



氮肥用量对玉米籽粒主要矿质元素质量分数的影响

黄玉芳¹, 叶优良¹, 陈文莉², 任 宁¹, 赵亚南¹, 汪 洋¹

(1. 河南农业大学 资源与环境学院/河南省农业绿色发展工程技术研究中心, 郑州 450002;

2. 新乡县朗公庙镇人民政府, 河南新乡 453700)

摘 要 为明确施氮量对玉米籽粒中主要矿质元素质量分数的影响,以‘博农 118’‘浚单 22’和‘郑单 958’为材料,在河南温县设置 5 个氮肥水平(0、120、180、240、360 kg/hm²),研究不同施氮量对玉米籽粒 N、P、K、Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn、B 等主要矿质元素质量分数的影响。结果表明:施氮显著提高了玉米籽粒 N、Ca、Fe、Cu、Zn、B 质量分数,Mg 和 Mn 质量分数受施氮量影响较小,但 P 质量分数明显下降。‘浚单 22’籽粒中多种矿质元素质量分数都明显高于‘郑单 958’‘博农 118’介于二者之间。施氮在提高玉米籽粒产量同时降低了 P/Ca、P/Mg、P/Fe 和 P/Zn 的比值,增强了这 4 种元素的生物有效性。此外,通过增施氮肥提高玉米籽粒中矿质元素质量分数能够降低外源元素添加剂的使用,进而提高饲料安全性,降低饲料成本。

关键词 氮肥;玉米;籽粒;矿质元素;微量元素

中图分类号 S513;S143.1

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2020)06-0870-07

玉米作为中国第一大粮食作物,种植面积占全国粮食作物的 35.93%、总产量占全国粮食作物的 39.16%^[1]。玉米是食品、饲料和工业等产业的生产原料,对保障中国粮食安全有着重要的意义。随着生活水平的提高,中、微量元素与人体健康的关系越来越受重视,中、微量元素对人类的命活动起着调控作用,与健康、疾病、长寿、智力和美容等密切相关^[2]。据统计,全球有超过 15 亿成年人和约 2.5 亿儿童表现出不同程度地缺铁、锌,人体缺铜也很普遍。大宗作物籽粒中的一些重要微量营养元素(如 Fe、Mn、Zn、I、Se)经常缺乏或质量分数较低,亦或其生物有效性低。潜在性营养元素缺乏症—“隐性饥饿”的威胁,增加了社会医疗保健的开支,给国民经济发展带来沉重负担^[3]。

中国经济的不断攀升必然造成人们对于粮食直接消费的下降,转而提升对畜禽产品的需求量,这是经济发展与食品结构变化的客观规律^[4]。饲料生产成为目前玉米加工转化的重要途径,2010 年,饲料工业对玉米需求量达到 1.53 亿 t,饲料玉米占玉米总量 87%;研究预测至 2020 年,饲料玉

米应用比例将达到 89.6%^[5]。矿质元素作为动物体所必需的营养元素,直接参与机体几乎所有的生理和生化活动,对动物的新陈代谢、生长发育及生产性能均起着极其重要的作用^[6]。饲料配方中通过添加各类矿质元素以达到动物体的需要量标准,提高饲料原料中的矿质元素质量分数有利于降低营养元素添加成本,提升饲料安全性^[7]。

合理施用氮肥是禾谷类作物生产中提高产量的关键措施,也是影响籽粒中、微量元素营养的重要因素。前人研究表明,小麦上提高氮肥投入能显著增强籽粒中的 Fe、Zn、Cu 质量分数,但对籽粒 Mn 质量分数的影响不显著^[8]。韩证仿等^[9]田间试验数据显示,施用氮肥可以增加玉米籽粒中 Fe、Mn、Zn 质量分数,过量施氮籽粒中 Zn 和 Fe 则不再增加。也有研究认为增施氮肥并不能显著影响谷物籽粒 Fe、Zn 的质量分数^[10-11]。在低、中肥力水平下,小麦籽粒中 Zn、Mn 和 Cu 的质量分数随施氮量增加反而降低^[12]。以上研究对于施氮影响籽粒微量元素质量分数变化的结论并不一致,主要与试验环境和作物品种不同有关。

河南省是中国重要的粮食大省,玉米种植面

收稿日期:2019-08-10 修回日期:2019-12-01

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFD0200100)。

第一作者:黄玉芳,女,硕士,实验师,研究方向为土壤农化分析测试。E-mail:huangyufang@henau.edu.cn

通信作者:汪 洋,男,博士,讲师,研究方向为田间作物养分管理。E-mail:wangyang1106@henau.edu.cn

积和总产量均居全国第二位,其玉米籽粒中矿质元素质量分数高低对中国群众和动物的饮食健康产生重大影响。本试验选用当地主栽品种‘博农 118’‘浚单 22’和‘郑单 958’,对氮肥用量影响玉米籽粒矿质营养元素质量分数的变化进行研究,旨在探讨不同品种玉米营养元素质量分数的稳定性以及氮肥的调控效应,以期为生产品质优良和食用安全的玉米提供理论依据。

表 1 耕层土壤基本理化性状

Table 1 Physicochemical characters of 0—30 cm in soil of field

pH	全氮/ (g/kg) Total nitrogen	有机质/ (g/kg) Organic matter	速效磷/ (mg/kg) Available phosphorus	速效钾/ (mg/kg) Available potassium	有效锌/ (mg/kg) Available zinc	有效铁/ (mg/kg) Available iron	有效锰/ (mg/kg) Available manganese	有效铜/ (mg/kg) Available copper
8.0	1.21	16.0	49.1	152.5	0.72	5.01	15.97	0.92

1.2 试验设计

试验选用 3 个当地主栽玉米品种:‘博农 118’‘浚单 22’‘郑单 958’;5 个施氮水平,纯氮施用量分别为 0 kg/hm² (N₀)、120 kg/hm² (N₁₂₀)、180 kg/hm² (N₁₈₀)、240 kg/hm² (N₂₄₀)、360 kg/hm² (N₃₆₀)。重复 3 次,随机区组排列,小区面积 30 m²,共计 45 个小区。氮肥为尿素(含纯氮 46%),1/3 氮肥作基施,2/3 大喇叭口期开沟追施。磷钾肥全部一次性基施,磷肥为过磷酸钙(含 P₂O₅ 12%),用量为 90 kg/hm²;钾肥为氯化钾(含 K₂O 60%),用量为 90 kg/hm²。田间管理与当地保持一致,依据墒情灌溉,3~5 叶期进行化学除草,拔节期防治病虫害。

1.3 样品采集与测定

成熟期选取各处理中间 4 行人工连续收获 40 株玉米,晒干后脱粒称量,籽粒含水量均以国家商品粮贮藏标准含水量 13% 折算。采用浓 HNO₃-HClO₄ 混合酸液(体积比 4:1)进行联合消煮,消煮至白色透明状。溶液定容过滤后,用 ICP-OES(Optima 2100DV)测定待测液中各种矿质营养元素质量分数^[13]。

1.4 数据处理与分析

采用 Microsoft Excel 2010 和 SPSS 20.0 软件对数据进行处理统计分析,通过 Origin 9.0 进行绘图。

2 结果与分析

2.1 氮肥用量对玉米籽粒产量及其构成因素的影响

不同品种玉米产量对氮肥的响应不一致,‘博

1 材料与方法

1.1 试验地点

试验于 2017—2018 年在河南省焦作市温县祥云镇大尚村(34°92' N,112°99' E)进行,土壤为潮土,质地为粘土,播前取 0~30 cm 耕层土壤测试基本理化性状,具体参数见表 1。前茬作物为小麦,秸秆全部还田。

农 118’在施氮量达 180 kg/hm² 时,产量达到最高值,继续增施氮肥产量开始降低;‘浚单 22’和‘郑单 958’的籽粒产量在各施氮处理下差异不显著(图 1)。相比不施氮处理,施氮后 3 个玉米品种的籽粒产量均显著增加,其中‘博农 118’增幅最大为 84.8%,其次为‘郑单 958’达到 33.1%,‘浚单 22’的增幅最小为 31.2%。

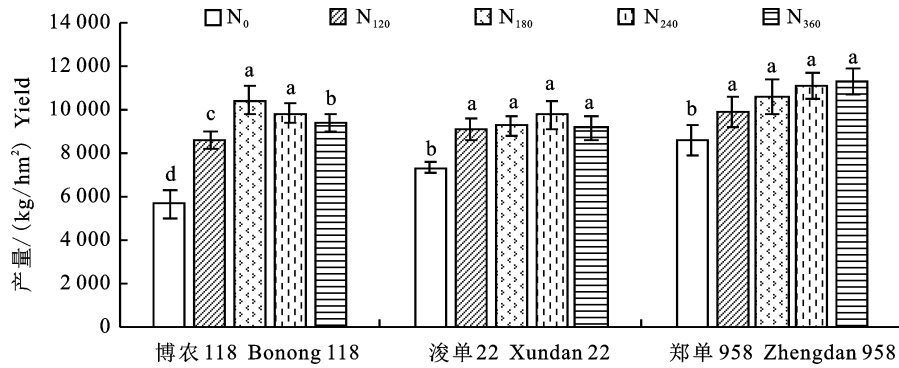
2.2 氮肥用量对玉米籽粒大量元素质量分数的影响

不同玉米品种,其籽粒中 N、P、K 质量分数基本一致。随施氮量增加,玉米籽粒中 N 质量分数也随之上升,高氮下玉米产量难以继续提高,但并不影响籽粒中 N 的积累(图 2)。与 N 质量分数不同,籽粒中 P 质量分数在品种‘浚单 22’和‘郑单 958’上表现为随施氮量增加而降低的趋势,‘博农 118’籽粒的 P 质量分数随施氮量增加变化并不显著。同一玉米品种,籽粒的 K 质量分数并不受施氮量的影响。

2.3 氮肥用量对玉米籽粒中、微量元素质量分数的影响

随施氮量增加,籽粒中 Ca 质量分数也随之上升,相比 N₀ 处理,施氮后最大增幅为 13.6%;另一个中量元素 Mg 则不受施氮量的影响。籽粒中微量元素质量分数对氮肥用量响应不同,Fe、Cu、Zn 和 B 随施氮量增加呈上升趋势,施氮后最大增幅分别达到 35.5%、37.6%、18.3% 和 98.8%;与其他微量元素不同,籽粒 Mn 质量分数受氮肥投入量影响较小(表 2)。

不同玉米品种间籽粒中、微量元素质量分数差异很大,以籽粒含 Fe 量变异系数(标准差/均



同一品种不同字母表示在 0.05 水平上差异显著(LSD),下同

Different letters of same cultivar indicate significant difference at level of 0.05 (LSD), the same below

图 1 不同施氮水平下 3 个玉米品种的籽粒产量

Fig. 1 Grain yield of three maize cultivars under different nitrogen levels

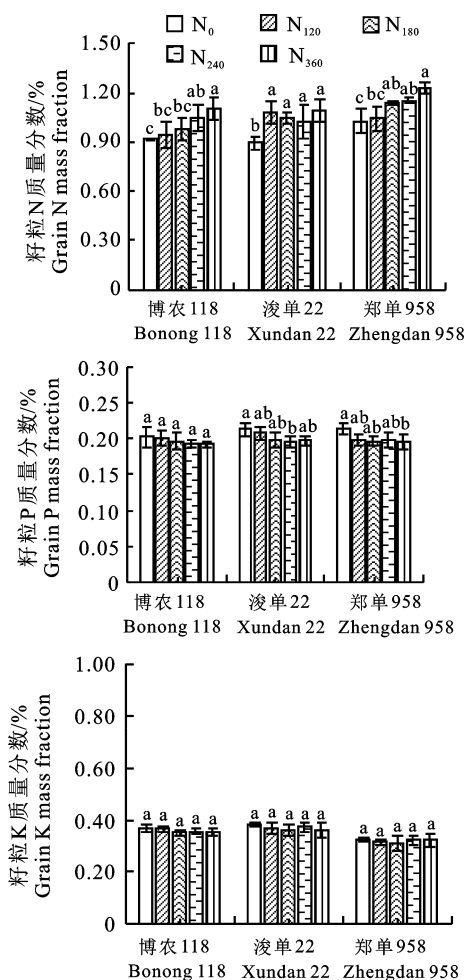


图 2 不同施氮水平下 3 个玉米品种籽粒的 N、P、K 质量分数

Fig. 2 N, P, K mass fractions of three maize cultivars under different nitrogen levels

值)最高,达到 14.2%,其后依次为 Cu(13.9%)、B(13.7%)、Mn(11.7%)、Ca(6.6%)、Zn(6.3%),Mg(1.7%)的变异系数最低。‘浚单 22’籽粒中 Ca、Mg、Fe、Mn 都显著高于‘郑单 958’和‘博农 118’,此外‘博农 118’籽粒中 Cu 质量分数明显高于‘郑单 958’。

2.4 玉米籽粒中矿质元素质量分数相关性分析

玉米籽粒产量与其体内 N、B 质量分数呈显著正相关关系,而与 P、K、Mn 质量分数呈显著负相关关系(表 3)。籽粒中各微量及常量矿物质元素质量分数间存在一定的相关性和依存关系,不同矿质元素质量分数间多表现为不相关或者正相关,只有 N 与 K、Mn、P 与 Cu、B 质量分数间呈显著负相关关系。除 N、P、Mg 外,籽粒中 Ca 质量分数与其他元素均呈显著正相关关系,表现出良好的协同效应。

2.5 氮肥用量对玉米籽粒 Ca、Mg、Fe、Zn 生物有效性的影响

P 素与籽粒中 Ca、Mg、Fe 和 Zn 易形成植酸盐, P/Ca、P/Mg、P/Fe、P/Zn 值越高则表明人体可吸收利用的元素有效性越低。随氮肥用量增加,不同玉米品种其籽粒 P/Ca、P/Mg、P/Fe 和 P/Zn 值均表现为逐渐下降的趋势。相比 N₀ 处理, N₃₆₀ 处理下 P/Fe 值的降幅最大,达到 31.9%;其次为 P/Zn、P/Ca 降低了 21.8%、18.3%;P/Mg 值的降幅最小,仅为 6.3%(表 4)。
‘郑单 958’籽粒 P/Ca、P/Fe、P/Zn 值显著高于‘浚单 22’;‘博农 118’籽粒 P/Fe 值显著高于‘浚单 22’;品种间 P/Mg 值无明显差异。

表 2 不同施氮水平下 3 个玉米品种籽粒的中、微量元素质量分数
Table 2 Medium and trace element mass fractions of three maize cultivar

处理 Treatment	under different nitrogen levels						mg/kg
	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
N ₀	180.8 b	847.0 a	20.9 b	3.9 a	2.2 b	17.2 b	7.8 c
N ₁₂₀	185.8 b	847.1 a	24.1 ab	3.8 a	2.5 ab	17.9 b	10.8 c
N ₁₈₀	192.1 ab	834.1 a	25.9 ab	3.8 a	2.6 ab	18.5 ab	11.3 bc
N ₂₄₀	198.3 ab	833.2 a	27.1 a	4.0 a	2.8 a	19.5 ab	14.8 ab
N ₃₆₀	205.5 a	838.6 a	28.3 a	3.9 a	3.0 a	20.4 a	15.5 a
博农 118 Bonong 118	188.7 b	826.8 b	23.0 b	3.9 b	2.9 a	19.2 ab	13.9 a
浚单 22 Xundan 22	206.7 a	854.5 a	29.4 a	4.3 a	2.7 ab	19.6 a	10.8 a
郑单 958 Zhengdan 958	182.1 b	838.7 b	23.4 b	3.4 c	2.2 b	17.4 b	11.4 a
变异系数/% CV	6.6	1.7	14.2	11.7	13.9	6.3	13.7

注:同列不同字母表示氮水平、品种在 0.05 水平上差异显著(LSD),下同。
Note:Different letters in the same column indicate significant difference at N level or cultivars at level of 0.05 (LSD), the same below.

表 3 玉米籽粒中矿质元素质量分数与产量间相关性分析
Table 3 Correlation coefficients between mineral elements mass fraction and yield of maize grains

项目 Item	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B
产量 Yield	0.648**	-0.353*	-0.491**	0.064	-0.059	0.275	-0.346*	0.102	0.112	0.448**
N		-0.237	-0.411**	0.075	-0.002	0.263	-0.344*	0.089	0.124	0.394**
P			0.359*	-0.193	0.438**	-0.184	0.270	-0.354*	-0.229	-0.510**
K				0.412**	0.298*	0.289	0.858**	0.372*	0.381**	-0.032
Ca					0.205	0.704**	0.557**	0.514**	0.628**	0.383**
Mg						0.107	0.252	-0.151	0.014	-0.203
Fe							0.497**	0.391**	0.561**	0.301*
Mn								0.352*	0.499**	0.010
Cu									0.710**	0.683**
Zn										0.493**

注:“*”和“**”分别表示相关性达显著水平($P<0.05$)和极显著水平($P<0.01$)。
Note:“*” and “**” indicate significant ($P<0.05$) and extremely significant difference ($P<0.01$), respectively.

表 4 不同施氮水平下 3 个玉米品种籽粒中 P/Ca、
P/Mg、P/Fe 和 P/Zn 值

Table 4 Ratios of P/Ca, P/Mg, P/Fe and P/Zn
in grains of three maize cultivars
under different nitrogen levels

处理 Treatment	P/Ca	P/Mg	P/Fe	P/Zn
N ₀	11.61 a	2.47 a	102.6 a	122.2 a
N ₁₂₀	10.88 ab	2.39 b	84.3 ab	113.6 ab
N ₁₈₀	10.30 bc	2.36 b	76.3 b	106.3 bc
N ₂₄₀	9.88 bc	2.34 b	73.4 b	100.8 bc
N ₃₆₀	9.48 c	2.32 b	69.8 b	95.5 c
博农 118 Bonong 118	10.46 ab	2.38 a	87.1 a	103.0 b
浚单 22 Xundan 22	9.82 b	2.37 a	69.8 b	104.1 b
郑单 958 Zhengdan 958	11.01 a	2.38 a	87.0 a	116.0 a
变异系数/% CV	5.7	0.2	12.3	6.7

3 讨论

施用氮肥提高了玉米籽粒产量,本研究中,施氮量超过 180 kg/hm² 之后,继续增施氮肥则产量增加不明显,品种‘博农 118’甚至表现出减产。施氮在提高玉米籽粒产量同时加强了植株对矿质元素的吸收,但并不一定会提高籽粒中该矿质元素的质量分数,这与不同元素在植株体内的分配与转运机制差异有关^[14]。本试验结果表明,大量元素 N,中量元素 Ca,以及微量元素 Fe、Cu、Zn、B 在籽粒中都表现为随施氮量增加而上升,Fe、Cu、Zn 等对氮肥的响应与李峰等^[15] 在小麦上的研究结果一致。此外,本研究发现玉米中 P 质量分数随施氮量增加而呈下降趋势,这与周桦等^[16] 的研

究结果是一致的,杨梦雅等^[17]研究则认为籽粒 P 质量分数受氮肥用量影响不大;籽粒中、微量元素 Mg 和 Mn 质量分数对氮肥施用不敏感,这与郝虎林等^[18]结果不同。可见,除施肥外籽粒中矿质元素质量分数受作物基因型影响也很大。本研究中,除大量元素(N、P、K)和微量元素 B 外,‘浚单 22’籽粒的 Ca、Mg、Fe、Mn、Cu、Zn 等矿质元素质量分数均高于‘郑单 958’。不同品种间籽粒 Fe 的质量分数变异系数(14.2%)最高,其次为 Cu(13.9%)、B(13.7%)、Mn(11.7%)、Mg(1.7%)的变异系数最低,这与张勇等^[13]通过分析 240 个北方小麦籽粒矿质元素质量分数得到的排序结果高度吻合。未来,选择推广和种植籽粒微量元素质量分数较高的粮食作物可能是解决地区性居民微量元素缺乏症最经济、健康的有效途径。

本研究中,籽粒 N、B 质量分数与产量间表现出显著正相关关系,而 K、Mn 质量分数与产量间呈显著负相关,说明籽粒干物质增加对 K、Mn 的稀释效应要大于对它们的吸收。此外,各矿质元素间存在一定的相关性,表明元素质量分数间可能存在着某种程度的依存关系,这与 Graham 等^[19]的研究结果一致。除矿质元素质量分数高低外,元素的生物有效性亦是决定食用者吸收养分的关键因素。研究发现,禾谷类籽粒中全磷的 65%~90%是以植酸磷形态存在,植酸与谷类作物中 Ca、Mg、Fe 和 Zn 有着较高的亲和力,形成不能被人和非反刍动物吸收利用的植酸盐,因此 P/Zn、P/Fe 等常作为评价这些元素有效性的标志^[20]。本研究中,施氮提高玉米籽粒 Ca、Fe 和 Zn 质量分数的同时,降低了 P/Ca、P/Mg、P/Fe、P/Zn 的值,比值越低则表明微量元素的生物有效性越高。与本研究结果不同,韩证仿等^[9]的研究结果显示籽粒 Zn、Fe 的质量分数随施氮量增加而上升,P/Zn、P/Fe 值随施氮量增加也在升高(即 Zn、Fe 的生物有效性在不断降低),该比值的升高可能与施氮后玉米籽粒 P 素质量分数大幅增加有关。

中国玉米应用于饲料产业的比例已经远远超过了做口粮的需求,与表 5 畜禽营养标准微量元素日需要量相比,本试验条件下玉米籽粒中 Fe 质量分数相当于产奶牛需要量的 168.7%、产蛋鸡需要量的 42.2%、生长猪需要量的 50.6%;籽粒中 Mn 质量分数相当于产奶牛需要量的 32.5%、产蛋鸡需要量的 6.5%、生长猪需要量的

195.0%;玉米中 Cu 质量分数相当于产奶牛需要量的 26.0%、产蛋鸡需要量的 32.5%、生长猪需要量的 74.2%;玉米中 Zn 质量分数相当于产奶牛需要量的 46.8%、产蛋鸡需要量的 23.4%、生长猪需要量的 37.4%。本研究中,玉米籽粒 Fe、Mn、Cu、Zn 4 种微量元素的质量分数,除个别情况外,大部分相当于畜禽营养标准中需要量的 30%~40%,甚至有些情况已经超过其需要量。通过氮肥提高玉米籽粒矿质元素质量分数后,可以有效减少外源矿质元素添加剂的使用,进而保证饲料安全性,降低饲料成本,提高养殖效益^[7]。

表 5 畜禽日粮中微量元素需要量

Table 5 Trace element requirements

in livestock and poultry diets		mg/kg			
项目 Item		Fe	Mn	Cu	Zn
产奶牛 Dairy cow (NY/T34-2004)		15	12	10	40
产蛋鸡 Laying hen (NY/T33-2004)		60	60	8	80
生长猪 Growing pig (50—80 kg) (NRC-1998)		50	2	3.5	50
本试验中玉米籽粒养分均值 Average nutrient of maize grains		25.3	3.9	2.6	18.7

4 结论

‘浚单 22’籽粒中各种矿质元素质量分数都较高,适合于微量元素缺乏症多发地区推广种植。籽粒中各微量及常量矿物质元素质量分数间都存在一定的相关性和依存关系,且多表现为不相关或者正相关。施氮不仅可以提高玉米籽粒产量,同时改善了籽粒多种矿质元素质量分数。籽粒中 Ca、Mg、Fe 和 Zn 生物有效性的增强进一步说明了合理施氮的必要性。

参考文献 Reference:

- [1] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
National Bureau of Statistics. China Statistical Yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2018.
- [2] 张文渊. 自然环境中存在的元素对人体健康的作用[J]. 广东微量元素科学, 2002, 9(11): 61-63.
ZHANG W Y. Effects of elements in natural environment on human health[J]. *Guangdong Trace Elements Science*, 2002, 9(11): 61-63.
- [3] LIU Z H, WANG H Y, WANG X E, *et al.* Genotypic and spike positional difference in grain phytase activity, phytate, inorganic phosphorus, iron, and zinc contents in

- wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Journal of Cereal Science*, 2006, 44(2): 212-219.
- [4] 韩 啸, 胡冰川, 齐皓天, 等. 食品价格变化对中国农村居民消费行为与福利影响研究[J]. *价格理论与实践*, 2016(6): 100-103.
- HAN X, HU B CH, QI H T, *et al.* Study on the impact of food price change on consumption behavior and welfare of rural residents in China[J]. *Price Theory and Practice*, 2016(6): 100-103.
- [5] 胡广东. 玉米在饲料工业中的应用趋势分析[J]. *中国饲料*, 2002(19): 5-7.
- HU G D. Application trend analysis of corn in feed industry [J]. *China Feed*, 2002 (19): 5-7.
- [6] 瞿明仁, 黎观红. 微量元素对动物免疫功能的影响及作用机制[J]. *江西农业大学学报*, 1998, 20(4): 472-475.
- QU M R, LI G H. Effect of trace elements on animal immune functions and its mechanism[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 1998, 20(4): 472-475.
- [7] 贾久满, 李会成, 胡文秀. 玉米中微量元素含量对畜禽饲料配方的影响[J]. *饲料工业*, 2009, 30(1): 54-55.
- JIA J M, LI H CH, HU W X. Effect of trace element content in corn on the formula of animal feed[J]. *Feed Industry*, 2009, 30 (1): 54-55.
- [8] SHI R, ZHANG Y, CHEN X, *et al.* Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) [J]. *Journal of Cereal Science*, 2010, 51(1): 165-170.
- [9] 韩证仿, 钱春荣, 李志杰, 等. 氮肥对不同玉米品种籽粒微量元素含量和生物有效性的影响[J]. *玉米科学*, 2013, 21(3): 110-114.
- HAN ZH F, QIAN CH R, LI ZH J, *et al.* Effects of nitrogen fertilization on micronutrient concentrations and bio-availability in the grain of different maize varieties [J]. *Journal of Maize Sciences*, 2013, 21(3): 110-114.
- [10] MORAGHAN T, SIMS A, SMITH L. Zinc in wheat grain as affected by nitrogen fertilization and available soil zinc [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 1999, 22(4/5): 709-716.
- [11] THETHOWAN R M, REYNOLDS M, SAYRE K. Adapting wheat cultivars to resource conserving farming practices and human nutritional needs[J]. *Annals of Applied Biology*, 2005, 146(4): 405-413.
- [12] 张 睿, 郭月霞, 南春芹. 不同施肥水平下小麦籽粒中部分微量元素含量的研究[J]. *西北植物学报*, 2004, 24(1): 125-129.
- ZHANG R, GUO Y X, NAN CH Q. Study on trace elements of wheat grain in different fertilizer treatments[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2004, 24(1): 125-129.
- [13] 张 勇, 王德森, 张 艳, 等. 北方冬麦区小麦品种籽粒主要矿物质元素含量分布及其相关性分析[J]. *中国农业科学*, 2007(9): 1871-1876.
- ZHANG Y, WANG D S, ZHANG Y, *et al.* Variation of major mineral elements concentration and their relationships in grain of Chinese wheat[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007(9): 1871-1876.
- [14] 刘美佳, 韩证仿, 杨世佳, 等. 氮肥用量对苏中冬小麦地上部主要矿质元素含量的影响[J]. *麦类作物学报*, 2012, 32(4): 728-733.
- LIU M J, HAN ZH F, YANG SH J, *et al.* Effects of nitrogen application rates on mineral concentrations in above-ground tissues of winter wheat in center of Jiangsu province[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2012, 32(4): 728-733.
- [15] 李 峰, 田霄鸿, 陈 玲, 等. 栽培模式、施氮量和播种密度对小麦籽粒中锌、铁、锰、铜含量和携出量的影响[J]. *土壤肥料*, 2006(2): 42-46.
- LI F, TIAN X H, CHEN L, *et al.* Effect of planting model, N fertilization and planting density on concentration and uptake of Zn, Fe, Mn and Cu in grains of winter wheat[J]. *Soil and Fertilizer*, 2006(2): 42-46.
- [16] 周 桦, 姜子邵, 宇万太, 等. 氮肥用量对玉米体内养分浓度和养分分配的影响[J]. *中国土壤与肥料*, 2008(4): 18-21.
- ZHOU H, JIANG Z SH, YU W T, *et al.* Effect of nitrogen application rates on the concentration and distribution of nutrients in maize[J]. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 2008(4): 18-21.
- [17] 杨梦雅, 刘志鹏, 陈 曦, 等. 施氮水平对高产夏玉米氮磷钾积累和产量形成特性的影响[J]. *河北农业大学学报*, 2017, 40(6): 1-8.
- YANG M Y, LIU ZH P, CHEN X, *et al.* Effects of the N level on accumulation of N, P, and K and yield formation in the high yield plants of summer maize[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2017, 40(6): 1-8.
- [18] 郝虎林, 魏幼璋, 杨肖娥, 等. 供氮水平对稻株铁、锰、铜、锌含量和稻米品质的影响[J]. *中国水稻科学*, 2007, 21(4): 411-416.
- HAO H L, WEI Y ZH, YANG X E, *et al.* Effects of different nitrogen fertilizer levels on concentrations of Fe, Mn, Cu and Zn and grain quality in rice (*Oryza sativa*) [J]. *Chinese Journal of Rice Science*, 2007, 21(4): 411-416.
- [19] GRAHAM R D, WELCH R M, BOUIS H E. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives and knowledge gaps[J]. *Advances in Agronomy*, 2001, 70(1): 77-142.
- [20] RYAN M H, MCINEMEY J K, RECORD I R, *et al.* Zinc bioavailability in wheat grain in relation to phosphorus fertilizer, crop sequence and mycorrhizal fungi[J]. *Journal of the Science of Food & Agriculture*, 2010, 88(7): 1208-1216.

Effects of Nitrogen Application Rates on Mineral Mass Fractions of Maize Grain

HUANG Yufang¹, YE Youliang¹, CHEN Wenli², REN Ning¹,
ZHAO Yanan¹ and WANG Yang¹

(1. Henan Agricultural Green Development Engineering Technology Research Center, College of Resources and Environment, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China 2. Xinxiang County Langgong Temple Town People's Government, Xinxiang Henan 453700, China)

Abstract This study is to clarify the effect of nitrogen (N) application rate on the mass fraction of the main mineral elements of maize grains. Three cultivars ('Bonong 118', 'Xundan 22' and 'Zhengdan 958') were selected as experimental materials. Five levels of N (0, 120, 180, 240 and 360 kg/hm²) were conducted at Wenxian county, Henan province. The effects of different N application rates on the mass fractions of mineral elements such as N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn and B in maize were studied. The results showed that the mass fractions of N, Ca, Fe, Cu, Zn and B in wheat grains increased with increase of N application rates. Nevertheless, the Mg and Mn mass fraction of grains were less affected by N application, whilst the P mass fraction of grains significantly decreased with increase of N application rates. The mass fractions of various mineral elements in the grains of 'Xundan 22' were significantly higher than that of 'Zhengdan 958', and 'Bonong 118' was the second highest among the three cultivars. Application of N fertilizer increased the grain yield of wheat while reducing the ratio of P/Ca, P/Mg, P/Fe and P/Zn, and enhancing the bioavailability of these four elements. Additionally, increase of N fertilizer application could increase the mass fraction of mineral element of maize grains, finally, use of exogenous elemental additives could be reduced, the feed safety could be improved, and feed costs could be reduced.

Key words Nitrogen fertilizer; Maize; Grain; Mineral element; Microelement

Received 2019-08-10

Returned 2019-12-01

Foundation item National Key Research and Development Program of China (No. 2017YFD0200100).

First author HUANG Yufang, female, master, experimentalist. Research area: analysis and testing of soil agrochemistry. E-mail: huangyufang@henau.edu.cn

Corresponding author WANG Yang, male, Ph. D, lecturer. Research area: nutrient management of field crops. E-mail: wangyang1106@henau.edu.cn

(责任编辑: 成敏 Responsible editor: CHENG Min)