

等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定 玉米和大豆根系伤流液中无机元素流量

段留生, 张明才, 董学会, 田晓莉, 李召虎

中国农业大学农学与生物技术学院, 农业部作物栽培与耕作重点开放实验室, 北京 100094

摘要 植物根系伤流液组分是根系活力和根冠关系的重要指标, 应用高压硝化处理 and ICP-AES 法分别同时测定了玉米(品种 3138)和大豆(品种鲁豆 11)根系伤流液中 18 种无机元素流量。结果表明玉米和大豆根系伤流液中无机元素种类、流量及随生长发育期变化均有差异。玉米根系伤流液中流量较大的为 K, Ca, Mg, P, Na, Si, Zn, Mn, Fe 等, 范围为 $1 \sim 1\ 851.5 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$, B, Cu 和 Mo 均低于 $1 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$, 检测不到 Co, Cd, Ba, Pb, Sr, As 的存在。从拔节期到灌浆期, 各无机元素流量有随生育期下降的趋势。大豆根系伤流液中流量较大的为 Ca, Mg, K, P, Na, Zn, Mn, Fe, Cu 等, 范围为 $1 \sim 1\ 158 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$, B 和 Mo 均低于 $1 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$, 检测不到 Si, Co, Cd, Ba, Pb, Sr, As 的存在, 各元素随大豆生长发育期呈现不同变化。

关键词 ICP-AES; 无机元素; 根系伤流液; 玉米; 大豆

中图分类号: O657.3; Q94-3 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3964/j.issn.1000-0593(2008)11-2671-03

引言

植物根系伤流液是根系活力和根冠关系的重要指标^[1], 伤流液组分的分析测定是植物生理中的重要研究技术。根系伤流液中除水分外, 主要组分有无机盐、氨基酸、可溶性糖、植物激素等^[2, 3]。吸收、运输无机元素是根系的重要功能之一, 根系伤流液中无机元素的种类和含量反映植物吸收和运输无机元素的特征, 同时也会响应逆境而变化^[2-4], 受施肥、植物生长调节剂处理等影响^[5, 6]。由于根系分布在地下, 取样困难, 容易受土壤等杂质的干扰, 而根系伤流液不仅能准确反映根系吸收和运输特征, 而且具有取样简便、不易受污染等优点, 是研究植物根系活力、根冠关系和逆境响应的良好材料。

植物根系伤流液中含有多种无机元素, 而且是相互关联的。以往研究中多重视大量元素如 P, K, Ca 及重要微量元素的量, 而对整体元素情况的研究较少。钼蓝比色法测定总磷、火焰光度计测定钾含量等测定方法仅测定单一元素的量。同时由于不同测定方法的检测限和误差不同, 难以对不同元素的量和比例进行系统分析。应用等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)可快速同时测定多种无机元素, 有用于玉米秸秆等材料中无机元素分析^[7]的报道。本文研究了 ICP-AES

测定单子叶作物玉米和双子叶作物大豆根系伤流液中元素含量的可行性, 对植物生理研究有重要的应用价值。

1 实验部分

1.1 实验材料和伤流液收集

玉米品种为农大 3138, 种植在中国农业大学试验田, 肥力中等, 宽窄行种植, 行距为 70 和 50 cm, 密度 60 000 株 $\cdot \text{hm}^{-2}$ 。在各生育期选择生长发育一致的植株 5 株, 在第 7 叶节处用刀片快速切断植株, 用去离子水将残茎切口冲洗干净, 套上指性套胶管, 用橡皮筋把指性套胶管固定在残茎上, 胶管接入三角瓶收集伤流液。收集 12 h(6:00pm 至次日 6:00am)。测量每株伤流液体积, 置 -40 °C 低温冰箱中保存。

大豆品种为鲁豆 11, 试验地条件同玉米, 种植行距 30 cm, 株距 10 cm。在各生育期选择生长发育一致的植株 5 株, 用蒸馏水冲洗主茎子叶节处, 擦干, 用刀片在子叶节处切断主茎, 将洁净的乳胶管套在基部茎干上, 收集 12 h(6:00pm-次日 6:00am)。测量每株伤流液体积, 置 -40 °C 低温冰箱中保存。

1.2 仪器与样品光谱测定

根系伤流液样品 5 mL, 电炉上蒸发、炭化至无烟, 在马

收稿日期: 2007-06-26, 修订日期: 2007-09-29

基金项目: 新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-06-0103)资助

作者简介: 段留生, 1969 年生, 中国农业大学农学与生物技术学院教授 e-mail: duanlsh@cau.edu.cn

弗炉中 600 °C 灰化 1 h。取出稍冷后放入高压硝化罐中,加入 5 mL 硝酸、3 mL 高氯酸、3 mL 氢氟酸,拧紧盖,130 °C 油浴中放置 4 h。稍冷后移入 50 mL 容量瓶,加入 0.5 mL H₂O₂ 及 0.5 mL 硝酸,用高纯水定容。用电感耦合等离子体原子发射光谱仪 ICP-PE3300DV(美国 PE 公司)测定其中无机元素含量。

由于同一植株间伤流液体积有差异,测定元素浓度后换算成每株每小时伤流液中元素的流量($\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$)。

2 结果分析

2.1 玉米根系伤流液中无机离子流量

玉米根系伤流液中无机元素种类和各元素流量见表 1。其中流量较大的元素依次为 K, Ca, Mg, P, Na, Si, Zn, Mn, Fe 等,流量范围在 $1 \sim 1\ 851.5 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$, B, Cu 和 Mo 的量极低,均低于 $1 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$,检测不到 Co, Cd, Ba, Pb, Sr, As 元素的存在。随玉米生长发育期的推进,根系伤流液中各种元素流量总体有随生育期下降的趋势,主要元素都在拔节期最高,灌浆期最低。

Table 1 Flux of inorganic elements in roots bleeding sap from maize plants(maize cultivar: 3138)

元素	不同发育期元素流量 / ($\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$)			
	拔节期	大喇叭口期	子粒形成期	灌浆期
P	158.12	72.80	109.97	14.64
K	1 851.50	1 180.30	149.73	70.67
Ca	493.35	460.65	240.16	32.60
Mg	403.65	406.38	233.74	24.65
B	0.90	0.08	0.92	0.15
Na	212.11	135.22	17.15	8.10
Mo	0.09	0.02	0.07	0.01
Si	59.22	6.14	50.09	18.67
Fe	1.65	0.21	1.21	0.13
Mn	6.03	0.96	4.21	0.81
Cu	0.05	0.01	0.03	0.01
Zn	11.18	1.86	10.8	1.62

检测不到的 Co, Cd, Ba, Pb, Sr, As 元素未列表中
(低于 $0.01 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$)

2.2 大豆根系伤流液中无机离子流量

大豆根系伤流液中无机元素种类和各元素流量见表 2。其中流量较大的元素依次为 Ca, Mg, K, P, Na, Zn, Mn, Fe, Cu 等,范围在 $1 \sim 1\ 158 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$, B 和 Mo 的量极低,均低于 $1 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$,检测不到 Si, Co, Cd, Ba, Pb, Sr, As 元素的存在。随大豆生长发育期的推进,根系伤流液中各种元素流量变化明显,不同元素间差异较大。Ca 流量在始荚-盛荚期最高, Mg 流量在分枝期最高, K 流量高峰出现在盛荚期, P 流量在分枝期-始荚期整体高于盛荚

期-灌浆期, Fe 和 Mn 随生长发育期呈下降趋势。

2.3 玉米和大豆根系伤流液中无机离子流量的差异

从表 1 和表 2 结果对比看,两种作物根系伤流液中检测到的无机元素基本相同,但含量高低和随生育期变化有一定差异。如玉米根系伤流液中 K 流量最大,而大豆根系伤流液中 K 的流量低于 Ca 和 Mg;玉米根系伤流液中 Si 的流量在 $6.14 \sim 59.22 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$ 之间,而在大豆根系伤流液检测不到;玉米根系伤流液中 Cu 的流量低于 $0.05 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$,而大豆根系伤流液中 Cu 流量较高,在盛花期可高达 $4.13 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$,约为玉米的 100 倍。玉米根系伤流液中各种元素流量总体有随生育期下降的趋势,而大豆中多数元素呈现起伏变化。

Table 2 Flux of inorganic elements in roots bleeding sap from soybean plants(soybean cultivar: Ludou 11)

元素	不同发育期元素流量 / ($\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$)					
	分枝期	盛花期	始荚期	盛荚期	始粒期	灌浆期
P	111.00	200.00	238.00	57.90	69.20	66.70
K	577.00	204.00	417.00	996.00	333.00	192.00
Ca	709.00	82.50	1 418.00	158.00	238.00	308.0
Mg	851.00	349.0	516.00	83.30	350.00	66.70
B	0.51	0.87	0.10	0.08	0.04	0.08
Na	29.40	261.00	49.60	87.50	42.10	45.00
Mo	0.12	0.07	0.14	0.02	0.02	0.01
Fe	15.2	1.38	1.09	0.46	0.33	0.17
Mn	15.2	5.23	4.17	1.25	0.58	0.08
Cu	1.32	4.13	0.6	0.04	0.38	1.25
Zn	17.2	38.5	4.26	1.21	2.00	2.50

检测不到的 Si, Co, Cd, Ba, Pb, Sr, As 元素未列表中
(低于 $0.01 \mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$)

3 讨论

与经典的火焰、电弧、火花光谱分析及原子吸收相比, ICP-ASE 具有线形动态范围宽约 4~5 个数量级的特点,而且有灵敏度高、稳定性好、基体效应小、分析速度快,可同时分析多种元素等优点^[7,8]。本实验结果表明该方法适用于根系伤流液中多种无机元素的分析,可用于根系活力、根冠关系及其调控的研究。

实验结果表明玉米、大豆根系伤流液中无机元素的种类和流量有一定差异,可能是不同物种根系吸收、运输无机元素的特点不同;不同无机元素流量随生育期呈现不同的变化,表明作物不同生育期无机元素的吸收和运转不同,文献[9,10]用其他检测方法研究的结果也表明,水稻、棉花根系伤流液中 P 和 K 等主要无机元素量随生育期变化。本实验同步检测到 10 种以上元素流量变化,有利于根据作物特点分析元素间的关系。

参 考 文 献

- [1] JIN Cheng-zhong, XU De-wei(金成忠, 许德威). Plant Physiology Communications(植物生理学通讯), 1959, (4):51.
- [2] SHI Xiang-dong, LIU Yan-fang, WEN Zhi-qiang, et al(时向东, 刘艳芳, 文志强, 等). Journal of Anhui Agricultural Science(安徽农业科学), 2006, 34(10): 2043.
- [3] Marschner H. Mineral Nutrition of Higher Plants. London: Academic Press, 1995, 55.
- [4] TIAN Xiao-li, YANG Pei-zhu, HE Zhong-pei, et al(田晓莉, 杨培珠, 何钟佩, 等). Journal of China Agricultural University(中国农业大学学报), 1999, 4(5): 94.
- [5] ZHANG Ming-cai, ZHAI Zhi-xi, HE Zhong-pei, et al(张明才, 翟志席, 何钟佩, 等). Acta Agriculturae Boreali-Sinica(华北农学报), 2007, 22(1): 44.
- [6] DONG Xue-hui, DUAN Liu-sheng, LI Zhao-hu, et al(董学会, 段留生, 李召虎, 等). Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica(西北植物学报), 2005, 25(3): 587.
- [7] SUN Yong, YANG Gang, ZHANG Jin-ping, et al(孙 勇, 杨 刚, 张金平, 等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2007, 27(2): 371.
- [8] HAN Li-xin, LI Ran(韩立新, 李 冉). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2002, 22(2): 304.
- [9] CHANG Jiang, ZHANG Zi-li, GAO Hong-jian, et al(常 江, 张自立, 高红建, 等). Plant Nutrition and Fertilizer Science(植物营养与肥料学报), 2004, 10(5): 522.
- [10] GENG Ming-jian, ZHU Jian-hua, WU Li-shu, et al(耿明建, 朱建华, 吴礼树, 等). Chinese Journal of Soil Science(土壤通报), 2006, 37(4): 744.

Application of ICP-AES to Detection of Inorganic Elements in Roots Bleeding Sap from Maize and Soybean Plants

DUAN Liu-sheng, ZHANG Ming-cai, DONG Xue-hui, TIAN Xiao-li, LI Zhao-hu

Key Laboratory of Crop Cultivation and Farming System of the Ministry of Agriculture, College of Agronomy and Biotechnology, China Agricultural University, Beijing 100094, China

Abstract The constituents of the roots bleeding sap are an important index characteristic of roots activity and roots-shoots relationship. To compare the differences between the constituents of roots bleeding sap from maize and soybean plants, roots bleeding saps were collected from maize (*Zea mays* L. cultivar 3138) and soybean [*Glycine max* (L.) Merr. cultivar Ludou 11] plants at different growth and development stages under field condition, and the inorganic elements were determined by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry (ICP-AES). The results indicated that both the constituents of inorganic elements and flow intensities were various between roots bleeding saps from maize and soybean plants at different growth and development stages. The flux of inorganic elements in roots bleeding sap showed different trends with progress in plants growth and development. In the roots bleeding sap from maize, the predominant inorganic elements were K, Ca, Mg, P, Na, Si, Zn, Mn and Fe, with flux ranging from 1 to 1 851.5 $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$. The flux of B, Cu and Mo was relatively lower and less than 1 $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$, while none of the elements of Co, Cd, Ba, Pb, Sr and As could be detected, and was estimated to be lower than 0.01 $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$ based on the detection limit. The flow of most inorganic elements showed decreasing trends with plant development progressing from booting to grain filling stage. In the roots bleeding sap from soybean, Ca, Mg, K, P, Na, Zn, Mn, Fe and Cu were found as predominant inorganic constituents, ranging from 1 to 1 158 $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$. The flow of both B and Mo was found lower than 1 $\mu\text{g} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{plant}^{-1}$, and none of Si, Co, Cd, Ba, Pb, Sr and As could be found. With the growth and development, different inorganic elements showed various changing pattern.

Keywords ICP; Inorganic elements; Roots bleeding sap; Maize (*Zea mays* L.); Soybean

(Received Jun. 26, 2007; accepted Sep. 29, 2007)