

孙笑梅,武庆慧,李宏杰,等.一次性施用减氮增磷钾配方肥对夏玉米产量和养分利用效率的影响[J].华中农业大学学报,2022,41(2):54-60.  
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.02.007

## 一次性施用减氮增磷钾配方肥对夏玉米产量 和养分利用效率的影响

孙笑梅<sup>1</sup>,武庆慧<sup>2</sup>,李宏杰<sup>3</sup>,黄玉芳<sup>3</sup>,赵亚南<sup>3</sup>,叶优良<sup>3</sup>

1. 河南省土壤肥料站,郑州450002; 2. 中国农业大学资源与环境学院,北京100193;  
3. 河南农业大学资源与环境学院,郑州450002

**摘要** 为研究不同配方复合肥在夏玉米上一次性施用的效果,采用大田试验,设置30-5-5、33-5-8、28-7-9、27-7-12、28-11-10、29-6-10配方处理,分析其对玉米产量和构成因素、穗部性状、养分累积量、养分利用效率和经济效益的影响。结果显示,4个减氮增磷钾配方(28-7-9、27-7-12、28-11-10、29-6-10)玉米籽粒产量均超过10.5 t/hm<sup>2</sup>,比高氮配方33-5-8和30-5-5分别增产6.3%~9.5%和7.0%~10.2%。与2个高氮配方相比,其余4个减氮增磷钾配方均表现出玉米穗部秃尖长降低、缺粒数减少、结实率提高。减氮增磷钾配方的养分收获指数、内部利用效率和氮肥偏生产力高于高氮配方处理。减氮增磷钾配方的总收益和净收益比配方30-5-5增加4.6%~6.9%和6.1%~9.7%,比配方33-5-8增加9.3%~11.7%和19.3%~23.4%。结果表明,本研究条件下,夏玉米配方肥一次性施用,减氮增磷钾配方的产量、养分利用效率和经济收益优于高氮配方的。

**关键词** 配方肥; 玉米; 一次性施肥; 养分利用率; 化肥增效; 合理配方; 高产高效

**中图分类号** S147.2; S513 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)02-0054-07

玉米是我国主要粮食作物之一,我国农户在玉米种植过程中,存在氮磷钾养分比例不合理、施肥方式粗放、底肥施用量大、追肥比例小等现象,一些地方农户“一炮轰”的施肥方式非常普遍,这是造成肥料利用率偏低的重要原因<sup>[1]</sup>。此外,我国农业生产存在地块面积小、土地分散经营、小农户管理的特点,导致我国粮食生产方式以费时耗力的劳动密集型为主,因此,节本、省工、高产、高效的轻简化农业管理方式越来越受到重视<sup>[2]</sup>。由于玉米生育期较短,关于玉米一次性施肥的研究越来越多,通过控释技术和改进施肥方法等措施,可以在一次性施肥下实现玉米高产和养分高效利用<sup>[3-4]</sup>。

近年来,我国农户在肥料施用过程中,通过复合肥投入的养分比例越来越高,在这种趋势下设计合理的肥料配方对于保障粮食产量、促进科学施肥具有重要意义<sup>[5-6]</sup>。有研究表明,养分配比会影响作物的产量<sup>[7-8]</sup>。安景文等<sup>[9]</sup>在辽宁省应用不同氮磷钾用量配比对玉米进行一次性深施肥试验,发现施用包膜尿素、增施钾肥和一次性深施肥能提高氮肥利用

率;吴良泉等<sup>[10]</sup>根据我国不同生态区域的气候、栽培和土壤条件差异,将我国玉米主产区划分为4个大区和12个施肥亚区,并在养分推荐用量基础上针对12个亚区确定了12个基追结合施肥下的配方和4个一次性施肥配方。

河南省是我国农业大省,玉米种植面积和产量在全国占据重要地位。但针对河南省不同地区玉米施肥调研发现,玉米种植存在氮肥用量偏高和磷钾施用不足等现象,同时肥料一次性施用现象比较普遍<sup>[11]</sup>。针对河南省玉米氮素需求和施氮量的估算表明,河南省玉米生产具有很大的节氮潜力<sup>[12]</sup>;张国合等<sup>[13]</sup>研究了夏玉米主产区土壤理化性状也认为,玉米施肥应控氮减磷补钾。复合肥是玉米养分投入的载体,但关于玉米配方肥一次性施用效果对比的研究较少。本研究通过田间试验,分析不同肥料配方一次性施用对夏玉米养分吸收利用、产量、经济效应的影响,旨在明确不同配方在夏玉米上的施用效果,为肥料配方优化和一次性施肥提供参考依据。

收稿日期: 2021-11-18

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD0200601);河南省高等学校重点科研项目(21A210022)

孙笑梅, E-mail: sunxm9@126.com

通信作者: 叶优良, E-mail: ylye2004@163.com

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于2017年6—10月在河南省颍县杜曲镇(33°47'N, 113°50'E)开展,土壤类型为潮土,质地为轻黏壤,前茬作物为小麦。试验前0~20 cm耕层土壤理化性质为:pH 7.3,有机质 23.5 g/kg,全氮 1.68 g/kg,速效磷(Olsen-P) 10.0 mg/kg,速效钾(NH<sub>4</sub>OAc-K) 80.0 mg/kg。

### 1.2 试验设计

本试验设置6个肥料配方,配方肥实物用量保持

一致,通过养分配比的差异调控氮、磷、钾养分投入量和比例,因此,各处理间养分投入总量和比例并不一致(表1)。其中,30-5-5和33-5-8为当地农户常用的高氮配方,28-7-9是农业农村部发布的华北夏玉米区一次性施肥配方<sup>[14]</sup>,27-7-12在28-7-9基础上提高钾肥用量,28-11-10和29-6-10为高磷和低磷配方。

每个处理3次重复,共18个小区,随机区组排列,小区长、宽均为8 m。各配方肥施用量均为750 kg/hm<sup>2</sup>,种肥同播一次性基施。玉米品种为登海605,种植密度为66 000株/hm<sup>2</sup>,于2017年6月15日播种,2017年6月23日出苗,2017年9月28日收获。

表1 试验处理及养分投入量

处理 Treatment	配方类型 Formula type	配方 Formula	氮 N	磷 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	钾 K <sub>2</sub> O
1	农户习惯高氮配方 Farmer's formula with high N fertilizer	30-5-5	225.0	37.5	37.5
2	农户习惯高氮配方 Farmer's formula with high N fertilizer	33-5-8	247.5	37.5	60.0
3	区域推荐配方 Regional recommended formula	28-7-9	210.0	52.5	67.5
4	区域推荐配方+增钾 Regional recommended formula with increasing K fertilizer	27-7-12	202.5	52.5	90.0
5	区域推荐配方+高磷 Regional recommended formula with high P fertilizer	28-11-10	210.0	82.5	75.0
6	区域推荐配方+低磷 Regional recommended formula with low P fertilizer	29-6-10	217.5	45.0	75.0

### 1.3 样品采集与测定

玉米播种后8 d出苗,分别在出苗后22 d(拔节期)、37 d(大喇叭口期)、49 d(抽雄期)、71 d(灌浆期)、102 d(成熟期)随机选取5株玉米,在105℃下杀青30 min,80℃下烘干至恒质量,然后称取质量。烘干后的植株样品粉碎,采用常规方法测定养分含量,浓硫酸-过氧化氢消解获取植株待测液,凯氏定氮法(海能D9840)测定氮含量、钒钼黄比色法(元析UV-5100)测定磷含量、火焰光度计法(元析FP640)测定钾含量<sup>[15]</sup>。

### 1.4 产量与产量构成

在玉米收获期,每个小区连续收获40株装入网袋中,脱粒后称质量,然后用谷物水分测定仪(农奥LDS-1G)测定含水量,按照含水量13%的标准换算玉米产量。同时,选出长势均匀、具有代表性的10个玉米穗,分别测定穗粗、穗长、秃尖长、穗行数、行粒数、千粒重等指标<sup>[16]</sup>。

### 1.5 指标计算

本研究采用养分收获指数、养分内部效率、肥料

偏生产力来评价玉米氮、磷、钾利用率。以氮为例,氮素收获指数(nitrogen harvest index, NHI)、氮素内部效率(nitrogen internal efficiency, NIE)、氮肥偏生产力(nitrogen partial factor productivity, NPFP)计算公式<sup>[17]</sup>如下:

$$\text{氮素收获指数} = \text{籽粒氮累积量} / \text{植株氮总累积量} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{氮素内部效率} = \text{籽粒产量} / \text{植株氮总累积量} \quad (2)$$

$$\text{氮肥偏生产力} = \text{籽粒产量} / \text{氮肥用量} \quad (3)$$

磷素收获指数(PHI)、磷素内部效率(PIE)、磷肥偏生产力(PPFP)以及钾素收获指数(KHI)、钾素内部效率(KIE)、钾肥偏生产力(KFPF)计算同上。

采用肥料成本、总收入、净收益评价不同配方处理下的经济效益,其中净收益为总收益除去肥料、种子、灌水、农药、机械等成本投入。

$$\text{净收益(元/hm}^2\text{)} = \text{籽粒产量} \times \text{粮食价格} - \text{肥料用量} \times \text{肥料价格} \quad (4)$$

式(4)中,玉米收购单价为1.6元/kg;氮、磷、钾投入按4.5元/kg N、4.8元/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、5.6元/kg K<sub>2</sub>O计。

### 1.6 数据处理

采用Microsoft Excel 2016整理数据和制图;用

SPSS 20.0 进行统计分析,处理间差异采用单因素方差分析,Duncan's法进行多重比较( $\alpha=0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 籽粒产量

由表2可见,不同配方处理下,配方33-5-8的玉米产量最低,其次为30-5-5,二者显著( $P<0.05$ )低于其他配方。配方33-5-8和30-5-5的籽粒千粒重显著较低,且配方33-5-8的穗粒数低于其他配方处理。配

方27-7-12的玉米穗长显著低于29-6-10和30-5-5,而不同配方间玉米穗粗、行数、行粒数差异均不显著。相对于2个高氮配方,4个增磷钾配方降低了玉米秃尖长和缺粒数,提高了结实率。配方28-7-9穗部秃尖长最小,其次为27-7-12,配方33-5-8秃尖长最大。30-5-5和33-5-8处理缺粒数均高于其他处理,而籽粒结实率低于其他处理。总体来看,与高氮配方(33-5-8和50-5-5)相比,4个增磷钾配方提高了玉米产量,主要是增加了穗粒数和千粒重。

表2 不同配方处理下的玉米产量、产量构成、穗部性状

Table 2 Maize yield, yield components and ear traits under different formulas

处理 Treatment	籽粒产量/ (t/hm <sup>2</sup> ) Grain yield	穗数/ (10 <sup>4</sup> /hm <sup>2</sup> ) Spike No.	穗粒数 Grain per spike	千粒重/g 1 000 kernel weight	穗长/cm Spike length	穗粗/cm Spike width	穗行数 Kernel row number	行粒数 Kernel number per row	秃尖长/cm Bald tip length	缺粒数 Lack of grain number	结实率/% Seed setting rate
30-5-5	10.2ab	6.5a	578.9ab	337.1b	24.5a	4.9a	16.0a	37.5a	1.8bc	37.8a	90.9c
33-5-8	9.7b	6.5a	558.2b	337.9b	23.6ab	4.9a	15.6a	38.2a	2.1a	36.9a	93.8b
28-7-9	10.7a	6.7a	597.0a	346.9a	24.1ab	5.0a	16.0a	38.9a	1.6d	24.4c	96.1a
27-7-12	10.9a	6.6a	575.6ab	345.9a	23.2b	5.0a	15.9a	38.1a	1.7cd	22.0c	96.3a
28-11-10	10.8a	6.5a	564.6ab	345.2ab	24.2ab	5.0a	15.7a	37.8a	1.8bc	32.6b	95.4a
29-6-10	10.7a	6.5a	564.9ab	346.4a	24.6a	5.0a	15.6a	38.5a	1.9ab	35.2ab	94.1b

注:不同小写字母表示在不同配方处理下达到显著性差异( $P<0.05$ )。Note: Different small letters indicate the significant difference among different formula treatments ( $P<0.05$ ).

### 2.2 养分吸收

玉米氮磷钾养分累积量随着其生长发育逐渐增加,在大喇叭口期前氮素累积速率较慢,累积量较低,之后迅速增加(图1)。在拔节期,配方27-7-12的氮磷钾累积量均低于其他处理,配方33-5-8和28-11-10氮素累积量较高;配方27-7-12磷素累积量较低,其次29-6-10;配方28-11-10钾素累积量最高。在抽雄期,配方27-7-12氮素累积最高,其次为33-5-8,29-6-10最低;磷素累积量最高的为28-11-10,35-5-8和29-6-10较小;27-7-12的钾素累积较高,30-5-5最低。

在灌浆期,氮素累积量最大为28-11-10,其次为30-5-5,最小的处理为27-7-12;磷素累积量差异相对较小。成熟期各处理氮素累积量为236.5~246.1 kg/hm<sup>2</sup>,处理间差异性不显著;磷素累积量为75.4~86.1 kg/hm<sup>2</sup>,处理30-5-5、29-6-10、28-7-9的磷素吸收相对高于其他3个处理;钾素累积量245.9~263.4 kg/hm<sup>2</sup>,以28-11-10较低。可以看出,不同配方处理玉米养分吸收量在生育前期差异相对较小,在生育后期高氮配方并没有提高玉米氮素吸收,且33-5-8处理的磷钾养分吸收较增磷钾配方偏低。

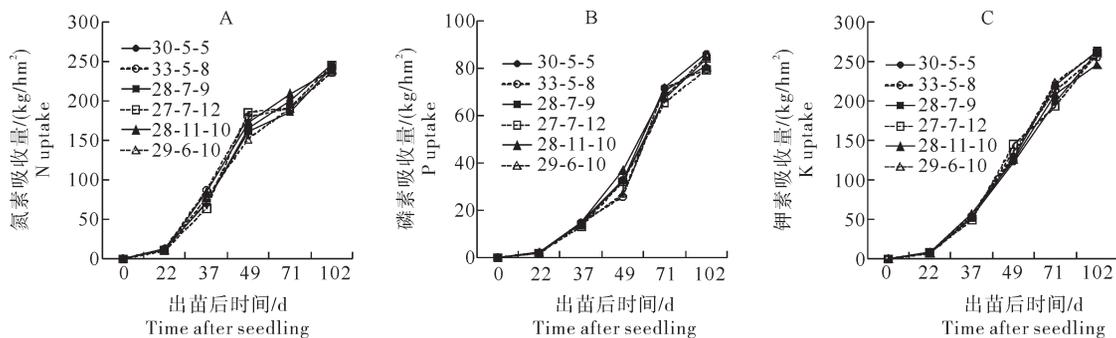


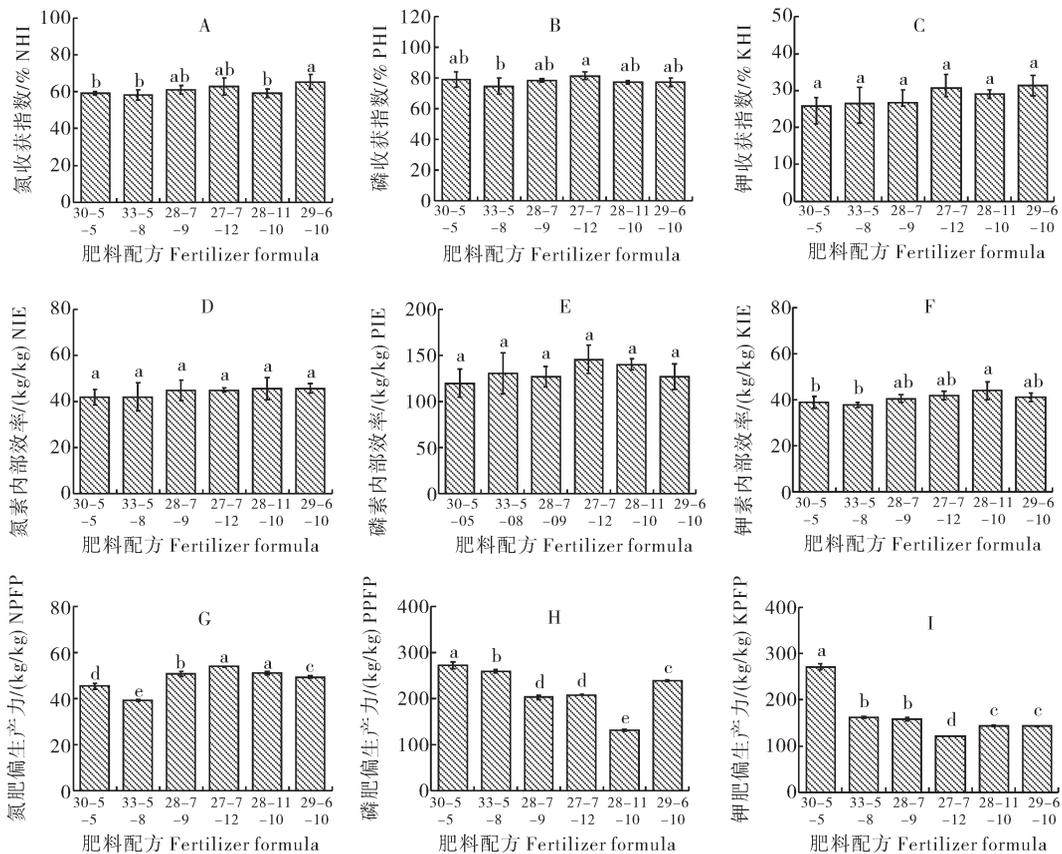
图1 不同配方处理下玉米氮(A)、磷(B)、钾(C)累积

Fig.1 N (A), P (B) and K (C) accumulation of maize under different formulas

### 2.3 养分利用率

玉米氮磷钾收获指数分别为60.9%、78.0%、28.4%，不同处理间33-5-8和30-5-5两个高氮配方的氮磷钾收获指数低于其他4个增磷钾配方。配方29-6-10的氮收获指数最高，显著高于33-5-8、30-5-5、28-11-10；配方28-7-9的磷收获指数显著高于33-5-8；配方27-7-12、29-6-10、28-11-10的钾收获指数高于其他处理(图2A、B、C)。玉米氮磷钾素内部效率分别为41.9~45.7、119.7~145.6、37.8~43.9 kg/kg，平均值为44.2、131.7、40.7 kg/kg。高氮配方30-5-5和33-5-8的氮素内部效率较低；配方27-7-12和28-11-10的磷素内部效率较高，30-5-5相对较低；处理为33-5-8

和30-5-5的钾素内部效率显著低于28-11-10，其他处理间差异不显著(图2D、E、F)。不同配方之间肥料偏生产力差异很大：配方33-5-8和30-5-5的氮肥偏生产力显著低于其他4个增磷钾配方，而磷肥偏生产力显著低于其他4个增磷钾配方，而磷肥偏生产力低于其他处理，其中增磷配方28-11-10最低；配方30-5-5的钾素比例最低，因此其钾肥偏生产力高于其他处理，而高钾配方27-7-12最低(图2G、H、I)。综合不同指标来看，增磷钾处理提高了玉米养分向籽粒的转运(收获指数)和利用效率(单位养分形成的产量)，同时提高氮肥偏生产力；但磷肥和钾肥投入量相对较高导致磷钾偏生产力降低。



不同小写字母表示在不同配方处理下达到显著性差异( $P < 0.05$ )。Different letters indicate the significant difference of under different formulas treatments ( $P < 0.05$ ).

图2 不同配方处理下玉米的氮磷钾收获指数(A、B、C)、内部效率(D、E、F)和偏生产力(G、H、I)

Fig. 2 NPK harvest index (A,B,C), internal efficiency (D,E,F) and partial factor productivity (G,H,I) under different formulas

### 2.4 经济效益

不同配方下夏玉米的毛收入为16 501~18 527元/hm<sup>2</sup>，其中33-5-8和30-5-5低于其他增磷钾处理。肥料成本为1 403~1 761元/hm<sup>2</sup>，28-11-10相对最高，而30-5-5成本最低。除去肥料、种子、机械、人工

后，净收益为8 496~9 848元/hm<sup>2</sup>，配方33-5-8最低，其次为30-5-5，其他4个增磷钾处理比30-5-5增收6.5%~9.7%，比33-5-8增收19.3%~20.8%。

以上表明，尽管配方30-5-5的肥料投入略低，但相对于30-5-5和33-5-8两个高氮配方，其他增磷钾

配方的毛收益和净收益均明显提高,实现增产增收。

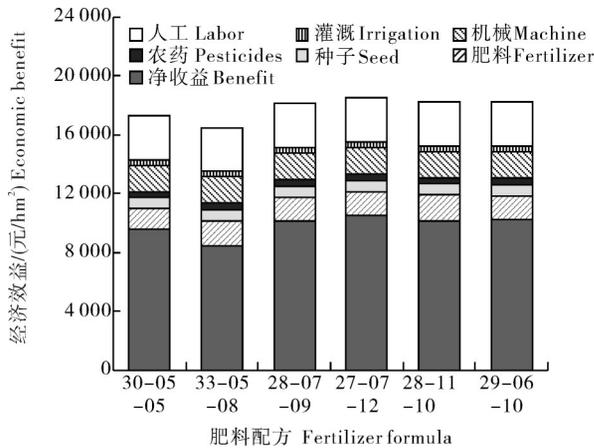


图3 不同配方处理下的玉米经济效益

Fig. 3 Economic benefits of maize under different formulas

### 3 讨论

一次性施肥有助于促进粮食生产轻简化和机械化管理。玉米是生育期较短的作物,关于玉米一次性施肥的研究相对较多,多侧重于肥料的控释技术和施用技术。王宜伦等<sup>[3]</sup>研究表明,采用粒片状肥料一次性施用可以实现夏玉米的高产;姜超强等<sup>[4]</sup>通过施肥位点来调控优化尿素一次性施用效果。本研究在其他条件相同下,对比了常规肥料不同配方一次性施用对夏玉米的影响,结果表明减氮增磷钾配方处理(28-7-9、27-7-12、28-11-10、29-6-10)的玉米产量均达到10.5 t/hm<sup>2</sup>,说明一次性施肥可以实现玉米高产。此外,一次性施肥能够减少玉米管理成本投入,符合很多农户“一炮轰”施肥习惯;一些农户在玉米生长后期撒施追肥也会增加投入成本,同时也会增加环境风险<sup>[18]</sup>。因此,对比不同配方一次性施用效果将有利于夏玉米一次性施肥技术应用和推广。

本研究发现,相对于农户习惯采用的高氮配方,4个减氮增磷钾配方均提高了玉米的产量,增产作用主要是由于提高了穗粒数和千粒重,且玉米秃尖长和缺粒数降低,从而结实率增加。这主要是因为配方的不同导致了氮磷钾养分投入数量和配比的差异<sup>[5]</sup>。本试验条件下,土壤氮素供应能力较强,而土壤磷、钾供应能力较弱,因此,高氮配方处理下较高的氮投入可能导致造成玉米贪青晚熟、倒伏、抗逆性差等情况,进而影响籽粒产量<sup>[16]</sup>;磷、钾投入不足可能会影响生育后期籽粒灌浆,磷素与植株体内碳和

脂肪代谢有关系,并影响光合作用进行,而钾素有利于提高叶片光合强度,同时能影响库源关系,促进光合同化产物的运输,使同化产物更多地输入到结实器官,进而提高玉米的结实率和千粒重等穗部性状<sup>[19-20]</sup>。在养分分配方面,养分收获指数反映了吸收的养分向籽粒转运的比例,内部利用效率是单位养分产生的经济产量,反映了综合利用效率<sup>[17]</sup>,可以看出,无论收获指数还是内部利用效率,相较于2个高氮配方,4个减氮增磷增钾配方均呈现增加的趋势,这也表明调控肥料配方能够改善养分分流的作用,促使前期养分向籽粒转运,进而提高产量。

经济收益是农户选择肥料的重要依据。尽管养分含量和磷、钾比例较高的配方一定程度会增加投入成本,但与收益的增加相比,成本变化较小,配方30-5-5和33-5-8的总收益和净收益明显低于其他配方。很多研究表明,近年来随着农户大量施用化肥和秸秆还田等措施,河南省农田土壤氮素供应能力提高,而土壤无机氮残留过高,但农户在施肥时仍然存在氮肥用量过高和磷钾施用不足等现象<sup>[11-12]</sup>,因此,玉米生产中具有很大的节氮潜力,减氮增磷钾配方肥的应用对于河南省玉米合理施肥及区域减肥增效增收具有重要意义。

### 参考文献 References

- [1] 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]. Journal of Jilin Agricultural University, 2008, 30(3): 301-305 (in Chinese with English abstract).
- [2] 谭德水,刘兆辉.一次性施肥技术实现三大粮食作物轻简化绿色生产[J].中国农业科学,2018,51(20):3823-3826. TAN D S, LIU Z H. One-off fertilization technology realized light-simplified and green production for the three major grain crops [J]. Scientia agricultura sinica, 2018, 51(20): 3823-3826 (in Chinese with English abstract).
- [3] 王宜伦,自由路,谭金芳,等.采用粒片状肥料实现夏玉米一次施肥的可行性研究[J].植物营养与肥料学报,2016,22(4):1126-1132. WANG Y L, BAI Y L, TAN J F, et al. Availability study of once quantitative fertilization in summer maize using fertilizer tablets[J]. Journal of plant nutrition and fertilizer, 2016, 22(4): 1126-1132 (in Chinese with English abstract).
- [4] 姜超强,卢殿君,王世济,等.夏玉米普通尿素一次施肥位点优化研究[J].中国农业科技导报,2017,19(12):67-74. JIANG C Q, LU D J, WANG S J, et al. Research on placement

- site of urea single application in summer maize [J]. *Journal of agricultural science and technology*, 2017, 19(12): 67-74 (in Chinese with English abstract).
- [5] 赵亚南,徐霞,孙笑梅,等. 基于GIS的河南省不同区域小麦氮磷钾推荐量与施肥配方[J]. *植物营养与肥料学报*, 2021, 27(6): 938-948. ZHAO Y N, XU X, SUN X M, et al. GIS-based NPK recommendation and fertilizer formulae for wheat production in different regions of Henan Province [J]. *Journal of plant nutrition and fertilizers*, 2021, 27(6): 938-948 (in Chinese with English abstract).
- [6] 张露,梁志会,普雁翔,等. 长江经济带测土配方施肥技术效果及其改进——基于滇、鄂、苏三省水稻种植的实证分析[J]. *华中农业大学学报*, 2021, 40(3): 30-42. ZHANG L, LIANG Z H, PU Y L, et al. Effect and improvement of soil testing and formulated fertilization technology in the Yangtze River Economic Belt: an empirical analysis of rice planting in Yunnan, Hubei and Jiang Provinces [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2021, 40(3): 30-42 (in Chinese with English abstract).
- [7] 赵亚南,刘玉红,唐振亚,等. 不同养分配比对茎瘤芥产量和营养品质的影响[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2013, 35(1): 49-52. ZHAO Y N, LIU Y H, TANG Z Y, et al. Effects of different fertilizer ratios on the yield and nutrition quality of tumorous stem mustard [J]. *Journal of Southwest University (natural science edition)*, 2013, 35(1): 49-52 (in Chinese with English abstract).
- [8] 李凯旭,鲁剑巍,鲁明星,等. 不同专用配方肥对水稻产量、养分吸收及经济效益的影响[J]. *中国农业科技导报*, 2017, 19(1): 100-107. LI K X, LU J W, LU M X, et al. Effects of different special formula fertilizer on rice yield, nutrient uptake and economic benefit [J]. *Journal of agricultural science and technology*, 2017, 19(1): 100-107 (in Chinese with English abstract).
- [9] 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]. *Chinese journal of soil science*, 2008, 39(4): 874-877 (in Chinese with English abstract).
- [10] 吴良泉,武良,崔振岭,等. 中国玉米区域氮磷钾肥推荐用量及肥料配方研究[J]. *土壤学报*, 2015, 52(4): 802-817. WU L Q, WU L, CUI Z L, et al. Basic NPK fertilizer recommendation and fertilizer formula for maize production regions in China [J]. *Acta pedologica sinica*, 2015, 52(4): 802-817 (in Chinese with English abstract).
- [11] 任宁,王改革,叶优良,等. 河南省不同典型农业生产区玉米施肥现状及增产潜力评价[J]. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(5): 98-105. REN N, WANG G G, YE Y L, et al. Evaluation of fertilization management and yield potential of maize in different typical agricultural production areas in Henan Province [J]. *Chinese journal of agricultural resources and regional planning*, 2020, 41(5): 98-105 (in Chinese with English abstract).
- [12] 赵亚南,徐霞,黄玉芳,等. 河南省小麦、玉米氮肥需求及节氮潜力[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(14): 2747-2757. ZHAO Y N, XU X, HUANG Y F, et al. Nitrogen requirement and saving potential for wheat and maize in Henan province [J]. *Scientia agricultura sinica*, 2018, 51(14): 2747-2757 (in Chinese with English abstract).
- [13] 张国合,张博,王海标,等. 河南省夏玉米主产区土壤理化性状研究[J]. *中国农学通报*, 2016, 32(20): 92-96. ZHANG G H, ZHANG B, WANG H B, et al. Soil physical and chemical properties in main maize area of Henan Province [J]. *Chinese agricultural science bulletin*, 2016, 32(20): 92-96 (in Chinese with English abstract).
- [14] 中华人民共和国农业农村部. 小麦、玉米、水稻三大粮食作物区域大配方与施肥建议(2013) [EB/OL]. (2013-8-20) [2021-11-18]. [http://www.moa.gov.cn/nybg/2013/dbaq/201712/t20171219\\_6119839.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/2013/dbaq/201712/t20171219_6119839.htm). Ministry of Agriculture and Rural Affairs of China. Regional formulation and fertilization suggestion for three major crops of wheat, maize and rice [EB/OL]. (2013-8-20) [2021-11-18]. [http://www.moa.gov.cn/nybg/2013/dbaq/201712/t20171219\\_6119839.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/2013/dbaq/201712/t20171219_6119839.htm).
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008. BAO S D. *Soil and agro-chemistry analysis* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008 (in Chinese).
- [16] ZHAO Y N, HUANG Y F, LI S, et al. Improving the growth, lodging and yield of different density-resistance maize by optimising planting density and nitrogen fertilisation [J]. *Plant, soil and environment*, 2020, 66(9): 453-460.
- [17] ZHANG J, HE P, DING W, et al. Estimating nutrient uptake requirements for radish in China based on QUEFTS model [J/OL]. *Scientific reports*, 2019, 9, 11663 [2021-11-18]. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48149-6>.
- [18] 刘兆辉,吴小宾,谭德水,等. 一次性施肥在我国主要粮食作物中的应用与环境效应[J]. *中国农业科学*, 2018, 51(20): 3827-3839. LIU Z H, WU X B, TAN D S, et al. Application and environmental effects of one-off fertilization technique in major cereal crops in China [J]. *Scientia agricultura sinica*, 2018, 51(20): 3827-3839 (in Chinese with English abstract).
- [19] 张玉斌,曹庆军,张铭,等. 施磷水平对春玉米叶绿素荧光特性及品质的影响[J]. *玉米科学*, 2009, 17(4): 79-81. ZHANG Y B, CAO Q J, ZHANG M, et al. Effects of phosphorus application on chlorophyll fluorescence characteristic and quality of spring maize [J]. *Journal of maize sciences*, 2009, 17(4): 79-81 (in Chinese with English abstract).
- [20] 侯云鹏,杨建,孔丽丽,等. 施钾对春玉米产量、养分吸收及分配的影响[J]. *玉米科学*, 2015, 23(4): 124-131. HOU Y P, YANG J, KONG L L, et al. Effects of potassium fertilizer application on yield, nutrient absorption and distribution of spring maize [J]. *Journal of maize sciences*, 2015, 23(4): 124-131 (in Chinese with English abstract).

## Effects of one-off fertilization of formula fertilizer with reducing N while increasing P and K on maize yield and nutrient use efficiency

SUN Xiaomei<sup>1</sup>, WU Qinghui<sup>2</sup>, LI Hongjie<sup>3</sup>, HUANG Yufang<sup>3</sup>, ZHAO Yanan<sup>3</sup>, YE Youliang<sup>3</sup>

1. Henan Province Soil and Fertilizer Station, Zhengzhou 450002, China;

2. College of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

3. College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China

**Abstract** In order to study the effect of compound fertilizer of different formulations applied on summer maize at one time, a field experiment was conducted to analyze maize yield and component factors, ear traits, nutrient accumulation, nutrient utilization efficiency and economic benefits by setting 6 formulation treatments (30-5-5, 33-5-8, 28-7-9, 27-7-12, 28-11-10, 29-6-10). The results show that the average yield of maize under different formulas (28-7-9, 27-7-12, 28-11-10, 29-6-10) reaches 10.5 t/hm<sup>2</sup>, the two high-nitrogen formulas (33-5-8 and 30-5-5) have lower yields, and the other high phosphorus and/or potassium formulas can increase yields by 6.3%-9.5% and 7.0%-10.2%. Compared with the two high-N formulas, the length of bare tip, the number of missing grains and the seed setting rate of maize increased for the formula with high-P/K. In terms of nutrient utilization indexes, the nutrient harvest index and internal efficiency of the high-N formula were lower than those of other treatments. The total and net returns of the high-P/K formula increased by 4.6%-6.9% and 6.1%-9.4% compared to the 30-5-5 formula, and by 9.3%-11.7% and 19.3%-23.4% compared to the 33-5-8 formula. Under the conditions of this study, the yield, nutrient utilization efficiency and economic benefit of the formula with reducing N, increasing P and K were better than the high-N formula.

**Keywords** fertilizer formulas; maize; one-off fertilization; nutrient use efficiency; fertilizer efficiency increase; reasonable formula; high yield and efficiency

(责任编辑:赵琳琳)