

除草剂对毛桃幼苗生长与光合的影响

宋宏峰*, 郭磊, 张斌斌, 汪晨雨

(江苏省农业科学院园艺研究所, 江苏省高效园艺作物遗传改良重点实验室, 南京 210014)

摘要: 以毛桃 [*Prunus persica* (L.) Batsch.] 1 年生幼苗为材料, 研究土施除草剂对其生长发育、根系结构以及光合作用等的影响。结果表明: 土施百草枯后, 毛桃幼苗根系细胞电解质渗透率在初期显著升高, 随后受损伤程度减轻; 处理后 40 d 叶片蒸腾速率升高, 叶片水分利用率、地上部干物质质量显著降低。施用草甘膦对幼苗外部形态影响较明显, 处理后 7 d, 幼叶变黄、向上卷曲, 根系细胞电解质渗透率始终显著高于清水处理对照; 处理后 40 d, 根总体积、总根长、总表面积以及根尖数显著减少, 叶片净光合速率、气孔导度、蒸腾速率下降, 植株干物质积累量也显著降低, 表明草甘膦可通过根部传导危害地上部, 桃园应尽量避免草甘膦等内吸性除草剂的使用。

关键词: 桃; 除草剂; 胁迫; 响应

中图分类号: S 662.1

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2014) 11-2208-07

Effects of Herbicides on Growth and Photosynthesis of *Prunus persica* Seedlings

SONG Hong-feng*, GUO Lei, ZHANG Bin-bin, and WANG Chen-yu

(Institute of Horticultural, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences/Jiangsu Key Laboratory of Horticultural Crop Genetic Improvement, Nanjing 210014, China)

Abstract: Taking one-year old peach [*Prunus persica* (L.) Batsch.] seedlings as test materials. This paper studied the effects of herbicides (glyphosate and paraquat) on growth and development, root structure and photosynthesis in peach seedlings. The results showed that at early days after spraying paraquat, the electrolyte leakage rate of roots was raised, after that, the damages to the roots was reduced as time went on afterward. On the 40th day after spraying paraquat, the leaf transpiration rate (T_r) increased while the water utilization efficiency (WUE) decreased and total aboveground dry matter lower than that of control. Glyphosate showed obvious influence on external morphology of peach. On the 7th day after spraying glyphosate, the young leaves getting yellow, curling upwards. The electrolyte leakage rate of roots was always higher than that of the control. On the 40th day after spraying glyphosate, the total length, volume, surface area and tip number of roots were decreased significantly. The leaf photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r) and stomatal conduction (G_s) decreased. The glyphosate treatment also significantly inhibited dry matter accumulation of peach. These results imply the glyphosate have a influence on plant aboveground through root transduction. We should avoid using systemic herbicides in peach orchard.

Key words: *Prunus persica*; herbicide; stress; response

收稿日期: 2014-08-12; 修回日期: 2014-10-23

基金项目: 国家现代农业产业技术体系建设专项资金项目 (CARS-31); 江苏省农业科技自主创新项目 [CX (14) 2015]

* E-mail: jaassuyuan@aliyun.com

除草剂在控制杂草的同时也能引起作物不正常生长 (Teixeira et al., 2007; 秦檬 等, 2011)。草甘膦和百草枯是中国南方桃生产中使用最广泛的两种除草剂。其虽然为茎叶施用, 但在使用过程中难免有药液淋溶或遇雨进入土壤 (廖甫根和张名福, 2012)。前人报道称草甘膦具有土壤无残留或者残留量极低 (严秋旭 等, 2010; 陈海伟 等, 2012; 邱龙 等, 2012), 百草枯具有在土壤中迅速钝化 (张宏军 等, 2003) 等特点。这些研究多数关注除草剂与土壤的关系, 而除草剂进入土壤后对作物的影响, 尤其是在推荐使用剂量下对作物造成的负效应未引起足够的重视 (叶亚新和栗冠珍, 2012)。近年来, 作者相继发现南方常用除草剂的桃园桃树新梢生长量减少, 流胶病发病增加, 个别桃园出现新梢发黄的现象。除草剂进入土壤后对桃树根部及地上部的影响还需要深入研究。

中国栽培桃树几乎全部采用嫁接繁殖, 毛桃是南方最常用的砧木。除草剂进入土壤后对毛桃根部和地上部的影响报道较少。本研究旨在明确毛桃幼苗对草甘膦和百草枯的生理反应, 了解两种除草剂对毛桃形态结构及光合作用的影响, 为评价其对毛桃幼苗的安全性并探讨其作用机理奠定基础。

1 材料与方法

1.1 试验材料 with 处理

试验于 2012—2013 年在江苏省农业科学院桃试验园进行。试验材料为桃树常用砧木毛桃 [*Prunus persica* (L.) Batsch.]。41% 草甘膦购自江苏无锡龙邦化工有限公司; 20% 百草枯购自湖北仙隆化工有限公司。将毛桃种子层积、催芽后播种于内径和深度分别为 30 cm 和 25 cm 的盆钵中。栽培基质为园土: 泥炭土: 有机肥 = 2: 2: 1。每盆装土量一致, 常规管理。幼苗长出 3 片真叶时取长势基本一致的植株移至温室, 当幼苗高度达 50 cm 左右后, 选择长势基本一致的幼苗按照生产中常用浓度一次性将除草剂喷施于栽培基质表面。设 3 个处理: (1) 草甘膦用自来水稀释 100 倍液 ($4.97 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 喷施 50 mL; (2) 百草枯用自来水稀释 120 倍液 ($1.74 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$), 喷施 50 mL; (3) 以喷施相同体积的自来水为对照。每处理 66 株, 3 次重复。

1.2 幼苗形态与生理指标测定

在处理 40 d 测量毛桃幼苗株高、茎粗, 每处理测量 30 株; 将整个幼苗分根、茎、叶进行分解取样。用植物根系分析仪 (杭州万深检测科技有限公司) 测得整株根系的根长、根表面积、根体积和根尖数。把根、茎、叶分别放入烘箱在 85°C 下烘干, 称其干样质量。

在处理 10、20、30 和 40 d, 随机切取各处理幼苗 1 cm 长根尖 9 个, 作为 1 次重复, 共 3 次重复。参照 Zabalza 等 (2007) 的方法测定电解质渗透率 (细胞膜透性), 表示细胞膜受伤害程度。

处理后 10 d (新叶变黄) 用 SPAD-502 便携式叶绿素仪测量各处理幼苗 10 片绿色叶片正面的相对叶绿素含量, 取平均值。处理后 40 d (天气晴朗), 选取新梢中部向阳面健康功能叶, 于 9、10、11 时用英国 PP-System 公司 CIRAS-1 型光合测定系统, 采用开放式气路在完全模拟自然环境的条件下测定净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r) 和气孔导度 (G_s)。每处理每次随机选取 5 个叶片测定, 取平均值。水分利用效率 (WUE) = P_n/T_r (Nijs et al., 1997)。

2 结果与分析

2.1 除草剂对毛桃幼苗生长发育的影响

除草剂处理 40 d 对毛桃幼苗株高和茎粗影响不显著; 草甘膦和百草枯处理幼苗地上部干物质量都显著低于对照, 草甘膦处理的幼苗根部干物质量较对照降低了 38.16%, 总干物质量降低了 30.54%; 百

草枯处理对根部干物质积累的抑制效果较弱,根部以及总干物质量与对照的差异不显著(表1)。

从表1和图1可以看出,草甘膦处理后40 d,虽然毛桃主根形态变化不大,但侧根数量减少,尤其是须根数量减少,须根的延长也受到影响,从而造成整个根系变小,总根长、根总表面积、根体积以及根尖数分别降低了58.57%、35.80%、31.88%和64.49%。百草枯处理的各项指标与对照的差异未达到显著水平。

表1 除草剂对毛桃生长发育的影响
Table 1 Effect of herbicides on growth and development of *Prunus persica*

处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎粗/cm Stem diameter	地上部干物质量/g Above ground dry matter	根干物质量/g Root dry matter	总干物质量/g Total dry matter
对照 Control	87.08 ± 8.41 a	8.16 ± 0.96 a	17.48 ± 1.22 a	9.88 ± 1.31 a	27.37 ± 2.52 a
草甘膦 Glyphosate	85.58 ± 7.13 a	7.85 ± 1.32 a	12.90 ± 2.09 b	6.11 ± 0.85 b	19.01 ± 2.91 b
百草枯 Paraquat	83.58 ± 8.56 a	7.74 ± 0.72 a	13.80 ± 0.49 b	7.97 ± 1.00 ab	21.77 ± 1.45 ab

处理 Treatment	总根长/cm Total root length	总表面积/cm ² Total surface area	根体积/cm ³ Root volume	根尖数 Number of root
对照 Control	2 378.15 ± 551.33 a	1 011.12 ± 206.11 a	99.13 ± 30.32 a	10 037.33 ± 5 616.77 a
草甘膦 Glyphosate	985.16 ± 359.97 b	649.16 ± 239.42 b	67.53 ± 30.67 b	3 563.83 ± 2 075.3 b
百草枯 Paraquat	1 877.49 ± 494.14 a	848.90 ± 222.17 ab	78.59 ± 24 ab	5 678.33 ± 2 059.5 ab



图1 除草剂处理对毛桃根系形态特征的影响
Fig. 1 Effect of herbicides on root morphological characters of *Prunus persica*

2.2 除草剂对毛桃根系细胞膜透性的影响

不同处理毛桃根部细胞电解质渗透率(膜透性)总体呈先上升之后缓慢下降的趋势(图2),处理后10~40 d,草甘膦处理除20 d时以外,均显著高于对照,百草枯处理只有10 d时高于对照,之后与对照无显著差异。

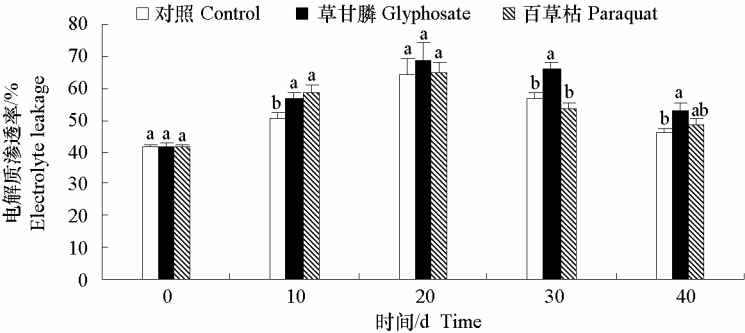


图2 除草剂对毛桃根系细胞膜透性的影响
Fig. 2 Effect of herbicides on root cell membrane permeability of *Prunus persica*

2.3 除草剂对毛桃叶片叶绿素含量和叶片颜色的影响

草甘膦处理 7 d 后, 毛桃幼叶基部变黄并向叶尖部蔓延。处理后 10 d 最顶端幼叶几乎全部变黄, 部分叶尖出现焦枯, 并且叶片出现从外向内卷的现象 (图 3)。草甘膦处理后 10 d 叶片的 SPAD (代表叶片的叶绿素含量) 值为 19.22, 显著低于对照 (30.94) 与百草枯处理 (29.57)。随着处理后时间的延长, 幼叶黄化现象逐渐消失。



图 3 除草剂处理 10 d 后毛桃叶片颜色的变化

Fig. 3 Effect of herbicides on leaf color of *Prunus persica* after 10 days

2.4 除草剂对叶片光合特性的影响

由图 4 可知, 草甘膦处理对毛桃光合特性影响明显, 处理后 40 d, 3 个时间点的净光合速率分别为对照的 56.57%、54.73% 和 59.74%, 蒸腾速率均显著低于对照, 气孔导度总体低于对照; 而百草枯处理 3 个指标总体与对照无显著差异或高于对照; 两种除草剂处理后毛桃叶片水分利用率总体降低。

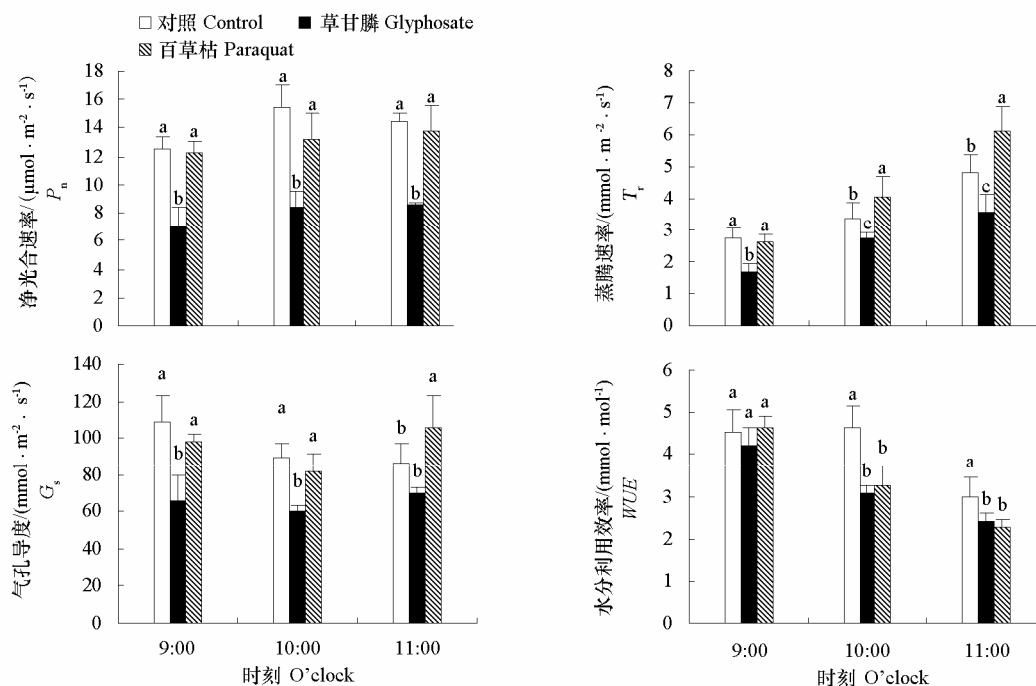


图 4 除草剂对毛桃叶片光合特性的影响

Fig. 4 Effect of herbicides on photosynthetic characteristics in leaves of *Prunus persica*

3 讨论

通过抑制植物生理代谢过程中的关键酶,进而造成死亡是化学除草剂杀灭杂草的主要机制(邱龙等,2012)。除草剂有灭生型和选择型两大类,灭生型除草剂在正常用量下可以无选择性地杀死所有植物(陈海伟等,2012)。草甘膦属于内吸传导性灭生型除草剂(杨彩宏等,2012),通过竞争性抑制莽草酸合成途径中的5-烯醇丙酮莽草酸-3-磷酸合成酶(5-enolpyruvylshimate-3-phosphate synthase, EPSPS)的活性,使植物生长所必需的氨基酸合成受阻,从而使植株枯死(Herrmann & Weaver, 1999; Servicer, 2007)。百草枯属于触杀性灭生型除草剂,作为光合作用抑制剂(刘晓伟和席贻龙,2012),其作用机理是与光系统中的电子受体竞争,捕获电子传递链中的电子,抑制正常的电子传递,同时产生过氧化物和自由基,破坏质膜蛋白质核酸等结构而造成植物死亡(张宏军等,2003;李颖慧和陈勇,2012;邱龙等,2012)。马小焕等(2011)研究发现叶片喷施草甘膦对柑橘嫩梢有明显毒副作用,造成嫩梢嫩叶发黄甚至枯死;虽然廖甫根和张名福(2012)报道桃园使用草甘膦会对桃树新梢量、果实产量、品质等产生影响。但这些仅是从试验观察水平得出的结论,并未综合各关键指标从生理水平加以阐明。有关除草剂进入土壤后对桃树根系发育以及地上部生长影响的研究鲜有报道。

植物组织受到除草剂伤害时,由于蛋白质合成受阻,细胞膜结构破坏而使其透性增大,从而引起细胞内各种水溶性物质外渗,导致电解质渗透率升高(Heim et al., 1990; 张帆等,2009)。本试验中,百草枯处理可在短期内对毛桃根部造成伤害,但随着处理时间的延长,百草枯可能在土壤中出现钝化(李颖慧和陈勇,2012),从而对毛桃根部的影响逐渐减弱,根部电解质渗透率恢复正常;而草甘膦为内吸传导型除草剂,进入毛桃体内可能在终止芳香族氨基酸合成的过程中发挥作用的时间较长,而且该作用可能在毛桃体内进行了传导。因此草甘膦处理导致毛桃幼苗根细胞电解质外渗更明显,且该影响一直持续到处理后期。植物根系作为最先感受土壤逆境胁迫的部位,可通过不同生理或形态变化来响应逆境胁迫信号,例如改变根系形态和分布等(Haling et al., 2010; McInenly et al., 2010; 童辉等,2012)。本研究草甘膦处理毛桃根系最终表现为颜色变深,须根变短、数量减少,根总体积变小,说明草甘膦对毛桃根系的生长发育有较大影响。

毛桃根系受到除草剂胁迫伤害后,随着根系生理和形态的改变,对养分和水分的吸收能力也可能随之改变,最终对地上部造成影响。叶片是植物地上部对逆境胁迫反应最敏感的器官(马瑞娟等,2013)。多数研究表明,植物在除草剂胁迫下光合作用降低(谭伟等,2012;谢树章等,2013)。本试验中,草甘膦处理叶片各项光合参数均显著降低,而且处理后的前期幼叶出现变黄、翻卷,表明草甘膦对毛桃地上部的危害可能是通过根部吸收药液,然后输送到枝叶造成的,草甘膦对未成熟的嫩叶危害尤为严重。百草枯处理后叶片蒸腾速率变大,但水分利用效率显著降低,其机理有待进一步研究。除草剂可抑制植物生物量的积累(Song et al., 2007; 温银元等,2012)。本研究中,百草枯处理毛桃地上部干物质积累受阻,而施用草甘膦后地上和地下部干物质积累都降低,说明在使用除草剂后,植株营养物质贮备受到影响,最终导致贮藏营养物质下降。

由于低成本和易操作等特点,中国现阶段桃园不能完全停止使用除草剂,因此更加要求在生产中科学、规范地使用除草剂。桃树为浅根系果树,使用除草剂时要注意天气,避免喷药后遇雨水使药液渗入土壤,同时在除草剂选择上应避免使用草甘膦等内吸性除草剂。此外,改变现行栽培耕作制度,发展更具竞争力的种植体系,以减少杂草数量和除草剂的使用量。果园生草可改善果园生态环境(Whitelaw-Weckert et al., 2007; 惠竹梅等,2010; 张桂玲,2011),提高果实品质(吴玉森等,2013)。建议桃园应尽量减少或者不施除草剂,实施生草栽培。

References

- Chen Hai-wei, Zhang Lu-hua, Chen De-fu, Chen Xi-wen. 2012. Current utilization status and future prospect of herbicide and herbicide-resistant crops. *Biotechnology Bulletin*, (10): 35 - 40. (in Chinese)
- 陈海伟, 张鲁华, 陈德富, 陈喜文. 2012. 除草剂及抗除草剂作物的应用现状与展望. *生物技术通报*, (10): 35 - 40.
- Haling R E, Richardson A E, Culvenor R A, Lambers H, Simpson R J. 2010. Root morphology, root-hair development and rhizosheath formation on perennial grass seedlings is influenced by soil acidity. *Plant Soil*, 335: 457 - 468.
- Heim D R, Skomp J R, Tschabold E E. 1990. Isoxaben inhibits the synthesis of acid insoluble cell wall materials in *Araidopsis thaliana*. *Plant Physiology*, 93: 695 - 700.
- Herrmann K M, Weaver L M. 1999. The shikimate pathway. *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 50: 473 - 503.
- Li Ying-hui, Chen Yong. 2012. Research advances in paraquat-resistance mechanisms of weeds. *Chinese Journal of Ecology*, 31 (1): 194 - 199. (in Chinese)
- 李颖慧, 陈 勇. 2012. 杂草对百草枯的抗药性机制研究进展. *生态学杂志*, 31 (1): 194 - 199.
- Liao Fu-geng, Zhang Ming-fu. 2012. Effects of glyphosate on growth, diseases and insect pests of peach. *Fujian Fruits*, (1): 14 - 15. (in Chinese)
- 廖甫根, 张名福. 2012. 草甘膦对桃树生长发育及病害发生的影响. *福建果树*, (1): 14 - 15.
- Liu Xiao-wei, Xi Yi-long. 2012. Toxicological effect of paraquat and glyphosate on cladoceran *Moina macrocopa*. *Chinese Journal of Ecology*, 31 (8): 1984 - 1989. (in Chinese)
- 刘晓伟, 席贻龙. 2012. 百草枯和草甘膦对多刺裸腹蚤的毒性效应. *生态学杂志*, 31 (8): 1984 - 1989.
- Ma Rui-juan, Zhang Bin-bin, Cai Zhi-xiang, Shen Zhi-jun, Yu Ming-liang. 2013. Evaluation of peach rootstock waterlogging tolerance based on the responses of the photosynthetic indexes to continuous submergence stress. *Acta Horticulturae Sinica*, 40 (3): 409 - 416. (in Chinese)
- 马瑞娟, 张斌斌, 蔡志翔, 沈志军, 俞明亮. 2013. 不同桃砧木品种对淹水的光合响应及其耐涝性评价. *园艺学报*, 40 (3): 409 - 416.
- Ma Xiao-huan, Peng Liang-zhi, Cao Li, Zhang Wen-wen. 2011. Toxic effects of herbicides on young summer shoots of seike navel orange (*Citrus sinensis*). *Journal of Fruit Science*, 28 (1): 92 - 96. (in Chinese)
- 马小焕, 彭良志, 曹 立, 张雯雯. 2011. 不同除草剂对清家脐橙夏梢的毒害作用. *果树学报*, 28 (1): 92 - 96.
- McInenly L E, Merrill E H, Cahill J F, Juma N G. 2010. *Festuca campestris* alters root morphology and growth in response to simulated grazing and nitrogen form. *Functional Ecology*, 24: 283 - 292.
- Nijis I, Ferris R, Blum H. 1997. Stomatal regulation in a changing climate: A field study using free air temperature increase (FATI) and free air CO₂ enrichment (FACE). *Plant Cell and Environment*, 20 (8): 1041 - 1050.
- Qin Meng, Shi Shu-liang, Xu Deng-hua, Hu Zhi-peng. 2011. The investigation of shoot wilting of peach and walnut trees in Qinghuangdao. *China Fruits*, (4): 67 - 69. (in Chinese)
- 秦 檬, 师淑亮, 徐登华, 胡志鹏. 2011. 河北秦皇岛大面积桃树和核桃树新梢萎蔫调查. *中国果树*, (4): 67 - 69.
- Qiu Long, Ma Chong-lie, Liu Bo-lin, Zhang Wang-gen. 2012. Current situation of research on transgenic crops with herbicide tolerance and development prospect. *Scientia Agricultura Sinica*, 45 (12): 2357 - 2363. (in Chinese)
- 邱 龙, 马崇烈, 刘博林, 章旺根. 2012. 耐除草剂转基因作物研究现状及发展前景. *中国农业科学*, 45 (12): 2357 - 2363.
- Servicer F. 2007. A growing threat down on the farm. *Science*, 316 (5828): 1114 - 1117.
- Song N H, Yin X L, Chen G F, Yang H. 2007. Biological responses of wheat (*Triticum aestivum*) plants to the herbicide chlorotoluron in soils. *Chemosphere*, 68 (9): 1779 - 1787.
- Tan Wei, Liang Ting, Zhai Heng. 2012. Effects of acetochlor on the photosynthetic and fluorescence characteristics and chloroplast structure of grape leaves. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 23 (8): 2185 - 2190. (in Chinese)
- 谭 伟, 梁 婷, 翟 衡. 2012. 乙草胺对葡萄叶片光合和叶绿素荧光特性及叶绿体结构的影响. *应用生态学报*, 23 (8): 2185 - 2190.
- Tan Wei, Wang Hui, Zhai Heng. 2011. Effects of herbicide on grape leaf photosynthesis and nutrient storage. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 22 (9): 2355 - 2362. (in Chinese)
- 谭 伟, 王 慧, 翟 衡. 2011. 除草剂对葡萄叶片光合作用及贮藏营养的影响. *应用生态学报*, 22 (9): 2355 - 2362.
- Teixeira M C, Duque P, Sa-Correia I. 2007. Environmental genomics: Mechanistic insights into toxicity of and resistance to the herbicide 2,4-D. *Trends in Biotechnology*, 25: 363 - 370.

- Tong Hui, Sun Jin, Guo Shi-rong, Zhang Zhen-xing. 2012. Effects of iso-osmotic $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and NaCl stress on root morphology and activity of cucumber seedlings. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 35 (3): 37 - 41. (in Chinese)
- 童 辉, 孙 锦, 郭世荣, 张振兴. 2012. 等渗 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 和 NaCl 胁迫对黄瓜幼苗根系形态及活力的影响. *南京农业大学学报*, 35 (3): 37 - 41.
- Wen Yin-yuan, Guo Ping-yi, Yin Mei-qiang, Yan Han, Wang Yu-guo. 2012. Effect of prometryne on root activity and oxidative stress of *Polygala tenuifolia* Willd. seedling roots. *Acta Ecologica Sinica*, 32 (8): 2506 - 2514. (in Chinese)
- 温银元, 郭平毅, 尹美强, 闫 晗, 王玉国. 2012. 扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响. *生态学报*, 32 (8): 2506 - 2514.
- Whitelaw-Weckert M A, Rahman L, Hutton R J, Coombes N. 2007. Permanent swards increase soil microbial counts in two Australian Vineyards. *Applied Soil Ecology*, 36: 224 - 232.
- Wu Yu-sen, Zhang Yan-min, Ji Xiao-hao, Zhang Rui, Liu Da-liang, Zhang Zong-ying, Li Wen-yan, Chen Xue-sen. 2013. Effects of natural grass on soil nutrient, enzyme activity and fruit quality of pear orchard in Yellow River Delta. *Scientia Agricultura Sinica*, 46 (1): 99 - 108. (in Chinese)
- 吴玉森, 张艳敏, 冀晓昊, 张 芮, 刘大亮, 张宗营, 李文燕, 陈学森. 2013. 自然生草对黄河三角洲梨园土壤养分、酶活性及果实品质的影响. *中国农业科学*, 46 (1): 99 - 108.
- Xi Zhu-mei, Li Hua, Long Yan, Zhang Jin, Pang Xue-liang. 2010. Variation of soil microbial populations and relationships between microbial factors and soil nutrients in cover cropping system of vineyard. *Acta Horticulturae Sinica*, 37 (9): 1395 - 1402. (in Chinese)
- 惠竹梅, 李 华, 龙 妍, 张 瑾, 庞学良. 2010. 葡萄园行间生草体系中土壤微生物数量的变化及其与土壤养分的关系. *园艺学报*, 37 (9): 1395 - 1402.
- Xie Shu-zhang, Yang Xiao-yan, Lin Qing, Weng Jian-feng, Jiang Xiao-ying, Li Xin-hai, Lei Kai-rong. 2013. Process on glyphosate-resistant transgenic maize. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15 (3): 36 - 41. (in Chinese)
- 谢树章, 杨小艳, 林 清, 翁建峰, 蒋晓英, 李新海, 雷开荣. 2013. 抗草甘膦转基因玉米研究进展. *中国农业科技导报*, 15 (3): 36 - 41.
- Yan Qiu-xu, Zhao Ping, Li Xin, Bai Hong-hua. 2010. New herbicide-tolerant crops and glyphosate market. *Agrochemicals*, 49 (5): 313 - 316. (in Chinese)
- 严秋旭, 赵 平, 李 新, 白洪华. 2010. 新耐除草剂作物与草甘膦市场. *农药*, 49 (5): 313 - 316.
- Yang Cai-hong, Tian Xing-shan, Feng Li, Yue Mao-feng. 2012. Resistance of *Eleusine indica* gaertn to glyphosate. *Scientia Agricultura Sinica*, 45 (10): 2093 - 2098. (in Chinese)
- 杨彩宏, 田兴山, 冯 莉, 岳茂峰. 2012. 牛筋草对草甘膦的抗药性. *中国农业科学*, 45 (10): 2093 - 2098.
- Ye Ya-xin, Li Guan-zhen. 2012. Effects of herbicide on seedling stress physiology of radish. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 40 (10): 146 - 149. (in Chinese)
- 叶亚新, 栗冠珍. 2012. 除草剂对萝卜幼苗逆境生理指标的影响. *江苏农业科学*, 40 (10): 146 - 149.
- Zabalza A, Gaston S, Sandalio L M, Rio L A, Royuela M. 2007. Oxidative stress is not related to the mode of action of herbicides that inhibit acetolactate synthase. *Environmental and Experimental Botany*, 59: 150 - 159.
- Zhang Fan, Tian Tian, Jin Zong-lai, Huang Chong-ping, Tang Gui-xiang, Ye Qing-fu, Zhou Wei-jun. 2009. Effect of new herbicide ZJ0273 on seedling growth and root cell viability of *Brassica napus*. *Scientia Agricultura Sinica*, 42 (10): 3522 - 3529. (in Chinese)
- 张 帆, 田 甜, 金宗来, 黄冲平, 唐桂香, 叶庆富, 周伟军. 2009. 新型除草剂丙酯草醚对油菜幼苗生长与根尖细胞活性的影响. *中国农业科学*, 42 (10): 3522 - 3529.
- Zhang Gui-ling. 2011. Effects of straw and living grass mulching on soil nutrients, soil microbial quantities and soil enzyme activities in a peach orchard. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 35 (12): 1236 - 1244. (in Chinese)
- 张桂玲. 2011. 秸秆和生草覆盖对桃园土壤养分含量、微生物数量及土壤酶活性的影响. *植物生态学报*, 35 (12): 1236 - 1244.
- Zhang Hong-jun, Jia Fu-qin, Zhang Jia, Li Xiao-jing. 2003. The resistant weeds of no selective herbicide-paraquat. *Pesticide Science and Administration*, 24 (12): 26 - 29. (in Chinese)
- 张宏军, 贾富勤, 张 佳, 李晓晶. 2003. 杂草对天生效除草剂百草枯的抗性问题. *农药科学与管理*, 24 (12): 26 - 29.