

网络出版时间:2014-01-02 15:59

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.02.051

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/doi/10.13207/j.cnki.jnwafu.2014.02.051.html

土壤水分含量对三七根生长、有效成分积累及根腐病发病率的影响

赵宏光¹, 夏鹏国¹, 韦美膛², 刘峰华³, 张晨³, 梁宗锁¹

(1 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100; 2 云南天士力三七种植有限公司, 云南 文山 663000;

3 天津天士力现代中药资源有限责任公司, 天津 300402)

[摘要] **【目的】**研究土壤水分含量对三七(*Panax notoginseng*)单株根干质量、有效成分含量及根腐病发病率的影响,探讨提高三七产量与质量的适宜土壤水分含量。**【方法】**以 3 年生三七植株为材料,人工控制土壤水分含量分别为田间最大持水量(ω)的 45%, 60%, 70% 和 85%, 在盆栽条件下,利用称量、高效液相色谱(HPLC)和调查的方法,分析不同土壤水分含量对三七单株根干质量、有效成分积累及根腐病发病率的影响;通过对三七单株根干质量、有效成分积累及根腐病发病率与土壤水分含量的关系进行回归拟合,估算适宜三七生长的土壤水分含量。**【结果】**随着土壤水分含量的升高,三七单株根干质量呈现出先升高后降低的趋势,三七皂苷 R1 和人参皂苷 Rg1 含量没有明显的变化趋势,人参皂苷 Rb1 和人参皂苷 Rd 含量呈现出递减的趋势,根腐病发病率呈现出迅速升高的趋势。通过估算可知,100 株三七根干质量最大时的土壤水分含量为田间最大持水量的 59.0%,三七根中 4 种皂苷含量之和最大时的土壤水分含量为田间最大持水量的 56.4%。**【结论】**在三七田间水分管理中,当土壤水分含量为田间最大持水量的 56.4%~59.0% 时,在提高三七产量的同时可以兼顾提升质量。

[关键词] 三七;根生长;有效成分积累;土壤水分;根腐病

[中图分类号] S567.23⁺6

[文献标志码] A

[文章编号] 1671-9387(2014)02-0173-06

Effects of soil moisture content on root growth, active components and root rot incidence of *Panax notoginseng*

ZHAO Hong-guang¹, XIA Peng-guo¹, WEI Mei-tang², LIU Feng-hua³,
ZHANG Chen³, LIANG Zong-suo¹

(1 College of Life Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2 Yunnan TASLY Notoginseng Planting Co., Ltd, Wenshan, Yunnan 663000, China; 3 Tianjin TASLY Modern TCM Resources Co., Ltd, Tianjin 300402, China)

Abstract: **【Objective】** Effects of soil moisture content on root dry weight, active components contents and incidence of root rot of *Panax notoginseng* were investigated to select suitable water content for higher yield and quality. **【Method】** Taking three-year old *P. notoginseng* seedlings grown in potting soil as test materials, the effects of different moisture contents (45%, 60%, 70% and 85%) on root dry weight, active components contents and root rot incidence were studied through weighing, HPLC and survey. **【Result】** With the increase of soil moisture content, the root dry weight firstly increased and then decreased, the contents of notoginsenoside R1 and ginsenoside Rg1 remained stable, while the contents of ginsenoside Rb1 and ginsenoside Rd decreased gradually. The root rot incidence increased rapidly with the increase of soil

[收稿日期] 2013-03-07

[基金项目] 陕西省科技统筹创新工程计划项目(2012KTCL02-07)

[作者简介] 赵宏光(1986—),男,内蒙古固阳人,硕士,主要从事药用植物规范化生产研究。E-mail: zhaohongguang37@126.com

[通信作者] 梁宗锁(1965—),男,陕西扶风人,教授,博士,博士生导师,主要从事中药材规范化栽培理论与技术研究。

E-mail: liangzs@ms.iswc.ac.cn

moisture content. The best soil moistures for yield and the contents of four saponins were 59.0% and 56.4%, respectively. 【Conclusion】 When soil moisture content was 56.4%—59.0%, both yield and quality were improved.

Key words: *Panax notoginseng*; root growth; the content of active ingredient; soil moisture content; root rot

三七(*Panax notoginseng*)是五加科人参属多年生草本植物,有“金不换”、“南国神药”等美誉^[1],具有止血散瘀、消肿定痛等功效,是云南白药、片仔癀、丹参滴丸、血塞通等国家著名中成药的主要原料。三七主要分布于我国云南、广西的高海拔地区^[2]。

随着中药材规范化栽培研究的发展,土壤水分对药用植物生长发育、产量和品质的调控作用引起了研究者的重视^[3]。龙云等^[4]研究表明,干旱条件下,绞股蓝植株生物量减少而叶片中的皂苷含量增加。邵玺文等^[5]研究表明,水分供给量为 250 和 350 mm 处理的黄芩生长好,生物量高;适度干旱提高了黄芩苷的含量。覃柳燕等^[6]研究表明,轻度和重度干旱条件,能促进莪术牻牛儿酮含量的积累;重度干旱和涝渍胁迫下,莪术产量和存活率显著降低。谭勇等^[7]研究表明,水分过少和过多都不利于菰蓝根中靛玉红的积累,而中度水分胁迫能促进靛玉红的积累。但是关于土壤水分对三七根生长发育影响的相关报道较少。因此,本研究主要探讨了土壤水分条件分别为田间最大持水量的 45%,60%,70%和 85%时,三七单株根干质量、有效成分积累量及根腐病发病率的变化,旨在为三七规范化生产中的水分管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试植物 供试植物为 3 年生三七幼苗,来自云南天士力三七种植有限公司石林县圭山镇种植基地(24°44′14″N,103°38′54″E,海拔 2 128 m)。在基地随机移取 200 株生长一致健康的幼苗作为试验材料。

1.1.2 供试土壤 供试土壤为采样基地闲置地块的过筛耕层土,为黏质红壤,田间最大持水量(w)为 36.8%。土壤有机质含量为 32.9 g/kg,全氮含量为 1.25 g/kg,全磷含量为 1.11 g/kg,全钾含量为 6.97 g/kg,速效氮含量为 9.376 mg/kg,速效磷含量为 35.966 mg/kg,速效钾含量为 166.58 mg/kg。

1.2 试验设计

试验用塑料桶高 22 cm、上径 27 cm、下径 18

cm,桶底部装有石子和滤纸,内插一根塑料管便于浇水防止土壤板结,桶、石子、滤纸和塑料管总质量为 1.7 kg,装入过筛(孔径 4.75 mm)晾晒好的土壤 6.3 kg,在土壤表面均匀铺盖 150 g 松针(干燥的松叶)。盆栽桶放在采样基地自建的简易防雨荫棚中,于 2012-03-12 移栽幼苗,设不栽三七对照组,移栽后保持土壤水分含量为田间最大持水量的 70%左右。自 04-20 幼苗开始展叶时用称质量法控水,每天 17:00 进行称质量补水。试验设置 4 个水分处理:即土壤水分含量分别为田间最大持水量的 45%,60%,70%和 85%,分别记为 45% w ,60% w ,70% w 和 85% w 。每桶栽 2 棵三七,每处理 25 个重复,控水 6 个月后(商品三七采挖季节),在每个处理中随机选取 6 盆长势较好且无病害的三七,整株采挖,观察根的形态并分析根干质量、根折干率、根冠比及有效成分的积累情况。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 单株根干质量、根折干率和根冠比 于 10-20 将选取的三七整株采挖后用清水冲洗干净,放在通风处将表面水分晾干。从茎与根茎的连接处将三七植株分为地上部分(茎和叶)和根(根茎和根)2 部分,用电子天平称量根鲜质量。将 2 部分样品装入信封放入烘箱在 40℃下烘干到恒质量,然后用电子天平称量地上部分干质量和根干质量。根折干率=根干质量/根鲜质量;根冠比=根干质量/地上部分干质量。

1.3.2 三七皂苷 R1 和人参皂苷 Rg1、Rb1、Rd 的含量 样品制备参照《中国药典》2010 版^[8]的要求进行,Waters 高效液相色谱仪系统为 1252 Binary HPLC Pump、2487 Dual λ Absorbance Detector、2707 Autosampler;色谱条件参照《地理标志产品:文山三七》国家标准^[9]进行设置,色谱柱为 Waters SYMMETRY C₁₈ 柱(4.6 mm×250 mm,5 μ m);所用标准品购于中国药品生物制品检定所(三七皂苷 R1 批号:110745-200617;人参皂苷 Rg1 批号:110703-201027;人参皂苷 Rb1 批号:110704-201122;人参皂苷 Rd 批号:111818-201001)。

1.3.3 根腐病发病率 从控水开始(04-20)到样品采收结束(10-20),对地上部分表现出根腐病症状的

植株进行标记,观察一段时间后将确定患有根腐病的植株拔起,记录其所属处理,同时标记发病日期。最后统计每个处理发病的株数,计算发病率。发病率=发病株数/各处理植株总数×100%。

1.4 数据处理

试验采用完全随机设计,试验数据应用 SPSS (19.0)的 ANVOA 程序进行单因素方差分析,多重比较用 SNK 法;回归模型的拟合在 Regression 菜单下完成。

2 结果与分析

2.1 土壤水分含量对三七根形态、干质量、折干率和根冠比的影响

从图 1 可以看到,60% w,70% w 2 个处理三七的根系最发达,主根粗壮,毛根数目较多;85% w 处理主根较短,且毛根短、少;45% w 处理主根细长,毛根集中分布在主根下端且长。

由表 1 可以看出,随着土壤水分含量的增加,三七单株根干质量呈现出先增长后降低的趋势。其中以 60% w 处理的单株根干质量最大,分别是 45% w,70% w 和 85% w 处理的 1.29,1.07 和 1.67 倍,且显著高于 45% w 和 85% w 处理。表明土壤水

分过高或过低都不利于三七根中干物质的积累,尤其土壤水分过多时抑制作用明显。随着土壤水分含量的增加,三七根折干率和根冠比均呈现出下降的趋势。45% w 处理的根折干率显著高于 70% w 与 85% w 处理,表明土壤水分含量对三七根的含水量有显著影响。根冠比在各处理间都有显著差异,表明土壤水分含量显著影响同化物在地上与地下部分的分配,水分过多可抑制同化物向根中分配,而一定程度的干旱可促进同化物向根中分配。



图 1 不同土壤水分含量下三七根的形态
Fig.1 Influence of soil moisture content on root morphology of *Panax notoginseng*

表 1 土壤水分含量对三七单株根干质量、根折干率及根冠比的影响

Table 1 Influence of soil moisture content on dry root weight,drying rate and root shoot ratio of <i>Panax notoginseng</i>			
处理 Treatment	单株根干质量/g Dry weight of root	根折干率 Drying rate of root	根冠比 Root shoot ratio
45% w	10.282±1.060 b	0.391±0.022 b	3.156±0.055 d
60% w	13.278±0.279 c	0.335±0.023 ab	2.876±0.038 c
70% w	12.352±1.569 c	0.260±0.077 a	2.440±0.035 b
85% w	7.971±0.823 a	0.256±0.044 a	2.280±0.070 a

注:同列数据标不同小写字母者表示差异显著 (n=6,P<0.05)。下表同。
Note:Different lowercase letters in the same column indicate significant difference (n=6,P<0.05). The same below.

2.2 土壤水分含量对三七根中有效成分积累的影响

由表 2 可以看出,土壤水分含量对三七根中 4 种皂苷含量的影响不完全一致。其中,三七皂苷 R1 和人参皂苷 Rg1 含量随着土壤水分含量的增加变化趋势不明显,各处理间没有显著差异;人参皂苷 Rb1 和人参皂苷 Rd 含量随着土壤水分含量的增加呈现逐渐减少的趋势。45% w 处理的人参皂苷 Rb1

含量显著高于其他 3 个处理,60% w 处理人参皂苷 Rb1 含量显著高于 85% w 处理;45% w 处理的人参皂苷 Rd 含量显著高于 85% w 处理。土壤水分含量分别为 45% w,60% w,70% w 和 85% w 处理的 4 种皂苷含量之和分别为 81.74,77.31,71.71 和 67.87 g/kg,随着土壤水分含量的升高呈现出逐渐下降的趋势,说明土壤水分过多不利于根中皂苷的积累,而适度的干旱有利于根中皂苷的积累。

表 2 土壤水分含量对三七根中有效成分积累的影响

Table 2 Influence of soil moisture content on active ingredients of root of <i>Panax notoginseng</i>					g/kg
处理 Treatment	R1	Rg1	Rb1	Rd	
45% w	12.13±2.43 a	25.55±2.35 a	36.28±2.83 c	7.78±1.76 b	
60% w	9.50±3.42 a	28.75±2.59 a	32.08±3.19 b	6.98±1.07 ab	
70% w	10.79±1.31 a	25.64±4.60 a	29.65±1.41 ab	5.63±0.74 ab	
85% w	9.59±2.27 a	26.88±3.81 a	26.43±5.05 a	4.97±2.20 a	

2.3 土壤水分含量对三七根腐病发病率的影响

根腐病是三七生产中的主要病害之一。表 3 显示,随着土壤水分含量的增加,三七根腐病发病率快速升高。尤其 85% w 处理根腐病发病率比 70% w 处理提高了 166.67%。控水期间三七在 4—5 月没

有发病,6,7,8,9 和 10 月各月的发病株数分别为 6, 4,9,7 和 3 株,8 月发病株数最高,占总发病株数的 31.03%,其中 85% w 处理的三七在各个月的发病情况都比较严重。综上所述,减少土壤水分含量可以有效降低根腐病的发病率。

表 3 试验期间(04-20—10-20)三七根腐病发病率的调查结果

Table 3 Survey results of *Panax notoginseng* root rot incidence (April 20—October 20)

处理 Treatment	发病日期(发病株数) Disease date (Number of disease)	发病率/% Morbidity rate
45% w	06-17(1)、09-20(1)	4
60% w	06-17(1)、08-06(2)、08-24(1)、09-20(1)	10
70% w	06-19(1)、08-24(2)、09-04(1)、09-20(1)、10-12(1)	12
85% w	06-08(1)、06-14(2)、07-10(2)、07-28(1)、07-30(1)、08-06(1)、08-24(2)、 08-30(1)、09-20(2)、09-25(1)、10-06(2)	32

注:括号中数字为该日期发现三七感染根腐病的株数。
Note:The number in parentheses is the number of infected plants found at the certain day.

2.4 三七生产适宜土壤水分含量的计算

用一元回归的方法,分别对三七单株根干质量、4 种皂苷含量之和及根腐病发病率与土壤水分含量进行回归拟合,得到以下 3 个关系式:

$$Y_1 = -98.36X^2 + 121.8X - 24.60 \quad (45\% \leq X \leq 85\%, R^2 = 0.996),$$

$$Y_2 = -3.592X + 9.802 \quad (45\% \leq X \leq 85\%, R^2 = 0.980),$$

$$Y_3 = 0.431e^{5X} \quad (45\% \leq X \leq 85\%, R^2 = 0.974).$$

式中:Y₁ 为三七单株根干质量,单位为 g;Y₂ 为每 100 g 三七根中 4 种皂苷含量之和,单位为 g;Y₃ 为每 100 株三七中感染根腐病的数量,单位为株;X 为实际土壤水分含量与田间最大持水量的比值,单位为%。

根据上述关系式,构建 100 株 3 年生三七根总干质量(g)和 100 株三七根中 4 种皂苷含量之和(g)与土壤水分含量的函数 F_{总干质量}(X)和 F_{皂苷}(X)。其表达式分别为:F_{总干质量}(X)=(100-Y₃)×Y₁;F_{皂苷}(X)=(100-Y₃)×Y₁×Y₂/100。将 Y₁、Y₂ 及 Y₃ 代入上述两函数可得 100 株三七根总干质量(g)和 100 株三七 4 种皂苷含量之和与土壤水分含量的函数,其表达式分别为:

$$F_{总干质量}(X) = (100 - 0.431e^{5X})(-98.36X^2 + 121.8X - 24.60), 45\% \leq X \leq 85\%;$$

$$F_{皂苷}(X) = (100 - 0.431e^{5X})(-98.36X^2 + 121.8X - 24.60)(-3.592X + 9.802)/100, 45\% \leq X \leq 85\%.$$

经计算,F_{总干质量}(X)和 F_{皂苷}(X)在土壤水分含量与田间最大持水量的比值分别为 59.0% 和 56.4% 时有最大值,最大值分别为 1 195.05 g 和

92.39 g。即土壤水分含量为田间最大持水量的 59.0% 时,100 株三七根总干质量最大,为 1 195.05 g;土壤水分含量为田间最大持水量的 56.4% 时,100 株三七 4 种皂苷含量之和最高,为 92.39 g。

3 讨论与结论

植物表型的可塑性是物种个体对环境信号作出的有效反应,并因此改变其化学、生理、发育、形态或者行为性状^[10]。众多研究表明,土壤水分含量是影响植物根可塑性的重要环境因子,特别是对根茎类药材产量与品质的形成起着重要作用^[3,5,11]。本研究中,随着土壤水分含量的降低,三七的毛根逐渐变多变长,有利于扩大根系与土壤的接触面积,吸收更多的水分;三七的根冠比也逐渐升高,同化物更多地分配给根部,为根系吸取更多的水分提供了物质基础。而土壤水分过多或过少都会降低三七根干物质的积累量,水分过多时抑制作用尤为突出,从而严重影响了三七产量和外观品质的形成。

次生代谢产物通常是中药的主要药效成分,环境因子对其形成与积累有重要影响。黄璐琦等^[12]提出了道地药材形成逆境效应理论,即逆境可能更有利于中药道地性的形成。研究发现,适度的干旱胁迫有利于绞股蓝中皂苷^[4]、黄芩中黄芩苷^[5]、蒺藜中蒺藜总皂苷^[13]等有效成分的积累。本研究发现,三七根中皂苷含量之和随着土壤水分含量的增加有降低的趋势,这与冯旭芹等^[14]的研究结果一致。本研究中,土壤水分含量对三七根中 4 种皂苷含量的影响不同,在试验设计的土壤水分含量范围内,随着土壤水分含量的升高,属于原人参三醇型皂苷的三七皂苷 R1 和人参皂苷 Rg1 含量没有明显变化,而

属于原人参二醇型皂苷的人参皂苷 Rb1 和人参皂苷 Rd 含量呈明显降低趋势。由此可以推断,依据各有效成分对土壤水分含量反应的不同,可以调控有效成分含量的比例。

土壤水分含量的变化会引起土壤微生态环境的变化,从而会改变某些土传病害的发病情况。罗文富等^[15]在研究三七根腐病时发现,三七活体接种假单胞杆菌的致病性最强,腐皮镰孢和细链格孢的致病性弱,小杆线虫无致病性。官会林等^[16]研究表明,三七根腐病发生与根系土壤中的霉菌、放线菌及厌氧生长细菌密切相关,这 3 类菌群在不同季节的存活量高峰期与三七根腐病害高发期相吻合。本研究中,三七的根腐病发病率随着土壤含水量的增加迅速升高,这与王朝梁等^[17]的研究结果一致。由于土壤水分状况明显影响三七根腐病的发病率,因此在生产中应重视调控土壤水分含量以降低三七根腐病发病率。

综合分析土壤水分含量对三七单株根干质量、有效成分含量和根腐病发病情况影响,结果显示,三七 100 株根干质量最大时的土壤水分含量为田间最大持水量的 59.0%,100 株三七根中 4 种皂苷含量之和最大时的土壤水分含量为田间最大持水量的 56.4%。可知土壤水分含量为田间最大持水量的 56.4%~59.0%时,在提高三七产量的同时可以兼顾其质量。本研究估算的适宜土壤水分含量为田间最大持水量的 56.4%~59.0%,比崔秀明等^[18]研究的结果(土壤水分含量为田间最大持水量的 65%左右)偏小,可能是由试验系统误差造成的。但也说明,需要研究分析更多的三七生长过程、代谢过程及发病情况与土壤水分含量的综合关系数据,才能得出科学的有利于提高三七产量与质量的土壤水分条件。

[参考文献]

- [1] 郑光植,杨崇仁.三七生物学及其应用[M].北京:科学出版社,1994:1-4.
Zheng G Z, Yang C R. Notoginseng biology and its application [M]. Beijing: Science Press, 1994: 1-4. (in Chinese)
- [2] 张金渝,杨维泽,崔秀明,等.三七栽培居群遗传多样性的 EST-SSR 分析[J].植物遗传资源学报,2011,12(2):249-254.
Zhang J Y, Yang W Z, Cui X M, et al. Genetic diversity analysis of populations of *Panax notoginseng* using EST-SSR markers [J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2011, 12(2): 249-254. (in Chinese)
- [3] 刘大会,郭兰萍,黄璐琦,等.土壤水分含量对丹参幼苗生长及有效成分的影响[J].中国中药杂志,2011,36(3):321-325.

- Liu D H, Guo L P, Huang L Q, et al. Effects of soil water content on seedlings growth and active ingredients of *Salvia miltiorrhiza* [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2011, 36(3): 321-325. (in Chinese)
- [4] 龙云,杨睿,钟章成,等.不同水分和氮素条件对栽培绞股蓝生物量和皂苷量的影响[J].中草药,2008,39(12):1872-1876.
Long Y, Yang R, Zhong Z C, et al. Effect of different water and nitrogen on biomass and gypenosides in *Gynostemma pentaphyllum* [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2008, 39(12): 1872-1876. (in Chinese)
- [5] 邵玺文,韩梅,韩忠明,等.水分供给量对黄芩生长与光合特性的影响[J].生态学报,2006,26(10):3214-3220.
Shao X W, Han M, Han Z M, et al. Effects of water supply on growth and photosynthesis in *Scutellaria baicalensis* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2006, 26(10): 3214-3220. (in Chinese)
- [6] 覃柳燕,蒋妮,缪建华,等.水分胁迫对广西莪术产量及牻牛儿酮含量的影响[J].中国热带农业,2012(3):71-73.
Qin L Y, Jiang N, Miao J H, et al. Effects of water stress on Guangxi production and Mang the cattle ketone content influence [J]. China Tropical Agriculture, 2012(3): 71-73. (in Chinese)
- [7] 谭勇,梁宗锁,董娟娥,等.水分胁迫对菰蓝生长发育和有效成分积累的影响[J].中国中药杂志,2008,33(1):19-22.
Tan Y, Liang Z S, Dong J E, et al. Effect of water stress on growth and accumulation of active components of *Isatis indigotica* [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2008, 33(1): 19-22. (in Chinese)
- [8] 国家药典委员会.中华人民共和国药典一部[M].北京:中国医药科技出版社,2010:11.
The State Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China [M]. Beijing: Chinese Medicine Science and Technology Press, 2010: 11. (in Chinese)
- [9] 中国国家标准化管理委员会. GB 19086—2008 地理标志产品:文山三七[S].北京:中国标准出版社,2008.
China National Standardization Management Committee. GB 19086—2008 Geographical indication product: Wenshan *Panax notoginseng* [S]. Beijing: China Standard Press, 2008. (in Chinese)
- [10] 何军,赵聪蛟,清华,等.土壤水分条件对克隆植物互花米草表型可塑性的影响[J].生态学报,2009,29(7):3518-3522.
He J, Zhao C J, Qing H, et al. Effect of soil-water condition on morphological plasticity of clonal plant *Spartina alterniflora* [J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(7): 3518-3522. (in Chinese)
- [11] 尚辛亥,王洋,阎秀峰.土壤水分对高山红景天生长和红景天甙含量的影响[J].植物生理学通讯,2003,39(4):335-336.
Shang X H, Wang Y, Yan X F. Effect of soil moisture on growth and root-salidroside content in *Rhodiola sachalinensis* [J]. Plant Physiology Communications, 2003, 39(4): 335-336. (in Chinese)
- [12] 黄璐琦,郭兰萍.环境胁迫下次生代谢产物的积累及道地药材

的形成 [J]. 中国中药杂志, 2007, 32(4): 277-280.

Huang L Q, Guo L P. Secondary metabolites accumulating and geotherbs formation under enviromental stress [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2007, 32(4): 277-280. (in Chinese)

[13] 杨莉, 韩忠明, 杨利民, 等. 水分胁迫对蒺藜光合作用生物量和药材质量的影响 [J]. 应用生态学报, 2010, 21(10): 2523-2528.

Yang L, Han Z M, Yang L M, et al. Effects of water stress on photosynthesis, biomass, and medicinal material quality of *Tribulus terrestris* [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2010, 21(10): 2523-2528. (in Chinese)

[14] 冯旭芹, 崔秀明, 陈中坚, 等. 三七有效成分与气候生态因子的相关性分析 [J]. 中国农业气象, 2006, 27(1): 16-18.

Feng X Q, Cui X M, Chen Z J, et al. Analysis of correlation between effective components of burk (*Pana notoginseng*) and meteorological factors [J]. Chinese Journal of Agrometeorology, 2006, 27(1): 16-18. (in Chinese)

[15] 罗文富, 喻盛甫, 贺承福, 等. 三七根腐病病原及复合侵染的研究 [J]. 植物病理学报, 1997, 27(1): 85-91.

Luo W F, Yu S F, He C F, et al. On the combined onfection of root rot pathogens on *Panax notoginsesng* [J]. Acta Phytopathologica Sinica, 1997, 27(1): 85-91. (in Chinese)

[16] 官会林, 陈昱君, 刘士清. 三七种植土壤微生物类群动态与根腐病的关系 [J]. 西南农业大学学报, 2006, 28(5): 706-709.

Guan H L, Chen Y J, Liu S Q. On the relationship between root rot in *Panax notoginseng* and soil microbes [J]. Journal of Southwest Agricultural University, 2006, 28(5): 706-709. (in Chinese)

[17] 王朝梁, 崔秀明, 李忠义, 等. 三七根腐病发生与环境条件关系的研究 [J]. 中国中药杂志, 1998, 23(12): 714-716.

Wang C L, Cui X M, Li Z Y, et al. Studies on relationship between root rot on *Panax notoginseng* Burk. F. H. Chen and its environmental conditions [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 1998, 23(12): 714-716. (in Chinese)

[18] 崔秀明, 王朝梁, 冯光泉, 等. 三七 GAP 研究与实践 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2003: 109-114.

Cui X M, Wang C L, Feng G Q, et al. *Panax notoginseng* GAP research and practice [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2003: 109-114. (in Chinese)

(上接第 172 页)

[28] 袁琳, 克热木·伊力. 盐胁迫对阿月浑子可溶性糖、淀粉、脯氨酸含量的影响 [J]. 新疆农业大学学报, 2004, 27(2): 19-23.

Yuan L, Karim A. Effects of salt tolerance on the content of soluble sugar, starch, proline of *Pistachio* [J]. Journal of Xinjiang Agricultural University, 2004, 27(2): 19-23. (in Chinese)

[29] 张有福, 陈拓, 费贯清, 等. 盐度对三种荒漠植物渗透调节物质积累影响的研究 [J]. 中国沙漠, 2007, 27(5): 787-790.

Zhang Y F, Chen T, Fei G Q, et al. Effects of salinity on the contents of osmotica of three desert plants [J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(5): 787-790. (in Chinese)