则恰恰相反,为 F_1 显著高于 F_{ck}。武旗点的磷素吸收量和磷素转运对籽粒贡献率显著高于邓南点,而磷素收获指数却显著低于邓南点,磷素转运量和磷素转运率两试验点间无显著差异。长江中游春玉米磷素利用率、磷素偏生产力和磷素农学利用效率在施肥方式间均表现为 F_1 显著高于 F_{ck}。

表5还显示,施肥后长江中游春玉米钾素吸收量和钾素收获指数显著提高,但钾素转运量、钾素转运率和钾素转运籽粒贡献率均未达显著水平。试验点间 F_1 和 F_{ck}处理对钾素转运利用具有差异性,武旗点 F_1 处理的钾素吸收量显著降低,但邓南点 F_1 处理对钾素吸收量无显著影响;F_1 处理对春玉米钾素转运量、钾素转运率和钾素转运籽粒贡献率均无显著影响;武旗点的 F_1 处理钾素收获指数比 F_{ck}显著提高,但邓南点两处理差异不显著。武旗点钾素转运量显著高于邓南点,而钾素收获指数则显著小于邓南点,钾素转运量、钾素转运率和钾素转运籽粒贡献率在两试验点间无差异。F_1 处理显著提高了长江中游春玉米钾素利用率、钾素偏生产力和钾素农学利用效率,且试验点间表现为武旗点显著高于邓南点。

3 讨论

干物质积累是玉米产量形成的基础,适宜肥料配比和施肥方式可提高玉米干物质积累[21-23]。在本试验条件下,一次性施肥减缓长江中游春玉米花前干物质积累速率,但由于花后干物质积累速率加快,对整个生育期干物质积累并无影响。花后干物质产量贡献率反映作物干物质转运状况,本试验表明一次施肥对春玉米花后干物质产量贡献率无影响。蔡红光等[10]连续三年定位试验研究结果表明,一次性施肥与农民习惯施肥相比玉米产量和生物量均无显著差异,与本研究结果一致。

表 5　施肥方式对长江中游春玉米养分转运利用效率的影响

Table 5　Effects of fertilization pattern on nutrient translocations and utilizations of spring maize in Middle Yangtze River

养分 Nutrient	地点 Location	处理 Treatment	养分吸收量 AA (kg/1000 kg)	营养器官养分转运量 TA (kg/hm^2)	养分转运率 TE (%)	养分转运对籽粒贡献率 CP (%)	养分收获指数 HI	养分利用率 RE (%)	养分偏生产力 PFP (kg/kg)	养分农学利用效率 AUE (kg/kg)
氮 N	武旗村 Wuqi	F_0	21.1 b	24.4 b	31.1 b	40.7 a	0.527 c			
		F_{ck}	22.9 a	49.1 a	36.1 a	42.8 a	0.569 b	32.6 a	32.7 a	12.7 a
		F_1	21.7 ab	48.9 a	38.6 a	41.7 a	0.601 a	30.2 b	32.3 a	13.3 a
	邓南村 Dengnan	F_0	19.7 b	41.5 b	48. 9 a	51.3 a	0.651 a			
		F_{ck}	21.6 a	57.1 a	43.6 b	45.8 b	0.628 b	27.6 a	34.1 a	10. 8 a
		F_1	21.3 a	58.7 a	44.7 b	47.4 b	0.631 b	26.8 a	34.1 a	10.8 a
磷 P	武旗村 Wuqi	F_0	4.21 b	11.6 c	68.7 a	66.9 a	0.767 b			
		F_{ck}	4.31 ab	16.1 a	66.8 b	53.8 b	0.789 a	10.2 b	58.8 b	22.9 b
		F_1	4.42 a	14.2 b	63.8 c	45.0 c	0.797 a	14.0 a	72.6 a	29.6 a
	邓南村 Dengnan	F_0	4.13 a	11.4 c	68.8 a	54.9 a	0.801 a			
		F_{ck}	4.22 a	13.9 b	63.2 b	45.1 c	0.792 a	8.6 b	61.4 b	19.4 b
		F_1	4.24 a	15.6 a	68.8 a	49.0 b	0.818 a	10.7 a	75.7 a	24.0 a
钾 K	武旗村 Wuqi	F_0	20.4 b	6.47 a	4.85 a	27.6 a	0.156 c			
		F_{ck}	22.6 a	5.48 a	3.22 a	26.0 ab	0.171 b	49.4 a	49.0 b	19.1 b
		F_1	20.8 b	8.31 a	5.18 a	26.9 a	0.185 a	51.68 a	59.4 a	22.2 a
	邓南村 Dengnan	F_0	19.7 b	5.13 a	4.83 a	25.4 a	0.185 b			
		F_{ck}	21.6 a	7.91 a	5.44 a	24.4 a	0.209 a	41.3 b	51.1 b	16.2 b
		F_1	20.7 ab	6.52 a	4.12 a	21.8 a	0.207 a	44.9 a	62.0 a	19.6 a
					显著水平 Significant level(P)					
氮 N	处理 Treatment(T)		0.001	0.000	0.281	0.679	0.000	0.679	0.479	0.384
	地点 Location(L)		0.001	0.000	0.000	0.003	0.000	0.003	0.009	0.001
	T×L		0.536	0.036	0.001	0.212	0.000	0.212	0.870	0.852
磷 P	处理 Treatment(T)		0.015	0.000	0.007	0.000	0.023	0.000	0.000	0.000
	地点 Location(L)		0.016	0.147	0.521	0.000	0.008	0.000	0.006	0.001
	T×L		0.090	0.000	0.003	0.000	0.164	0.092	0.833	0.462
钾 K	处理 Treatment(T)		0.000	0.534	0.475	0.121	0.000	0.001	0.000	0.000
	地点 Location(L)		0.025	0.910	0.865	0.209	0.000	0.000	0.007	0.001
	T×L		0.477	0.202	0.207	0.185	0.164	0.257	0.859	0.490

注(Note): AA—Absorbed amount; TA—Translocation amount; TE—Translocation efficiency; CP—Contribution proportion; HI—Harvest index; RE—Recovery efficiency; PFP—Partial factor productivity; AUE—Agronomic use efficiency. 不同小写字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Different small letters among treatments mean significant at the 5% level.

氮、磷、钾是作物形成产量的三大元素。研究表明,氮肥后移提高玉米产量和氮素利用率[24],但玉米追肥特别是开花期追肥劳动强度较大,一次性基施肥料(一炮轰)的施肥方式成为东北春玉米区的主要方式[8],战秀梅[9]等的研究结果表明一次性施肥氮素利用率高达49.8%。本研究结果显示,拔节~开花期是春玉米氮素吸收高峰期,一次性施肥方式会降低春玉米拔节前氮素的积累量;在武旗村试验点,一次性施肥显著提高春玉米开花前的氮素积累量,但在邓南村试验点一次性施肥与其它处理间无显著差异,其原因可能是由于两试验点的地力水平有差异,与王永军[25]等的研究结果一致;本研究同时表明,高地力水平可提高春玉米氮素转运量、氮素转运率、氮素转运对籽粒贡献率和氮素收获指数,而降低氮素吸收量。施肥方式对春玉米氮素的转运和利用影响不显著。本研究中一次性施肥方式对春玉米氮素利用效率和氮素农学利用效率无显著影响,这与隽英华[26]等研究结果一致,但与谷佳林等[27]的研究结果不一致,可能原因在于肥料类型和试验条件差异。

磷肥分层深施可提高磷素的吸收量、转移率和利用率[28-29],这方面已有一次性施肥方式的研究,但大多关注对氮素利用和氮素平衡的影响,而对磷素和钾素的报道较少,一次性平衡施肥技术可以提高东北春玉米磷、钾的吸收能力[26]。本研究表明,长江中游春玉米对磷素的吸收高峰期为拔节~完熟期,钾素吸收高峰期与氮素一致为拔节~开花期,一次性施肥减少磷素投入27.5 kg/hm^2,钾素31.5 kg/hm^2,显著提高了春玉米的磷素和钾素利用效率,但并不影响春玉米磷素和钾素的积累量。但在土壤磷含量较低的试验点(武旗村),一次性施肥可显著降低磷素的转运量、转运率和磷素转运对籽粒的贡献率,而在高磷条件下(邓南村试验点)一次性施肥方式则表现为对以上指标的提高效应($P < 0.05$),但对钾素的影响均未达显著水平,结果的差异性有待于进一步研究。

关于玉米一次性施肥技术效果的研究,存在许多争议[6-7, 9, 14-15, 30]。研究表明,在超高产条件下,一次性施用缓/控释肥可促进夏玉米氮素吸收和籽粒灌浆[7],提高玉米生育前期积累同化能力,增产1365 kg/hm^2,增效2032 Yuan/hm^2[9];但高强等[15]的研究结果表明在于旱年份一次性施肥技术降低玉米产量,杨俊刚等[31]研究表明在高肥力条件下一次性施肥玉米产量降低,提高地表径流养分含量,增加农业面源污染源。在本试验条件下,一次性施肥与农民习惯施肥相比产量提高不显著,不同试验点一次性施肥对春玉米产量和经济效益的影响差异较大,可能是由于两试验点基础地力差异造成的[26]。但由于一次性施肥减少施肥劳动成本(1200 Yuan/hm^2),提高经济效益229~525 Yuan/hm^2,若考虑劳动力转移,经济效益则提高至1429~1725 Yuan/hm^2,提高经济效益13.56%~16.12%。

蔡红光等[10]研究表明,一次性施肥方式玉米生长季内土壤氮素损失和土壤残留会因降雨的影响具有差异,高强[8,15]的研究也取得了相同的结果。西南和南方玉米区特别是长江中游平原玉米生长季内降水量偏多,存在季节性渍涝问题,因此一次性施肥方式对氮素损失和面源污染问题需要进一步研究。

总之,在本研究条件下,一次性施肥对长江中游春玉米产量和氮素利用效率无显著影响,但可显著提高磷素和钾素的利用效率,同时由于实现了节约追肥的劳动成本,因此间接地实现了增加玉米生产的效益。但由于有关一次性施肥技术的争议较多,因此在长江中游春玉米上推广一次性施肥技术,及其土壤氮素损失和面源污染方面和长期土壤改良等均需要进一步研究。

参考文献:

[1] 展茗,赵明,刘永忠,等. 湖北省玉米产需矛盾及提升玉米生产科技水平对策[J]. 湖北农业科学,2010,49(4):802-806.
Zhan M, Zhao M, Liu Y Z *et al*. Enhance maize production technology, alleviate the contradiction between production and demands of maize in Hubei Province[J]. Hubei Agric. Sci., 2010, 499(4): 802-806.

[2] 曾宪坤. 中国化肥工业的现状与展望[J]. 土壤学报,1995,32(2):117-125.
Zeng X K. Situation and outlook of fertilizer industry in China [J]. Acta Pedol. Sin., 1995, 32(2): 117-125.

[3] Spalding R F, Exner M E. Occurrence of nitrate in groundwater—A review[J]. J. Environ. Qual., 1993, 22: 392-402.

[4] 李红莉,张卫峰,张福锁,等. 中国主要粮食作物化肥施用量与效率变化分析[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(5):1136-1143.
Li H L, Zhang W F, Zhang F S *et al*.. Chemical fertilizer use and efficiency change of main grain crops in China[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(5): 1136-1143.

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

[6] 王宜伦,李潮海,何萍,等. 超高产夏玉米养分限制因子及养分吸收积累规律研究[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(3):559-566.

Wang Y L, Li C H, He P *et al*. Nutrient restrictive factors and accumulation of super-high-yield summer maize[J]. Plant Nutr. Fert. Sci. 2010, 16(3):559-566.

[7] 王宜伦，李潮海，谭金芳，等. 超高产夏玉米植株氮素积累特征及一次性施肥效果研究[J]. 中国农业科学，2010，43(15)：3151-3158.
Wang Y L, Li C H, Tan J F *et al*. Studies on plant nitrogen accumulation characteristics and the effect of single application of base fertilizer on super-high-yield summer maize[J]. Sci. Agric. Sin., 2010, 43(15):3151-3158.

[8] 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.

[9] 战秀梅，李亭亭，韩晓日. 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. 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.

[10] 蔡红光，米国华，张秀芝，等. 不同施肥方式对东北黑土春玉米连作体系土壤氮素平衡的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2012，18(1)：89-97.
Cai H G, Mi G H, Zhang X Z *et al*. Effect of different fertilizing methods on nitrogen balance in the black soil for continuous maize production in Northeast China[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2012, 18(1)：89-97.

[11] 王永军，王空军，董树亭，等. 氮肥用量、时期对墨西哥玉米产量及饲用营养品质的影响[J]. 中国农业科学，2005，38(3)：492-497.
Wang Y J, Wang K J, Dong S T *et al*. Effects of different nitrogen application strategies on yield and forage nutritive quality of Zea Mexicana[J]. Sci. Agric. Sin., 2005, 38(3)：492-497.

[12] 易镇邪，王璞. 包膜复合肥对夏玉米产量、氮肥利用率与土壤速效氮的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2007，13(2)：242-247.
Yi Z X, Wang P. Effect of coated compound fertilizer on yield, nitrogen use efficiency and soil available nitrogen in summer maize[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2007, 13(2)：242-247.

[13] 王启现，王璞，申丽霞，等. 施氮时期对玉米土壤硝态氮含量变化及氮盈亏的影响[J]. 生态学报，2004,24(8):1582-1588.
Wang Q X, Wang P, Shen L X *et al*. Effect of nitrogen application time on dynamics of nitrate content and apparent nitrogen budget in the soil of summer maize fields[J]. Acta Ecol. Sin., 2004, 24(8)：1582-1588.

[14] 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，2008，8(39)：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. Soi. Sci., 2008, 8(39)：874-877.

[15] 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]. Maize Sci., 2007, 15(4)：125-128.

[16] Ritchie S W. Hanway J J, Benson G. O. How a corn plant develops: Special report No. 48 [R]. Iowa: Iowa State University of Science and technology, Cooperative Extension Service Ames, 1993. 7.

[17] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京：中国农业出版社，2000. 30-33, 56-57, 81-83, 106-107.
Bao S. D. Soil agro-chemistry analysis[M]. Beijing: China Agricultural Publisher, 2000. 30-33, 56-57, 81-83, 106-107.

[18] 刘立军，桑大志，刘翠莲，等. 实时实地氮肥管理对水稻产量和氮素利用率的影响[J]. 中国农业科学，2003，36(12)：1456-1461.
Liu L J, Sang D Z, Liu C L *et al*. Effects of real-time and site-specific nitrogen managements on rice yield and nitrogen use efficiency[J]. Sci. Agric. Sin., 2003, 36(12)：1456-1461.

[19] 霍中洋，葛鑫，张洪程，等. 施氮方式对不同专用小麦氮素吸收及氮肥利用率的影响[J]. 作物学报，2004，30(5)：449-454.
Huo Z Y, Ge X, Zhang H C *et al*. Effect of different nitrogen application types on N-absorption and N-utilization rate of specific use cultivars of wheat[J]. Act. Agr. Sin., 2004, 30(5)：449-454.

[20] 石玉，于振文，王东，等. 施氮量及底追比例对小麦产量、土壤硝态氮含量和氮平衡的影响[J]. 作物学报，2006，32(12)：1860-1866.
Shi Y, Yu Z W, Wang D *et al*. Effects of nitrogen fertilizer rate and ratio of base and topdressing on yield of wheat, content of soil nitrate and nitrogen balance[J]. Act. Agron. Sin., 2006, 32(12)：1860-1866.

[21] 何萍，金继运，林葆，等. 不同氮磷钾用量下春玉米生物产量及其组分动态与养分吸收模式研究[J]. 植物营养与肥料学报，1998，4(2)：123-130.
He P, Jin J Y, Li B *et al*. Dynamics of biomass and its components and models of nutrients absorption by spring maize under different nitrogen, phosphorous and potassium application rates [J]. Plant. Nutr. Fert. Sci., 1998, 4 (2)：123-130.

[22] Wissuwa M. How do plants achieve tolerance to phosphorus deficiency? Small causes with big effects[J]. Plant Physiol., 2003, 133(4)：1947-1958.

[23] 刘淑霞，吴海燕，赵兰坡，等. 不同施钾量对玉米钾素吸收利用的影响研究[J]. 玉米科学，2008，16(4)：172-175.
Liu S X, Wu H Y, Zhao L P *et al*. Effects of different potassium rates on potassium absorption and utilization by maize plant[J]. Maize Sci. 2008, 16(4)：172-175.

[24] 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.

[25] 王永军，孙其专，杨今胜，等. 不同地力水平下控释尿素对玉米物质生产及光合特性的影响[J]. 作物学报，2011，37(12)：2233-2240.
Wang Y J, Sun Q Z, Yang J X *et al*. Effects of controlled-release urea on yield and photosynthesis characteristics of maize (*Zea mays* L.) under different soil fertility conditions[J]. Act. Agron. Sin. 2011, 37(12): 2233-2240.

[26] 隽英华，汪仁，孙文涛，等. 施氮模式对春玉米养分吸收动态的影响[J]. 玉米科学，2011，19(4)：111-124.
Juan Y H, Wang R, Sun W T *et al*. Effect of nitrogen application models on the dynamic of nutrient absorption of spring maize[J]. J. Maize Sci., 2011, 19(4): 111-124.

[27] 谷佳林，王崇旺，李玉泉，等. 包膜尿素氮素释放特性及其采用接触式施肥对春玉米生长的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2010，16(6)：1486-1491.
Gu J L, Wang C W, Li Y Q *et al*. Nitrogen release characteristics of coated urea and its effect on spring maize with touching application[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2010, 16(6): 1486-1491.

[28] 赵亚丽，杨春收，王群，等. 磷肥施用深度对夏玉米产量和养分吸收的影响[J]. 中国农业科学，2010，43(23)：4805-4813.
Zhao Y L, Yang C S, Wang Q *et al*. Effects of phosphorus placement depth on yield and nutrient uptake of summer maize [J]. Sci. Agric. Sin., 2010, 43(23): 4805-4813.

[29] Mallarino A P, Bordoli J M, Borges R. Phosphorus and potassium placement effects on early growth and nutrient uptake of no-till corn and relationships with grain yield[J]. Agron. J., 1999, 91: 37-45.

[30] 王宜伦，李潮海，谭金芳，等. 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.
Wang Y L, Li C H, Tan J F *et al*. The effect of postponing nitrogen application on yield and nitrogen absorption of super-high yielding summer maize[J]. Acta. Agron. Sin., 2011, 37(2): 339-347.

[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.