

植物激素处理对向日葵富集¹³³Cs的影响

郭梦露 (菏泽学院生命科学系, 山东菏泽 274015)

摘要 [目的] 探寻高效修复¹³³Cs 污染的技术手段。[方法] 通过土壤盆栽试验, 研究生长素(IAA)、赤霉素(GA)、水杨酸(SA)3种植物激素对超富集植物向日葵吸收和积累¹³³Cs的影响。[结果]¹³³Cs胁迫下, 施用植物激素能显著增加向日葵对¹³³Cs的吸收、转运、积累富集。与茎和根相比, 叶、花为主要富集¹³³Cs的器官。3种激素作用下的单株累积量总体表现为SA > GA > IAA。[结论] 500 mg/L SA处理下, 向日葵对¹³³Cs的吸收量、转运系数、富集系数达到最大值。

关键词 ¹³³Cs; 植物激素; 植物修复

中图分类号 S565.5 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)12-0017-03

Effects of Exogenous Phytohormones on Accumulation of ¹³³Cs by *Helianthus annuus* L.

GUO Meng-lu (Department of Life Sciences, Heze University, Heze, Shandong 274015)

Abstract [Objective] To discuss a high efficient phytoremediation technology for ¹³³Cs pollution. [Method] Pot experiment was adopted to study effects of three exogenous phytohormones on the uptake and accumulation of ¹³³Cs by *Helianthus annuus* L., which is a kind of hyperaccumulator plants. [Result] After using phytohormones, the absorptive, transferred and accumulative capacity of ¹³³Cs by the sunflower plants were obviously higher than the control. ¹³³Cs contents were higher in leaves and flowers as compared with stems and roots. The accumulation ability of phytohormones was SA > GA > IAA under the application of three exogenous phytohormones. [Conclusion] The treatment of 500 mg/L SA has maximal absorption dose, transfer coefficient, accumulation factor of ¹³³Cs.

Key words ¹³³Cs; Phytohormone; Phytoremediation

¹³⁷Cs 是一种人工放射性核素, 半衰期(T/2)长达 30.17 年, 与 K 属同族元素在化学性质上十分相似, 是一种核裂变产物, 一旦进入人体, 便迅速分布于人体各部位。目前环境中铯(Cs)主要来源于全球大气层核爆炸散落的灰。切尔诺贝利核泄漏事件中近 60 万人受到大剂量的核辐射, 其中 Cs 的释放量约 0.09 EBq^[1], 治理 Cs 污染势在必行。一些报道证实了植物修复放射性污染的可行性, 扩大了植物修复的技术覆盖范围。Küpper 等^[2]研究成熟叶片中 Zn 主要积聚在表皮细胞中, 而叶绿素细胞中 Zn 的含量较低, 可见重金属离子被植物吸收后, 主要集中在表皮毛、细胞壁、液泡等一些非生理活动区, 从而减少了重金属对植株的毒害效应。Broadley 等^[3]研究⁹⁰Sr 和 Cs 污染的植物修复时发现, 不同种、科、属的植物对放射性核素的积累存在很大差异, 而同种植物的不同部位对核素的积累也不同。Dushenkov 等^[4]对切尔诺贝利核电站泄漏后周围大面积受污染土壤的植物修复研究发现, Cs 污染地区苋属植物中反生物量较大, 生长良好, 富集土壤中的 Cs 含量也高达 20.7%。

植物修复这一环境治理技术, 在修复植物的品种筛选、修复机理研究及应用方面都存在不足, 合理地使用生长调节剂可以减少污染物对植物生理的不利影响, 缓和胁迫的同时维持植物正常的生长发育, 更有利于植物对污染元素的吸收、累积和转运。植物调控体内激素水平是其适应重金属胁迫的重要方式^[5]。¹³³Cs 是¹³⁷Cs 的同位素, 化学性质相似, 且没有放射性, 实验室研究一般选取¹³³Cs 作为研究材料, 可以直接反映出¹³⁷Cs 的理化性质。为了净化放射性和重金属污染的土壤, 强化植物修复受重金属、核素污染土壤的效率, 笔者选取生长快、生物量大且具有一定富集力的向日葵(*Helianthus annuus* L.)为试验材料进行土壤盆栽试验, 研究植株在土壤中对 Cs 的富集能力, 为¹³³Cs 污染土壤植物修复提供一定的科学依据。

为试验材料进行土壤盆栽试验, 研究植株在土壤中对 Cs 的富集能力, 为¹³³Cs 污染土壤植物修复提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验地点设在菏泽学院。气候属于暖温带季风大陆性气候, 年平均降水量 690 mm, 平均气温 14.7 °C。试验用土为菏泽学院试验基地样土。将土壤放于避光通风处自然风干、剔除杂物、捣碎、过筛。用 pH 计分别测土壤的水溶和盐溶 pH; 土壤有机质测定采用 Tyurin 的方法^[6]; 1 g 经过研磨过筛的土壤与 5 mL 去离子水混合均匀, 静止后通过电导仪测定土壤电导率。试验土壤的主要理化性质: 有机质 11.3 g/kg, pH(盐溶)6.68, pH(水溶)7.52, 电导率 1.31 mS/cm, 有效氮 47 mg/kg, 有效磷 43 mg/kg, 有效钾 101 mg/kg。

1.2 试验材料 向日葵俗称葵瓜子原产北美洲, 一年生草本, 性喜温暖; 耐旱, 高 1~3 m, 茎直立, 粗壮, 圆形多棱角; 四季皆可生长, 主要以夏、冬 2 季为主; 花期可达 14 d 以上; 种子含油量极高, 为重要的油料作物。向日葵为镉、铯超富集植物, 生物量较大, 富集核素能力强。该试验选取向日葵作为试验材料, 种子购于济南亿禾世纪园林绿化有限公司, 为早熟抗旱品种。

1.3 试验方法 设 10 个处理, 分别为施生长素 10 mg/L (IAA1)、100 mg/L (IAA2)、1 000 mg/L (IAA3), 施赤霉素 500 mg/L (GA1)、1 000 mg/L (GA2)、2 000 mg/L (GA3), 施水杨酸 100 mg/L (SA1)、500 mg/L (SA2)、1 000 mg/L (SA3), 以施用清水为对照(CK), 每个处理 3 次重复, 每个处理 9 株, 共计 90 株。试验采用盆栽方式, 2015 年 3 月 19 日播种向日葵, 大田育苗, 4 月 21 日待向日葵长出 4~6 片子叶后移苗, 每盆 3 株, 试验用盆直径 30 cm、高 23 cm, 每盆装 6 kg 土壤, ¹³³Cs 以水溶液形式均匀混合于土壤中, ¹³³Cs 的施加形式

为 CsCl, 施加浓度为 20 mg/kg, 将向日葵苗定植于¹³³Cs 处理的土壤中, 按不同的处理配制成不同浓度的水溶液, 继续培育 30 d, 5 月 21 日喷施激素处理向日葵叶表面。

试验期间露天栽培, 依盆中缺水情况不定期浇水, 使土壤中的持水量保持在 70% ~ 80%。6 月 10 日向日葵成熟收获植株。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 向日葵各生长指标的测定。收获的向日葵, 用去离子水洗净, 沥干水分, 将根、茎、叶分开, 在 105 °C 杀青 30 min, 70 °C 下烘至恒重(烘约 48 h), 分别称其干重。向日葵的根、茎、叶、花部生物量利用天平直接称取, 株高、主根长、根茎粗和花球直径利用卷尺和游标卡尺测定。

1.4.2 ¹³³Cs 含量的测定。将烘干的植物样品研磨后, 准确称取 0.2 g 处理样品置于三角瓶中, 加入 10 mL 混合酸(硝酸: 高氯酸体积比 3: 1), 加盖过夜。样品液倒入凯式烧瓶中, 在电炉上消解, 直至冒白烟, 消化液呈无色透明。用 0.5 mol/L 硝酸定容到 100 mL。采用火焰原子吸收光谱法测定植物样品中¹³³Cs 含量, 测试仪器为美国 PE 公司 AA700 火焰原子吸收光谱仪。

2 结果与分析

2.1 植物激素处理下¹³³Cs 对向日葵生长的影响

2.1.1 对向日葵生物量的影响。从图 1 可以看出, 3 种植物激素的处理显著增加了向日葵根、茎、叶、花部的生物量, 与对照相比具有显著性差异($P < 0.05$)。3 种激素处理对向日葵生物量的增加作用不一致, 对根部生物量的影响为 IAA > SA > GA, 对茎、叶、花部生物量的影响为 GA > SA > IAA。在 100 mg/L IAA 处理下, 根部生物量达到最大值, 高于对照 163.28%; 500 mg/L 赤霉素处理下, 茎、叶、花部生物量达到最大值, 分别为对照的 2.12、1.83、1.93 倍。

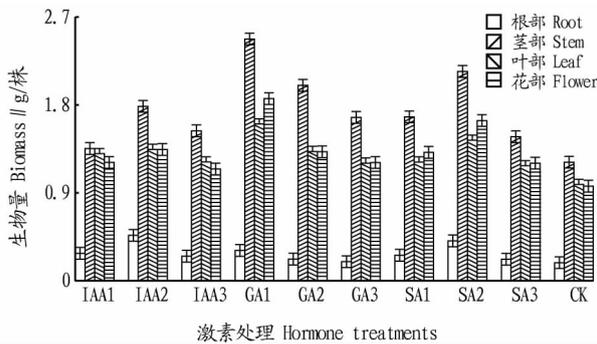


图 1 植物激素处理对向日葵各器官生物量的影响

Fig. 1 The effect of hormone treatments on the biomass of different sunflower plants' parts

2.1.2 对向日葵生长指标的影响。由表 1 可知, 各激素处理株高、主根长、茎粗、花球直径最大值分别为 72.56 cm、7.93 cm、3.85 mm、4.68 cm, 分别比对照高 57.26%、131.87%、74.21%、116.67%, 与对照有极显著差异($P < 0.01$)。GA3 处理下主根长最短, 为 4.14 cm, 与对照差异极显著($P < 0.01$); IAA1 处理下, 株高最低, 为 48.82 cm, 与 CK 差异极显著; IAA3 处理下, 茎粗、花球直径最小, 分别为 2.35、

2.46 cm。100 mg/L 的生长素有利于根的生长, 500 mg/L 的赤霉素对植株茎粗、株高、花球直径的增加作用显著, 可见添加激素的浓度过大对植株的生长会产生抑制作用。

表 1 植物激素处理对向日葵生长指标的影响

Table 1 The effect of hormone treatments on the vegetative growth of sunflower plants

处理 Treatment	株高 Plant length cm	主根长 Root length cm	茎粗 Stem diameter mm	花球直径 Flower diameter cm
CK	46.14 Jj	3.42 Jj	2.21 li	2.16 li
IAA1	48.82 li	6.32 Cc	2.63 Dd	2.72 Hh
IAA2	58.46 Dd	7.93 Aa	2.46 Ff	2.94 Ee
IAA3	50.12 Hh	5.44 Gg	2.35 Gg	2.46 li
GA1	72.56 Aa	5.54 Ff	3.85 Aa	4.68 Aa
GA2	60.38 Cc	4.81 Hh	2.93 Cc	3.12 Cc
GA3	51.22 Gg	4.14 li	2.41 Gg	2.78 Gg
SA1	56.18 Ee	5.71 Dd	2.53 Ee	3.06 Dd
SA2	66.78 Bb	6.96 Bb	3.42 Bb	3.74 Bb
SA3	54.14 Ff	5.63 Ee	2.32 Hh	2.82 Ff

注: 不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著, 不同大写字母表示在 0.01 水平差异极显著

Note: Different small letters represent significant difference at 0.05 level. Different capital letters represents significant difference at 0.01 level

2.2 植物激素处理下向日葵对¹³³Cs 的富集特征

2.2.1 向日葵各器官对¹³³Cs 的吸收情况。从图 2 可以看出, 和对照相比, 不同激素处理后, 各器官¹³³Cs 含量均高于对照, 3 种激素对各器官¹³³Cs 含量的作用效果总体趋势表现为 SA > GA > IAA。SA 处理下, 在 500 mg/L SA 浓度处理下, 根、茎、叶、花部¹³³Cs 含量达到所有处理的最大值。

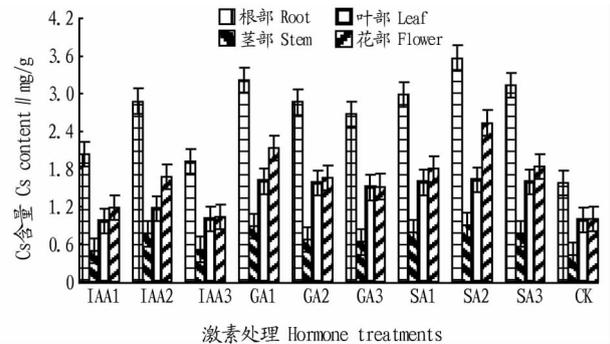


图 2 激素处理下向日葵各器官对¹³³Cs 的吸收量

Fig. 2 The ¹³³Cs content of various organs of sunflower plants under hormone treatments

2.2.2 向日葵对¹³³Cs 的转运特征。从图 3 可以看出, 各处理下转运系数均小于 1.00, 与对照相比, 3 种植物激素处理均提高了¹³³Cs 的转移系数, 且叶、花部对¹³³Cs 的转运系数显著高于茎部, 3 种激素的处理效果总体趋势表现为 SA > GA > IAA。

茎部转运系数均小于 1.00, 数值变化范围为 0.206 ~ 0.283, TF 的最小值出现在处理 IAA3, 与对照差异不显著, 最大值出现在处理 SA2, 其值分别为 0.215、0.289, 分别为对照的 1.04、1.41 倍。叶部转运系数均小于 1.00, 变化范围为 0.546 ~ 0.631, IAA3 处理下, TF 的值最小, SA2 处理下 TF 的

值达到最大。

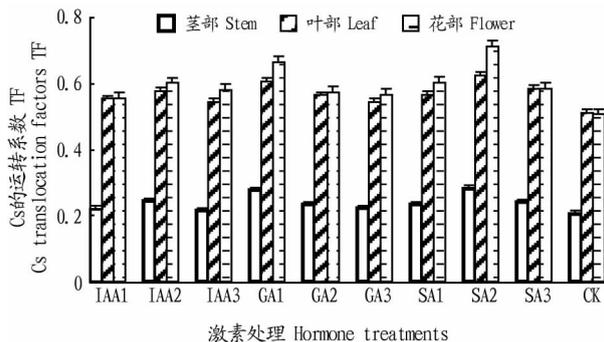


图3 植物激素处理下向日葵各器官对¹³³Cs 的转运系数

Fig.3 The ¹³³Cs translocation factors of sunflower plants under hormone treatments

2.2.3 向日葵对¹³³Cs 的富集特征。从图4可以看出,与对照相比,3种植物激素处理均增大了¹³³Cs 的富集系数,3种激素的处理效果总体趋势表现为 SA > GA > IAA,各器官对¹³³Cs 的富集规律总体表现为根部 > 花部 > 叶部 > 茎部。

根部富集系数普遍高于其他器官,IAA1 处理下,富集系数最小,与对照差异不显著;SA2 处理下,根部富集系数达最大,其值分别为 9.61、18.28,分别为对照的 1.22、2.32 倍。500 mg/L 的 SA 处理下,茎部富集系数达到了全部处理的最大值,为对照的 2.17 倍。叶部富集系数显著高于茎部,各处理下其值均大于 4.00,表明叶部对土壤中的¹³³Cs 具有很高的吸收转运能力。

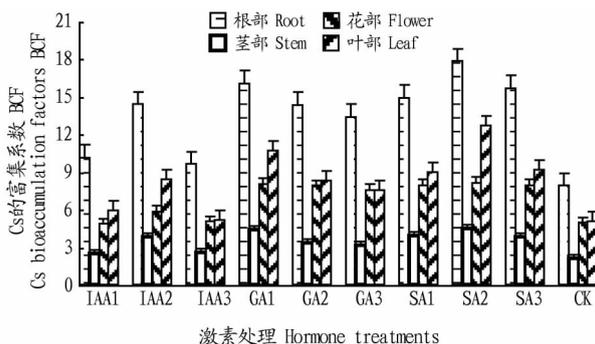


图4 植物激素处理下向日葵各器官对¹³³Cs 的富集系数

Fig.4 The ¹³³Cs bioaccumulation factors of various organs of sunflower plants under hormone treatments

3 结论与讨论

3.1 植物激素处理下¹³³Cs 对向日葵生长的影响 植物激素能促进细胞分裂和伸长,以及新器官的分化和形成,对植物的生长发育和生理生化有重要影响,施加生长素、赤霉素和水杨酸均增加了向日葵在¹³³Cs 污染土壤中的生物量,3种激素处理对向日葵生物量的增加作用不一致,其对根部生物量的影响为 IAA > SA > GA,对茎、叶、花部生物量的影响为 GA > SA > IAA,说明适当浓度的生长素更有利于根的生长,而赤霉素对茎、叶、花部的影响更显著,且显著增加地上部和单株向日葵的生物量。植物激素处理下向日葵的株高、主根长、茎粗、花球直径显著高于对照,其中激素对主根长的影响总体趋势表现为 IAA > SA > GA,对株高、茎粗的作用效果趋

势为 GA > SA > IAA。100 mg/L 的生长素有利于根的生长,500 mg/L 的赤霉素对植株茎粗、株高、花球直径的增加作用显著,激素的添加跟其他的逆境调节因子相似,都有一定的有效作用浓度范围,在一定的浓度范围内可以促进植物生长发育,增加植株的生物量,但处理浓度过大反而不利于植株的生长。相近研究如 Hadi 等^[7] 研究改进富含铅土壤中的玉米生长状况时,分别向玉米植株喷洒 IAA、GA₃、EDTA,结果显示,单独喷洒 0.1 mol/L 的 IAA,0.1 mol/L 的 GA₃ 均能增加植株的根长、株高,与对照相比显著提高了玉米的生物量和铅的吸收量。

3.2 植物激素处理下向日葵对¹³³Cs 的富集特征分析 3种植物激素处理均提高了¹³³Cs 在向日葵植株内的积累量,且增加了¹³³Cs 的转运、富集系数,显著高于对照,3种植物激素 (IAA、GA、SA) 的最佳施加浓度,分别为 100、500、500 mg/L。500 mg/L SA 处理下,向日葵植株对¹³³Cs 的吸收量、转运系数、富集系数均达到最高值。

向日葵的根、茎、叶、花部对¹³³Cs 的吸收能力与激素的种类和水平有关,3种激素的处理效果总体趋势表现为 SA > GA > IAA,富集系数均大于 1.00,与对照相比,3种植物激素处理均提高了¹³³Cs 的转移、富集系数,茎部对¹³³Cs 的富集能力显著低于根、叶、花部,根部对¹³³Cs 的富集能力普遍高于其他部位,可能由于植株通过根膜从土壤或水中吸收元素,首先在根部组织间蓄积、传输,最终结合于特定部位。而地上部对¹³³Cs 的富集总量显著高于根部,说明向日葵植株对¹³³Cs 的富集主要集中在地上部。10 mg/L 的生长素处理下,各器官转运¹³³Cs 的能力最低,而 500 mg/L 的水杨酸处理显著提高了各器官¹³³Cs 的转运能力,更有助于¹³³Cs 从根部到茎、叶、花部的迁移。相近研究如 López 等^[8] 联合施加 0.12 mmol/L EDTA 和 100 μmol/L IAA 处理显著增加了紫花苜蓿叶片中铅的含量,是铅单一处理下富集量的 29 倍,是 EDTA 单一处理下的 7 倍。Wang 等^[9] 研究认为,外施 SA 处理决明,可以增加决明根系对 Al³⁺ 的吸收富集。

参考文献

- [1] ROCA, M C, VALLEJO V R. Effect of soil potassium and calcium on caesium and strontium uptake by plant roots[J]. Journal of environmental radioactivity, 1995, 28(2): 141 - 159.
- [2] KÜPPER H, ZHAO F J, MCGRATH S P. Cellular compartmentation of zinc in leaves of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* [J]. Plant Physiol, 1999, 119(1): 305 - 311.
- [3] BROADLEY M R, WILLEY N J. Differences in root uptake of radiocaesium by 30 plant taxa [J]. Environ Pollut, 1997, 97(1/2): 11 - 15.
- [4] DUSHENKOV S. Trends in phytoremediation of radionuclides [J]. Plant and soil, 2003, 249(1): 167 - 175.
- [5] PANG J, CHAN G S Y, ZHANG J, et al. Physiological aspects of vetiver grass for rehabilitation in abandoned metalliferous mine wastes [J]. Chemosphere, 2003, 52: 1559 - 1570.
- [6] SOUDEK P, VALENOVÁ S, VAVRÍKOVÁ Z, et al. ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr uptake by sunflower cultivated under hydroponic conditions [J]. Journal of environmental radioactivity, 2006, 88(3): 236 - 250.
- [7] HADI F, ALI N, AHMAD A. Enhanced phytoremediation of cadmium-contaminated soil by *Parthenium hysterophorus* plant; Effect of gibberellic acid (GA₃) and synthetic chelator, alone and in combinations [J]. Bioremediation journal, 2014, 18(1): 46 - 55.

(下转第 21 页)

表 1 不同品种的农艺性状

Table 1 Agronomic traits of different varieties

品种 Varieties	株高 Plant height cm	穗位高 Ear high cm	穗长 Ear length cm	穗粗 Ear diameter cm	穗行数 Kernel rows per ear 行	行粒数 Kernels per row 粒	秃尖 Bald tip cm
裕玉 207Yuyu 207 (CK)	265.51	98.81	21.51	5.25	17.45	37.45	1.70
海禾 23 Haihe 23	278.00	124.50	19.88	5.55	17.00	35.40	2.80
金玉 818Jinyu 818	280.50	141.00	20.85	5.65	14.30	35.80	2.00
天池 2 号 Tianchi No. 2	247.00	104.00	20.43	5.35	16.70	35.60	1.75
宝玉 007 Baoyu 007	236.50	110.50	21.30	5.15	14.40	40.15	0.80
正红 311 Zhenghong 311	277.50	135.50	19.39	4.65	14.90	36.60	1.80
源育 16 Yuanyu 16	219.00	87.50	15.05	4.90	13.70	27.50	1.88
贵农玉 898Guinongyu 898	231.50	97.00	17.48	4.85	14.20	33.65	1.30
金峰 5688 Jinfeng 5688	260.00	101.00	17.35	5.25	15.10	35.60	0.98
黔黄 737Qianhuang 737	263.00	118.50	17.83	5.30	15.60	35.20	1.85
腾龙 1 号 Tenglong No. 1	238.50	85.50	21.38	5.28	15.50	38.70	2.13
帮豪玉 158 Banghaoyu 158	221.50	82.00	17.53	5.20	15.00	33.80	1.78
天玉 168 Tianyu 168	229.00	92.50	20.00	4.90	16.30	35.30	1.93
三峡玉 3 号 Sanxiayu No. 3	223.00	78.50	18.60	4.10	14.70	26.30	3.07
黔黄 375 Qianhuang 375	275.00	115.50	18.60	4.90	16.20	34.70	1.90
三北 89 Sanbei 89	259.50	102.50	18.78	5.10	14.40	36.70	0.50
裕单 99 Yudan 99	261.50	112.50	18.98	5.28	15.00	34.70	1.94
卓玉 818 Zhuoyu 818	258.00	110.00	19.43	5.75	17.40	29.60	2.68
和玉 808 Heyu 808	247.50	98.50	18.10	6.00	17.20	33.35	2.05
天玉 3000 Tianyu 3000	259.50	99.00	19.40	5.15	16.40	29.30	1.80
川玉 13 Chuanyu 13	285.00	119.00	19.15	5.10	14.60	36.75	2.25
福单 2 号 Fudan No. 2	250.50	117.50	18.30	5.05	13.70	30.75	1.70
正大 999 Zhengda 999	277.00	125.50	21.80	5.25	15.30	38.65	1.83
濮单 6 号 Pudan No. 6	267.00	133.00	19.23	5.33	16.63	34.47	2.36
华丰 99 Huafeng 99	256.50	95.00	20.03	5.55	16.50	34.30	1.78
三农 201 Sannong 201	278.00	123.00	18.53	5.25	15.40	34.20	1.50
齐单 1 号 Qidan No. 1	264.00	107.00	18.10	5.60	15.50	33.45	1.18
陕单 609 Shandan 609	255.00	117.50	19.10	5.60	14.90	32.20	1.45
安玉 2166 Anyu 2166	286.00	117.00	19.43	5.43	17.80	34.50	0.78
露新 23 Luxin 23	249.50	92.50	22.75	5.25	16.00	35.80	2.45
富春 339 Fuchun 339	269.00	104.50	21.00	5.50	15.60	39.55	1.75

(2) 综合考虑, 株高、穗位、果穗适中的品种有露新 23、正大 999、腾龙 1 号、宝玉 007、富春 339、金玉 818、天池 2 号、华丰 99、海禾 23、安玉 2166、卓玉 818、天玉 3000、濮单 6 号、川玉 13。

参考文献

- [1] 黎礼谦, 罗晓林, 舒中兵, 等. 耐密玉米新组合的农艺性状分析[J]. 湖北农业科学, 2014, 35(9): 1996-1997.
- [2] 贾波, 蒋思霞, 邓德祥, 等. 玉米农艺性状 QTL 定位分析[J]. 玉米科学, 2011, 19(3): 31-34.
- [3] 陈发波, 杨克诚, 荣廷昭, 等. 西南及四川区试玉米组合主要性状分析

及育种对策探讨[J]. 玉米科学, 2007, 15(4): 41-45.

- [4] 洪德峰, 张学舜, 马毅, 等. 黄淮海部分优良玉米品种产量及主要农艺性状相关和通径分析[J]. 中国种业, 2010(1): 48-50.
- [5] 毕世敏, 舒中兵, 申萍. 遵义部分主推玉米品种产量及其相关性状分析[J]. 种子, 2012, 31(2): 65-67.
- [6] 舒中兵, 陈浪, 段明禹, 等. 适当增加种植密度对遵义市玉米新品种增产的效果[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(20): 5190-5192.
- [7] 段明禹, 舒中兵, 胡章凯, 等. 不同种植密度对遵义地区玉米主推品种产量及相关性状的影响[J]. 现代农业科技, 2012(20): 9-10.
- [8] 苏鹏飞, 郭丽琢. 不同玉米品种对比试验[J]. 农业科技与信息, 2016(5): 76-77.

(上接第 19 页)

- [8] LÓPEZ M L, PERALTA-VIDEA J R, BENITEZ T, et al. Enhancement of lead uptake by alfalfa (*Medicago sativa*) using EDTA and a plant growth promoter[J]. Chemosphere, 2005, 61(4): 595-598.

- [9] WANG H H, SHAN X Q, WEN B, et al. Effect of indole-3-acetic acid on lead accumulation in maize (*Zea mays* L.) seedlings and the relevant antioxidant response[J]. Environ Exp Bot, 2007, 61(3): 246-253.