

施用硫肥对关中地区夏玉米硫素吸收及产量的影响

李娜, 杨阳, 赵玉霞, 王文岩, 李雪芳, 王林权

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 为了解关中地区小麦-玉米轮作条件下玉米硫素吸收及籽粒产量对不同施硫量的响应, 于 2011 年 6 月—2011 年 10 月进行单因素硫肥大田试验, 设置 0、37.5、75、112.5 kg S·hm⁻² 和 150 kg S·hm⁻² 5 个施硫水平, 研究夏玉米硫素吸收利用效率及干物质积累特征。结果表明: 大喇叭口期玉米硫吸收强度最高, 达到 288.4~378.6 g·hm⁻²·d⁻¹, 施硫可提高玉米硫吸收强度。112.5~150 kg S·hm⁻² 处理显著提高玉米群体干物质积累量; 75~112.5 kg S·hm⁻² 处理显著提高玉米籽粒产量, 施硫水平达到 150 kg S·hm⁻² 时籽粒产量有下降趋势。玉米硫肥偏生产力与农学利用率随施硫量的增加而下降; 玉米硫肥吸收利用率均在 5% 以下。结论: 夏玉米对硫肥的响应明显, 112.5 kg S·hm⁻² 施硫量是当地夏玉米的适宜施硫量。

关键词: 硫; 夏玉米; 产量; 利用率

中图分类号: S147.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)05-0168-05

Effects of sulfur application rate on sulfur utilization and grain yield of summer maize in Guanzhong Plain

LI Na, YANG Yang, ZHAO Yu-xia, WANG Wen-yan, LI Xue-fang, WANG Lin-quan

(College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to study the effects of sulfur application rate on sulfur uptake and grain yield of summer maize in Guanzhong Plain, a single factor (sulfur) field experiment was carried out with five sulfur application rates (0, 37.5, 75, 112.5 kg S·hm⁻², and 150 kg S·hm⁻²) during June, 2011 to October, 2011. Sulfur use efficiency and grain yield of maize were analyzed. The results showed that the sulfur uptake rate of maize was improved along with the increase of sulfur application rate, and it peaked at 288.4~378.6 g·hm⁻²·d⁻¹ at large bell stage. High sulfur application treatments (112.5 kg S·hm⁻² and 150 kg S·hm⁻²) significantly increased dry matter accumulation of maize at the end of growing season. The grain yield of maize significantly increased under moderate sulfur application treatments (75 kg S·hm⁻² and 112.5 kg S·hm⁻²), but tended to decrease when sulfur application rate went up to 150 kg S·hm⁻². The sulfur partial productivity and agronomic efficiency decreased with the increase of sulfur application rate, and the sulfur use efficiency of maize in all treatments was below 5%. It was concluded that the response of summer maize to sulfur application was remarkable, and 112.5 kg S·hm⁻² was the optimal sulfur application rate for summer maize under the experimental condition.

Keywords: sulfur; summer maize; grain yield; use efficiency

硫作为植物生长必需中量营养元素, 通常随低纯度氮磷肥(硫为杂质)施入土壤。近年来, 随着高纯度氮磷肥的大量施用, 硫素投入日益减少, 农田土壤缺硫问题逐渐显现^[1-3], 制约农业生产可持续发展。玉米是我国主要粮食作物之一, 在生产中重视氮、磷、钾肥的投入, 但对硫肥缺乏重视, 导致土壤养分失衡, 限制了玉米产量及养分利用率^[4]。关中灌

区是陕西粮食主产区之一, 近 10 年来, 由于磷酸二铵、尿素等高纯度肥料的大量施用, 农田硫素投入大幅减少, 土壤平均含硫量仅为 26.6 mg·kg⁻¹^[5-6], 硫肥肥效日渐明显。目前, 农田硫素营养问题已有较多研究^[7-13], 但对关中地区近年来的土壤硫素动态变化、玉米硫素利用的问题研究较少。本试验通过研究不同施硫水平下夏玉米硫素吸收及产量形成过

收稿日期: 2013-03-05

作者简介: 李娜(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为植物营养与合理施肥。E-mail: linazhaoworld@126.com。

通信作者: 王林权, 教授, 博士生导师。E-mail: linquanw@yahoo.com.cn。

程,分析土壤硫素供应与玉米硫素营养以及干物质分配的关系,为当地夏玉米生产提供必要的科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于2011年6月—2011年10月在西北农林

科技大学节水灌溉站进行。玉米生育时期总有效降水419.4 mm, >0℃有效积温2871.5℃,平均空气相对湿度77.6%(图1)。

供试土壤类型为旱耕土垫人为土,耕层(0~20 cm)土壤基本养分含量:有机质14.8 g·kg⁻¹,碱解氮57.8 mg·kg⁻¹,速效磷6.0 mg·kg⁻¹,速效钾52.0 mg·kg⁻¹,有效硫13.3 mg·kg⁻¹,pH值8.1。

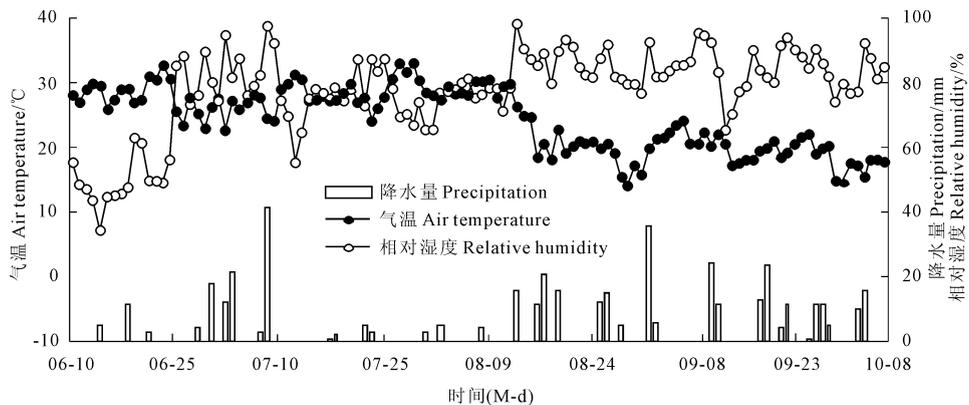


图1 玉米生育时期气象条件(2011年6月—2011年10月)

Fig.1 Weather condition in maize growing season (June, 2011 to October, 2011)

1.2 试验设计

本研究为单因素硫肥大田试验,采用完全随机区组设计。施硫量设5个水平:0、37.5、75、112.5、150 kg S·hm⁻²,每个处理重复3次,共计15个小区。小区面积16 m²(4 m×4 m)。硫肥和磷肥(75 kg P₂O₅·hm⁻²)作基肥一次施入;氮肥(300 kg N·hm⁻²)分三次施入,其中基施40%,拔节期和大喇叭口期各追施30%。所用肥料为:硫酸钾(含K₂O 51%,含S 16.667%),尿素(含N 46%),磷酸二铵(含P₂O₅ 42%,含N 15%),熟石膏(含S 22%),氯化钾(含K₂O 60%)。其中,熟石膏和氯化钾用于保持各处理土壤钾素水平一致。

供试玉米品种为正大12,种植密度52500株·hm⁻²。2011年6月12日播种,6月21日出苗,7月26日和8月10日分别追施两次氮肥,10月5日收获。玉米生育时期内降水充足,未进行灌溉。

1.3 测定方法

在玉米主要生育时期(拔节期、大喇叭口期、吐丝期、乳熟期和成熟期)采集地上部植物样品(每处理采集3株),根据植株发育情况进行器官分离,105℃杀青30 min,再于80℃恒温烘干,烘干的植物样品经植物粉碎机粉碎混匀后,采用浓HNO₃-HClO₄-HCl消煮,BaSO₄比浊法测定植物全硫含量。

在玉米成熟期采集地上部植物样品(每小区采集10株),按常规法进行室内单株考种,并根据10

株产量换算单位面积籽粒产量。

1.4 数据分析

试验数据采用SAS 9.2统计分析软件进行方差分析,应用Duncan新复极差法进行多重比较。

群体净吸收量(kg·hm⁻²)=[生育时期末各器官生物量(g)×各器官的S含量(mg·g⁻¹)-生育时期初各器官生物量(g)×各器官的S含量(mg·g⁻¹)]/[种植面积(m²)×10²]

硫吸收强度(g·hm⁻²·d⁻¹)=群体净吸收量(g·hm⁻²)/各生育时期的生长时间(d)

收获指数=籽粒产量×100%/生物量

硫肥偏生产力=施硫区籽粒产量/硫肥用量

硫肥利用率=(施硫区硫素吸收量-不施硫区硫素吸收量)×100%/硫肥用量

硫肥农学利用率=(施硫区籽粒产量-不施硫区籽粒产量)/硫肥用量

2 结果与分析

2.1 施硫水平对夏玉米干物质积累、穗粒发育及籽粒产量的影响

随着生育进程,硫肥对夏玉米干物质积累的影响越来越明显,在乳熟期和完熟期施硫处理的玉米群体干物质积累量均高于不施硫处理(图2)。与对照相比,在乳熟期前,仅150 kg S·hm⁻²处理显著提高玉米群体干物质积累量(P<0.05);在乳熟和完

熟期, $112.5 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $150 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理显著提高玉米群体干物质积累量 ($P < 0.05$); 低施硫处理

($37.5 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $75 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$) 也提高玉米群体干物质积累量, 但影响未达到 0.05 显著差异水平。

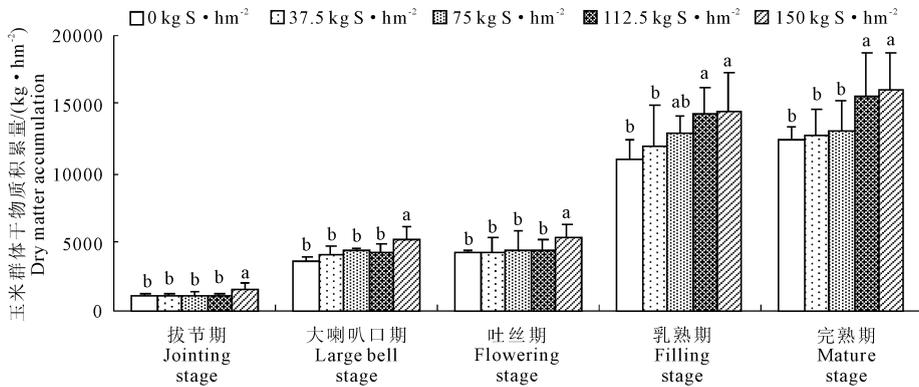


图 2 施硫水平对各生育时期玉米群体干物质积累的影响

Fig.2 Effects of sulfur application rate on dry matter accumulation in maize at different growth stages

注: 同生育时期不同字母者在 $P < 0.05$ 水平差异显著。

Note: Different letters in the same growing stages mean significant difference at $P < 0.05$.

施硫处理对玉米穗粒形态建成及籽粒产量的影响见 (表 1)。与对照相比, 低施硫处理 ($37.5 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $75 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$) 使玉米穗长分别提高 5.3% 和 5.4%, 高施硫处理 ($112.5 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $150 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$) 则使玉米穗长分别减小 1.3% 和 5.9%。高施硫处理显著降低玉米秃尖程度, $112.5 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $150 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理的降低幅度达 55.5% 和 50.8% ($P < 0.05$); 低施硫处理 ($37.5 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $75 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$) 对玉米秃尖也有降低作用, 但未达到

0.05 差异显著水平。施硫处理对千粒重的影响未达到 0.05 显著差异水平。75 $\text{kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $112.5 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理分别显著提高玉米籽粒产量 13.3% 和 22.1% ($P < 0.05$), 而 $150 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理则使玉米籽粒产量下降 8.0%。低施硫处理 ($37.5 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $75 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$) 分别提高玉米收获指数 6.1% 和 7.8%, 而 $112.5 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $150 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理的玉米收获指数分别下降 2.6% 和 28.5%, 其中 $150 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理的下降幅度达到 0.05 显著差异水平。

表 1 施硫水平对玉米穗粒形态建成及籽粒产量的影响

Table 1 Effects of sulfur application rate on ear morphology and yield of maize

施硫水平 Sulfur rate /($\text{kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$)	穗长 Ear length /cm	秃尖程度 Ear top length /cm	千粒重 1000-grain weight/g	产量 Maize yield /($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	收获指数 Harvest index /%
0	15.14a	1.28a	284.8a	5754.8cd	46.0a
37.5	15.95a	1.02ab	292.6a	6269.0bc	48.8a
75	15.96a	0.78ab	289.7a	6518.4ab	49.6a
112.5	14.95a	0.57b	285.8a	7023.6a	44.8ab
150	14.25a	0.63b	265.0a	5293.6d	32.9b

注: 同列不同字母者在 $P < 0.05$ 水平差异显著。下同。

Note: Different letters in the same columns mean significant difference at $P < 0.05$. The same as below.

2.2 不同施硫水平对夏玉米硫素吸收的影响

施硫处理对不同生育时期玉米硫吸收强度有显著影响 (表 2)。玉米硫吸收强度以大喇叭口期最高, 达到 $288.4 \sim 378.6 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$; 成熟期吸收强度最低, 仅为 $36.1 \sim 51.2 \text{ g} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ 。在拔节期和成熟期, 所有施硫处理均显著提高玉米硫吸收强度 ($P < 0.05$); 吐丝期和乳熟期, $75 \sim 150 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的硫肥处理显著提高玉米硫吸收强度 ($P < 0.05$), 低

水平施硫处理 ($37.5 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$) 则没有显著影响。

施硫处理对玉米硫肥利用效率的影响见表 3。玉米吸硫量随着施硫量的增加而提高, 施硫量达到 $112.5 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 后不再增加。玉米硫肥偏生产力则随着施硫量的提高而下降, 且各施硫处理之间差异显著 ($P < 0.05$); 玉米硫肥农学利用率随着施硫量的增加而下降, 在 $150 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理时出现负效率。玉米硫肥利用率总体较低, 均在 5% 以下。

表2 施硫水平对玉米硫吸收强度的影响/(g·hm⁻²·d⁻¹)

Table 2 Effects of sulfur application rate on sulfur uptake rate in maize

施硫水平 Sulfur rate /(kg S·hm ⁻²)	拔节期 Jointing stage	大喇叭口期 Large bell stage	吐丝期 Flowering stage	乳熟期 Filling stage	成熟期 Mature stage
0	65.0c	313.6ab	41.6c	101.5b	36.1b
37.5	72.8b	317.8ab	38.1c	121.2ab	50.6a
75	79.4b	288.4b	62.0b	168.1a	50.9a
112.5	71.6b	378.6a	129.2a	165.2a	49.5a
150	106.3a	376.1a	123.2a	168.0a	51.2a

表3 施硫水平对玉米硫肥利用的影响

Table 3 Effects of sulfur application rate on sulfur utilization in maize

施硫水平 Sulfur rate /(kg S·hm ⁻²)	玉米吸硫量 Sulfur uptake amount /(kg S·hm ⁻²)	硫肥偏生产力 Sulfur partial productivity /(kg·kg ⁻¹)	硫肥利用率 Sulfur use efficiency /%	硫肥农学利用率 Sulfur agronomic efficiency /(kg·kg ⁻¹)
0	10.6c	—	—	—
37.5	11.6c	167.2a	2.7c	13.7a
75	13.1ab	86.9b	3.3b	10.2b
112.5	15.4a	62.4c	4.3a	11.3b
150	15.9a	35.3d	3.5b	-3.1c

3 讨论

硫素营养在农业生产中的作用不容忽视。硫素是中量营养元素,作物对土壤硫素的绝对吸收量较少,通常情况下,关中地区土壤因含一定量硫酸钙而不会表现出缺硫问题。但是,在长期重视氮肥投入、忽视硫肥投入的农业耕作模式中,农田系统存在有效氮素总量高、有机质含量低、有效硫含量下降等问题,这种情况下施用硫肥对促进玉米叶绿体色素形成、提高玉米产量以及改善玉米水氮利用效率等具有积极作用^[9,14-17]。研究硫素营养对于改善农田水肥供给,提高作物抗逆性^[18]和抗旱性^[19],保障小麦、玉米等粮食作物生产具有现实意义。有关施氮提高玉米产量的研究已经有很多报道,氮肥对玉米生产的积极意义已取得共识^[20-23]。而有关硫肥对玉米生产的作用目前尚未形成定论。Fontanetto (2000)报道施硫可以提高玉米干物质产量^[7],Weil (2000)也指出施用硫肥对玉米产量存在积极作用^[24]。但是,Chen (2008)研究指出很多情况下施硫对玉米产量并不能产生显著影响^[12]。有关玉米硫素的研究结论之所以出现差异,主要是由于试验地区土壤有效硫总量以及施硫量等存在差异,还与土壤的供氮水平和施氮量的多少有关。在有效硫总量大的土壤上施用硫肥可能不会对玉米产量形成显著影响,而在缺硫土壤上则往往能验证硫素对玉米生产的积极意义。本试验地的有效硫含量为13.3

mg·kg⁻¹,处于硫素亏缺的边缘状态,因此在37.5~112.5 kg S·hm⁻²水平下施硫能够提高玉米籽粒产量,而当施硫量增加到150 kg S·hm⁻²时,不但无增产效应,玉米籽粒产量反而下降。

肥料品种的改变是引起缺硫的主要原因,过去常用的含硫化肥如硫酸铵、普钙、硫酸钾,日益为不含硫或含硫少的尿素、磷铵、重钙、氯化钾等所取代。我国50年代硫酸铵产量占氮肥总量的100%,至90年代已下降到0.7%。低浓度磷肥过磷酸钙是我国主要的硫源,20世纪90年代以前,我国磷肥品种以低浓度磷肥过磷酸钙与钙镁磷肥为主,两者总产量占总磷肥产量的86.4%。2003年以后,我国磷肥产量迅速增长,且从低浓度向高浓度发展,2007年磷肥产量达到1351.4万t,高浓度磷复肥产量达到992.4万t,占磷肥总产量73.4%。从我国土壤缺硫状况来看,中国南方10省估算的缺硫面积约为660万hm²^[25]。陕西省有27.1%的土壤缺硫,主要分布在中北部地区^[26]。随着高产品种的应用,关中地区氮肥用量大幅度增加,含硫肥料减少,土壤和作物硫养分缺乏的矛盾越来越突出。本研究发现,关中地区施用硫肥对夏玉米的肥效明显,112.5 kg S·hm⁻²施硫水平对玉米籽粒增产作用达到22%,该结果进一步验证了硫素对关中夏玉米生产的积极意义。但玉米硫肥偏生产力及农学利用率均随着施硫量的增加而下降,说明在当地夏玉米硫肥使用中应该确定适宜的硫肥用量,有必要在更为广阔的范围内进一步

研究关中地区不同土壤类型和种植方式下硫素肥效和硫肥合理使用问题。

4 结 论

1) 关中地区施硫可显著提高玉米群体生物量(干物质积累量)和玉米籽粒产量。

2) 玉米吸硫量随施硫量的增加而提高;大喇叭口期玉米对硫素的吸收强度最大,但其对硫肥反应较弱。

3) 施硫量为 $112.5 \text{ kg S} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,玉米籽粒产量、硫肥利用率和硫肥农学效率较高。

参 考 文 献:

- [1] Scherer H W. Sulphur in crop production Invited paper[J]. *European Journal of Agronomy*, 2001, 14:81-111.
- [2] Chen L, Dick W A, Nelson S J. Flue gas desulfurization products as sulfur sources for alfalfa and soybean[J]. *Agronomy Journal*, 2005, 97:265-271.
- [3] 王 利,高祥照,马文奇,等.中国农业中硫的消费现状、问题与发展趋势[J]. *植物营养与肥料学报*, 2008, 14(6):1219-1226.
- [4] 高义民,同延安,孙本华,等.陕西农田土壤硫分布特征及其与土壤性质的关系[J]. *西北农业学报*, 2005, 14(3):177-180.
- [5] 赵洪涛,周健民,范晓晖,等.太湖地区主要类型水稻土上施用不同硫肥对水稻氮、硫吸收的影响[J]. *土壤学报*, 2006, 43(5):864-867.
- [6] 曲 东,尉庆丰.陕西几种代表性土壤硫形态与土壤性质的关系[J]. *土壤通报*, 1996, 27(1):16-18.
- [7] Fontanetto H, Keller O, Inwinkelried R, et al. Phosphorus and sulfur fertilization of corn in the northern Pampas[J]. *Better Crops*, 2000, 14:1-5.
- [8] Sakal R, Singh A P, Sinha R B, et al. Relative performance of some sulphur sources on sulphur nutrition of crops in calcareous soil[J]. *Annals of Agricultural Research*, 2000, 21:206-211.
- [9] 王空军,胡昌浩,董树亭,等.硫水平对玉米氮、硫代谢特性及根系活性的影响[J]. *应用生态学报*, 2003, 14(2):191-195.
- [10] Prystupa P, Gutierrez Boem F H, Salvagioti F, et al. Measuring corn response to fertilization in the northern Pampas [J]. *Better Crops*, 2006, 90:25-27.

- [11] Capristo P R, Rizzalli R H, Andrade F H. Ecophysiological yield components of maize hybrids with contrasting maturity[J]. *Agronomy Journal*, 2007, 99:1111-1118.
- [12] Chen L, Kost D, Dick W A. Flue gas desulfurization products as sulfur source for corn[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2008, 72:1464-1470.
- [13] Agustín P, Hemún E E, Fernando H A, et al. Effects of nitrogen and sulfur application on grain yield, nutrient accumulation, and harvest indexes in maize[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2012, 35:1080-1097.
- [14] Scherer H W. Sulphur in crop production[J]. *European Journal of Agronomy*, 2001, 14:81-111.
- [15] 谢瑞芝.玉米基因型的硫效率差异及氮硫互作对产量、品质影响的研究[D].泰安:山东农业大学,2002:13-15.
- [16] 田文仲,朱云集,郭天财,等.水硫及其互作对冬小麦光合特性及产量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2009, 27(2):114-119.
- [17] 许 洁,曲 东,周莉娜.硫营养对锌和干旱胁迫下玉米叶片中叶绿素含量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(2):33-37.
- [18] 孔祥瑞,曲 东,周莉娜.硫营养对重金属胁迫下玉米和小麦根系导水率的影响[J]. *西北植物学报*, 2007, 27(11):2257-2262.
- [19] 曲 东,邵丽丽,王保莉,等.干旱胁迫下硫对玉米叶绿素及MDA含量的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2004, 22(2):91-94.
- [20] Dominguez G F, Studdert G A, Echeverria H E, et al. Crop systems and nitrogen nutrition in corn[J]. *Ciencia del Suelo*, 2001, 19:47-56.
- [21] Sainz Rozas H R, Echeverria H E, Herfuth E, et al. Nitrate in corn stalks. II. Diagnostic of nitrogen nutrition[J]. *Ciencia del Suelo*, 2001, 19:125-135.
- [22] Singer J W, Logsdon S D, Meek D W. Tillage and compost effects on corn growth, nutrient accumulation, and grain yield[J]. *Agronomy Journal*, 2007, 99:80-87.
- [23] Irshad M, Eneji A E, Khattak R A, et al. Influence of nitrogen and saline water on the growth and partitioning of mineral content in maize [J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2009, 32:458-469.
- [24] Weil R R, Mughogho S K. Sulfur nutrition of maize in four regions of Malawi[J]. *Agronomy Journal*, 2000, 92:649-656.
- [25] 刘崇群.中国南方土壤硫的状况和对硫肥的需求[J]. *磷肥与复肥*, 1995, (3):14-18.
- [26] 王 利,高祥照,马文奇,等.中国低浓度磷肥的使用现状与发展展望[J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12(5):732-737.

(上接第 78 页)

- [13] 赵久然,王荣焕.30年来我国玉米主要栽培技术发展[J]. *玉米科学*, 2012, 20(1):146-152.
- [14] 宋淑亚,刘文兆,王 俊,等.覆盖方式对玉米农田土壤水分、作物产量及水分利用效率的影响[J]. *水土保持研究*, 2012, 19(2):210-212, 217.
- [15] 汤文光,唐海明,肖小平,等.不同保水措施对南方季节性干旱区春玉米的影响[J]. *中国农业科技导报*, 2011, 13(2):102-107.
- [16] 卜玉山,苗果园,周乃健,等.地膜和秸秆覆盖土壤肥力效应分析与比较[J]. *中国农业科学*, 2006, 39(5):1069-1075.
- [17] 刘 伟,张吉旺,吕 鹏,等.种植密度对高产夏玉米登海 661 产量及干物质积累与分配的影响[J]. *作物学报*, 2011, 37(7):

1301-1307.

- [18] 黄振喜,王永军,李登海,等.产量 $15\ 000 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 以上夏玉米灌浆期间的的光合特性[J]. *中国农业科学*, 2007, 40(9):1898-1906.
- [19] 李 飒,彭云峰,于 鹏,等.不同年代玉米品种干物质积累与钾素吸收及其分配[J]. *植物营养与肥料学报*, 2011, 17(2):325-332.
- [20] 马赞花,薛吉全,张仁和,等.不同高产玉米品种干物质积累转运与产量形成的研究[J]. *广东农业科学*, 2010, (3):36-40.
- [21] 陈国平.玉米的干物质生产与分配[J]. *玉米科学*, 1994, 2(1):48-53.