

网络出版时间:2013-06-20 16:17

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20130620.1617.021.html>

土壤紧实胁迫对桔梗生长、产量及品质的影响

张向东, 邓寒霜, 华智锐

(商洛学院 生物医药工程系, 陕西 商洛 726000)

【摘要】 **【目的】**探讨土壤紧实胁迫对桔梗生长的影响, 为通过创造良好的土壤结构提高桔梗药材产量与品质提供科学依据。**【方法】**采用人为设置土壤体积质量 1.20、1.35 和 1.50 g/cm³ 来模拟土壤紧实度, 通过盆栽试验研究了土壤体积质量对桔梗生长、产量及品质的影响。**【结果】**土壤紧实胁迫使桔梗地上部、根系鲜质量和干质量逐渐减少, 在土壤体积质量 1.20 与 1.35 g/cm³ 处理之间差异不显著, 但在土壤体积质量 1.50 g/cm³ 时极显著降低。土壤体积质量为 1.35 g/cm³ 处理桔梗的根冠比最大, 此时桔梗根系与地上部的生长相对比较协调。桔梗中桔梗皂苷 D 含量表现为, 土壤体积质量 1.35 g/cm³ 处理 > 土壤体积质量 1.50 g/cm³ 处理 > 体积质量 1.20 g/cm³ 处理。随着土壤体积质量增大, 桔梗根系活力、叶绿素含量降低, 可溶性蛋白含量随之减少, 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)及过氧化氢酶(CAT)活性随之增强, 丙二醛(MDA)含量随之增加。**【结论】**在本试验条件下, 土壤体积质量为 1.20~1.35 g/cm³ 时, 有利于桔梗地上部和根系的生长及产量的增加, 但在土壤体积质量为 1.50 g/cm³ 更有利于桔梗皂苷 D 的积累。

【关键词】 桔梗; 土壤紧实度; 生物量; 桔梗皂苷 D

【中图分类号】 S152.5; S682.1⁺9

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2013)07-0177-06

Effects of soil compaction stress on growth, quantity and quality of *Platycodon grandiflorum*

ZHANG Xiang-dong, DENG Han-shuang, HUA Zhi-rui

(Department of Biopharmaceutical Engineering, Shangluo University, Shangluo, Shaanxi 726000, China)

Abstract: **【Objective】** This study explored the effects of soil compaction stress on growth of *Platycodon grandiflorum* to improve the quantity and quality of *P. grandiflorum* by forming good soil structure. **【Method】** A pot experiment was carried out to study effects of soil compaction on growth, quantity and quality of *P. grandiflorum* by simulating soil compaction with soil bulk densities of 1.20, 1.35 and 1.50 g/cm³, respectively. **【Result】** Soil compaction stress decreased the subsoil root system fresh weight and dry weight gradually. However, there was no significant difference in treatments of 1.20 and 1.35 g/cm³. In treatment of 1.50 g/cm³, there was a clear decrease in subsoil root system fresh weight and dry weight. The maximum root/shoot ratio was from soil bulk density of 1.35 g/cm³, and root system and ground growth were relatively coordinated. The contents of Platycodin D were different with different soil bulk densities, in an decreasing order of 1.35 g/cm³ > 1.50 g/cm³ > 1.20 g/cm³. With the increase of soil bulk density, the activity of root system and chlorophyll of *P. grandiflorum* and contents of soluble protein decreased, while the activities of superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase, and contents of malondialdehyde (MDA) increased. **【Conclusion】** Soil with bulk density of 1.20—1.35 g/cm³ was

* [收稿日期] 2013-01-04

[基金项目] 商洛市科技计划项目(2009SKJ004); 陕西省教育厅科研计划项目(2013JK0731)

[作者简介] 张向东(1968—), 男, 陕西商州人, 副教授, 主要从事土壤与植物营养研究。E-mail: zhangxd8832@126.com

more suitable to the growth of root system and ground part, and the increase of biomass, while soil with bulk density of 1.50 g/cm³ was more suitable to the accumulation of Platycodin D.

Key words: *Platycodon grandiflorum*; soil bulk density; biomass; Platycodin D

桔梗 (*Platycodon grandiflorum* (Jacq.) A. DC.) 属于桔梗科桔梗属, 为多年生双子叶草本植物, 是一种药、食、赏兼用植物^[1]。桔梗以根部入药, 其味苦、辛、平, 归肺经, 主要活性成分是皂苷, 具有宣肺、利咽、祛痰、排脓等广泛的药理活性^[2], 多用于咳嗽痰多、胸闷不畅、咽痛音哑、肺痈吐脓等症的治疗。桔梗的药用价值与经济价值较高, 因此其人工栽培技术愈来愈受到人们的重视, 但由于长期单一施用化肥引起土壤结构破坏, 使得土壤板结, 导致桔梗减产。作为逆境胁迫因子之一, 土壤紧实度对植物生长、产量和质量的影响很大, 可以通过改变土壤水、肥、气、热等条件来改善土壤紧实度, 并通过根系产生的信息物质使植株的生理生化过程发生变化^[3]。目前, 在国内仅见土壤紧实度对小麦^[4]、玉米^[5]、黄瓜^[6]、番茄^[7]、蚕豆^[8]、生姜^[9]、杏^[10]等生长发育的影响, 且研究结果均表明, 土壤紧实胁迫使植物根系生长及伸长速度减慢, 对植物生长发育有一定抑制作用。土壤紧实胁迫对根茎类中药材桔梗生长发育的影响报道很少。为了避免土壤过度紧实对桔梗药材产量和有效成分积累造成影响, 探明桔梗对土壤紧实胁迫的响应规律, 本试验研究了不同土壤紧实度对桔梗生长、生物量以及有效成分含量和生理代谢的影响, 以期对桔梗 GAP (Good Agricultural Practices) 基地建设和制定标准化操作规程 (SOP), 提高药材产量与品质提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区基本概况

商洛位于陕西省东南部, 秦岭南麓, 与鄂豫两省交界。地理坐标为东经 108°34′20″~111°01′25″, 北纬 33°02′30″~34°24′40″。东西长约 229 km, 南北宽约 138 km。全区总面积 19 293 km², 占陕西省总面积的 9.36%。商洛地形地貌结构复杂, 境内群山连绵, 沟壑纵横, 是一个以中低山为主体的山区, 素有“八山一水一分田”之称。该区气候属北亚热带向温暖温带过渡的半湿润半干旱山地季风气候, 年均日照为 1 874.1~2 185 h, 总辐射热量 5 211 326 J/cm², 平均气温 11~14 ℃, 最热月份 7 月的平均气温为 23.8 ℃, 极端最高气温 40.8 ℃, 极端最低气温 -10 ℃, 年降水量 700~1 100 mm, 年均降水 120

d, 无霜期 198~218 d^[11]。

1.2 材料

盆栽用土取自陕西省商洛市商州区陕西香菊药业集团试验地的表土, 土壤类型为潮土, 土壤养分含量为: 有机质 10.5 g/kg, 全氮 0.53 g/kg, 速效氮 51 mg/kg, 速效磷 9 mg/kg, 速效钾 28 mg/kg, 土壤质地轻壤。供试的桔梗品种为商洛当地野生驯化栽培品种。

1.3 试验设计

鉴于试验区耕层土壤体积质量为 1.15~1.43 g/cm³^[12], 本试验设 3 个土壤紧实度处理, 即土壤体积质量分别为 1.20, 1.35 和 1.50 g/cm³, 土壤风干后过孔径 0.2 mm 筛, 根据土壤紧实度要求、盆钵体积及土壤含水量, 计算出每个处理所需的土壤质量依次为 4.02, 4.54 和 5.02 kg, 然后装盆 (必要时采用木夯锤击)。同时, 每 kg 土壤混施尿素 0.5 g, 过磷酸钙 (含 P₂O₅ 16%) 0.67 g。各处理 5 次重复。2010-04-20 在实验室内用直径 9 cm 培养皿催芽育苗。05-01 移苗定植, 每盆栽桔梗 5 株。在试验期间, 根据试验条件适量浇水, 与田间管理措施保持一致。2011-08-10 测定相关生理指标, 2011-10-08 收获。

1.4 测定项目及方法

干物质质量采用烘干-称重法测定, 具体方法为: 采集每盆桔梗地上部分茎叶和根系, 先测定鲜质量, 然后于 105 ℃ 下烘干 30 min, 70 ℃ 下烘干 48 h 后称质量。株高是土表至心叶的高度。芦头是桔梗主根顶端短小的根茎, 即顶端横生皱纹的部位, 茎粗用第 2 片叶下 2 cm 处的粗度表示, 芦头直径、茎粗均用游标卡尺测量。根系活力用 TTC 法测定^[13]。可溶性蛋白含量、丙二醛 (MDA) 含量、超氧化物歧化酶 (SOD) 活性、过氧化物酶 (POD) 活性、过氧化氢酶 (CAT) 活性及叶绿素含量采用高俊凤^[14]的方法测定。桔梗皂苷 D 含量按照《中国药典》^[2]的方法测定。

1.5 数据分析

试验数据均采用 SPSS17.0 分析软件和 EXCEL 进行处理。

2 结果与分析

2.1 土壤紧实胁迫对桔梗生长的影响

2.1.1 地上部 从表 1 可知, 随着土壤体积质量的

增加,桔梗株高、茎粗逐渐减少,当土壤体积质量从 1.20 g/cm³ 增加至 1.35 g/cm³ 时,桔梗株高、茎粗分别减小了 15.52%和 15.68%,当土壤体积质量从 1.35 g/cm³ 增加至 1.50 g/cm³ 时,桔梗株高、茎粗分别减小了 21.24%和 32.56%,3 个处理间的株高差异极显著,而土壤体积质量为 1.20~1.35 g/cm³ 处理桔梗茎粗极显著高于土壤体积质量为 1.50 g/cm³ 处理。随着土壤体积质量的增加,桔梗地上部鲜质量、干质量逐渐减小,当土壤体积质量从 1.20

g/cm³ 增加至 1.35 g/cm³ 时,桔梗地上部鲜质量、干质量分别减少了 32.58%和 21.19%,当土壤体积质量从 1.35 g/cm³ 增加至 1.50 g/cm³ 时,桔梗地上部鲜质量、干质量分别减少了 57.52%和 43.70%,土壤体积质量为 1.20 和 1.35 g/cm³ 时,桔梗地上部鲜质量、干质量差异不显著,但均极显著高于土壤体积质量 1.50 g/cm³ 处理。说明在土壤体积质量 1.35 g/cm³ 左右胁迫作用开始增强,过度紧实的土壤不利于桔梗地上部生长。

表 1 土壤紧实胁迫对桔梗地上部生长的影响

Table 1 Effects of soil compaction stress on shoots of <i>P. grandiflorum</i> plants				
土壤体积质量/ (g·cm ⁻³) Soil bulk density	株高/cm Height of plants	茎粗/cm Thickness of plants	地上部鲜质量/ (g·株 ⁻¹) Fresh weight of shoot	地上部干质量/ (g·株 ⁻¹) Dry weight of shoot
1.20	59.07 aA	1.02 aA	19.03 aA	4.53 aA
1.35	49.90 bB	0.86 aA	12.83 aA	3.57 aA
1.50	39.30 cC	0.58 bB	5.45 bB	2.01 bB

注:同列数据后标不同小写字母者表示差异显著($P<0.05$),标不同大写字母者表示差异极显著($P<0.01$)。下表同。
Note: Lowercase letters indicate significantly different ($P<0.05$), uppercase letters indicate extreme significantly different ($P<0.01$). The same as below.

2.1.2 根 系 土壤体积质量以机械阻力形式影响植物的生长,主要表现在对根系生长的影响,即在紧实土壤中根系生长速度减慢,根系变短^[13]。从表 2 可以看出,随着土壤体积质量的增加,桔梗的最大根长、芦头直径、根个数均逐渐减少,在土壤体积质量 1.35 g/cm³ 时,桔梗的最大根长、芦头直径、根个数分别较土壤体积质量 1.20 g/cm³ 处理降低了 5.99%,21.29%和 34.98%,且二者以上各指标差异均达极显著水平。当土壤体积质量为 1.50 g/cm³ 时,桔梗的最大根长、芦头直径、根个数分别较体积质量 1.20 g/cm³ 处理分别减小了 13.21%,51.81%和 62.84%,其中二者芦头直径、根个数差

异均达极显著水平。桔梗根系鲜质量、干质量随着土壤体积质量增大而降低,土壤体积质量 1.35 g/cm³ 处理桔梗根系鲜质量、干质量分别较土壤体积质量 1.20 g/cm³ 处理减小了 17.59%和 1.93%,但二者差异不显著;土壤体积质量为 1.50 g/cm³ 处理桔梗根系鲜质量、干质量分别较土壤体积质量 1.20 g/cm³ 处理减小了 71.00%和 66.72%,与土壤体积质量 1.20 和 1.35 g/cm³ 处理差异达极显著水平。说明在土壤体积质量 1.35 g/cm³ 左右胁迫效应开始增强,随着土壤紧实胁迫的加剧,桔梗根系生长受阻。

表 2 土壤紧实胁迫对桔梗根系生长的影响

Table 2 Effects of soil compaction stress on roots of <i>P. grandiflorum</i> plants						
土壤体积质量/ (g·cm ⁻³) Soil bulk density	最大根长/cm Maximum root length	芦头直径/cm Root diameter	根个数/ (个·株 ⁻¹) Number of roots	根系鲜质量/ (g·株 ⁻¹) Fresh weight of root	根系干质量/ (g·株 ⁻¹) Dry weight of root	根冠比 Root/Shoot
1.20	15.67 aA	2.49 aA	23.33 aA	25.52 aA	6.73 aA	1.48 aA
1.35	14.73 bB	1.96 bB	15.17 bB	21.03 aA	6.60 aA	1.84 bB
1.50	13.60 bB	1.20 cC	8.67 cC	7.40 bB	2.24 bB	1.11 cC

2.1.3 根冠比 根冠比是衡量地下部与地上部是否协调的一个重要指标^[5]。由表 2 可以看出,随着土壤体积质量的增大,桔梗的根冠比呈先增大后减小的趋势,土壤体积质量 1.35 g/cm³ 处理较土壤体积质量 1.20 和 1.50 g/cm³ 处理分别提高了 24.32%和 65.77%,3 个处理间差异达极显著水平。说明土壤体积质量 1.35 g/cm³ 处理,桔梗根系与地上部的生长相对比较协调。

2.2 土壤紧实胁迫对桔梗有效成分的影响 桔梗皂苷 D 是桔梗的主要有效成分之一,是衡量桔梗药材质量优劣的重要指标^[15]。由表 3 可知,土壤体积质量 1.35 g/cm³ 处理桔梗中桔梗皂苷 D 含量最高,达 1.495 mg/g,土壤体积质量 1.20 g/cm³ 处理含量最低,仅为 0.867 mg/g,土壤体积质量 1.50 g/cm³ 处理介于二者之间,三者差异达极显著水平,说明一定的土壤紧实胁迫有助于桔梗有效

成分的积累和增加。

表 3 土壤紧实胁迫对桔梗中桔梗皂苷 D 含量的影响
Table 3 Effects of soil compaction stress on Platycodin D of *P. grandiflorum* plant

土壤体积质量/(g·cm ⁻³) Soil bulk density	桔梗皂苷 D/(mg·g ⁻¹) Platycodin D
1.20	0.867 aA
1.35	1.495 bB
1.50	1.009 cC

表 4 土壤紧实胁迫对桔梗根系活力、可溶性蛋白和叶绿素含量的影响
Table 4 Effects of soil compaction stress on activities of roots,soluble protein and chlorophyll contents in leaves of *P. grandiflorum* plant

土壤体积质量/(g·cm ⁻³) Soil bulk density	根系活力/(μg·g ⁻¹ ·h ⁻¹) Root activity	可溶性蛋白含量/(mg·g ⁻¹) Soluble protein content	叶绿素含量/(mg·g ⁻¹) Content of chlorophyll
1.20	41.3	0.107	6.79
1.35	35.7	0.098	4.35
1.50	16.8	0.091	3.26

由表 5 可知,随着土壤体积质量的增加,桔梗超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)及过氧化氢酶(CAT)活性均增强,与土壤体积质量 1.20 g/cm³处理相比,土壤体积质量为 1.35 和 1.50 g/cm³处理桔梗的 SOD 活性分别提高 9.57% 和 24.82%,POD 活性分别提高 4.97% 和 69.19%,CAT 活性分别提高 18.28% 和 25.63%,3 种酶活性增加幅度的大小顺序为 POD>CAT>SOD,表明 3

表 5 土壤紧实胁迫对桔梗 SOD、POD 和 CAT 活性及 MDA 含量的影响
Table 5 Effects of soil compaction stress on SOD,POD,CAT activities and MDA contents in leaves of *P. grandiflorum* plant

土壤体积质量/(g·cm ⁻³) Soil bulk density	SOD 活性/(U·g ⁻¹) SOD activity	POD 活性/(U·min ⁻¹ ·g ⁻¹) POD activity	CAT 活性/(U·g ⁻¹) CAT activity	MDA 含量/(mmol·g ⁻¹) MDA content
1.20	362.35	8.05	0.476	6.82
1.35	397.01	8.45	0.563	10.86
1.50	452.29	13.62	0.598	15.34

3 结论与讨论

多数研究表明,随着土壤紧实度的增加,植物生物产量均会受到一定抑制,甚至造成减产^[5-7]。本试验结果表明,土壤体积质量 1.20 和 1.35 g/cm³ 处理桔梗地上部、根系干质量、鲜质量差异均不显著,说明土壤体积质量在 1.20~1.35 g/cm² 时对桔梗生长量影响不大,随着土壤体积质量的进一步加大,在土壤体积质量为 1.50 g/cm³ 时桔梗地上部和根系的干质量、鲜质量极显著下降,说明紧实度过高的土壤不利于桔梗地上部和根系的生长。

根冠比是衡量地下部与地上部是否协调的一个重要指标,土壤体积质量对根冠比的影响不明显或增大^[16]。本研究中,随着土壤体积质量的增大,桔梗植株的根冠比呈现先增大后减小的趋势,土壤体

2.3 土壤紧实胁迫对桔梗生理代谢物质的影响

由表 4 可知,当土壤体积质量由 1.20 g/cm³ 增加至 1.50 g/cm³ 时,桔梗根系活力呈下降趋势,降幅为 13.56%~59.32%;桔梗叶片中的可溶性蛋白含量也呈降低趋势,但变化幅度较小;桔梗叶片中叶绿素含量逐渐降低,降幅分别为 35.94% 和 25.06%,说明土壤紧实度的增强加速了叶绿素的降解。

种酶对土壤紧实胁迫的敏感程度不同。随着土壤体积质量的增加,桔梗丙二醛(MDA)含量明显增大,土壤体积质量为 1.35 和 1.50 g/cm³ 处理的桔梗 MDA 含量较土壤体积质量为 1.20 g/cm³ 处理分别增加了 59.24% 和 124.93%,说明土壤紧实度的增加对细胞膜造成了一定程度的伤害,加剧了细胞膜的损伤。

积质量为 1.35 g/cm³ 处理的根冠比最大,说明此处理桔梗根系与地上部的生长相对比较协调。

本研究还发现,随着土壤体积质量的增加,尽管地上部或地下部生物量都有降低趋势,但桔梗中桔梗皂苷 D 含量先增加后降低,土壤体积质量高的处理桔梗皂苷 D 含量高,进一步证明次生代谢产物通常是植物适应不良环境的产物^[17]。该结果支持黄璐琦等^[18]提出的道地药材形成“逆境效应理论”。由此可见,在实际栽培过程中,对于根茎类中药材桔梗疏松土壤有利于其经济产量的形成,但不利于有效成分的积累,如何确定桔梗合适的土壤体积质量还有待进一步研究。

多数植物在逆境条件下,细胞质膜受到一定程度的伤害,电解质的渗漏量和 MDA 的累积量增加,可溶性蛋白含量减少,同时 SOD、POD 和 CAT 活

性升高,叶绿素含量降低,根系活力下降^[19-21]。在本试验条件下,随着土壤体积质量增加,桔梗根系活力、可溶性蛋白、叶绿素含量降低,叶片 SOD、POD 和 CAT 活性提高,丙二醛(MDA)含量明显增大,说明土壤紧实胁迫对桔梗有一定的伤害,这与孙艳等^[16]在黄瓜上、尚庆文等^[9]在生姜上的研究结果基本一致。但在本试验中,由于桔梗叶片过少,加之叶片采摘后又会影响桔梗正常生长,故在生理指标测定时受采样叶片所限,不足以完成重复试验及多重比较,在今后开展这方面研究工作时须加以改进。

[参考文献]

[1] 严一字,朴 锦,薛均诚,等. 白花桔梗和紫花桔梗种质资源地上部性状的比较 [J]. 北方园艺,2010(8):20-22.
Yan Y Z, Piao J, Xue J C, et al. Comparative study of germ-plasm resources on above-ground traits of white flower *Platycodon grandiflorum* and purple flower *Platycodon grandiflorum* [J]. Northern Horticulture, 2010(8):20-22. (in Chinese)

[2] 中华人民共和国国家药典委员会. 中国药典 [M]. 北京:化学工业出版社,2010:229.
National Pharmacopoeia Committee of People's Republic of China. Chinese pharmacopoeia [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2010:229. (in Chinese)

[3] 刘晚荷,山 仑,邓西平. 植物对土壤紧实度的反应 [J]. 植物生理学通讯,2001,37(3):254-260.
Liu W G, Shan L, Deng X P. Responses of plant to soil compaction [J]. Plant Physiol Commun, 2001, 37(3):254-260. (in Chinese)

[4] 贺明荣,王振林. 土壤紧实度变化对小麦籽粒产量和品质的影响 [J]. 西北植物学报,2004,24(4):649-654.
He M R, Wang Z L. Effects of soil compaction on grain yield and quality of wheat [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 2004, 24(4):649-654. (in Chinese)

[5] 徐 海,王益权,王永健,等. 土壤紧实胁迫对玉米苗期生长与钙吸收的影响 [J]. 农业机械学报,2011,42(11):55-59.
Xu H, Wang Y Q, Wang Y J, et al. Effect of soil compaction stress on the growth of corn and calcium absorption at the seedling stage [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(11):55-59. (in Chinese)

[6] 孙 艳,王益权,冯嘉翔,等. 土壤紧实胁迫对黄瓜生长、产量及养分吸收的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(4):559-564.
Sun Y, Wang Y Q, Feng J Y, et al. Effects of soil compaction stress on the growth, yield and nutrient uptake of cucumber [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2006, 12(4):559-564. (in Chinese)

[7] 张国红,张振贤,梁 勇,等. 土壤紧实度对温室番茄生长发育、产量及品质的影响 [J]. 中国生态农业学报,2004,12(3):65-67.
Zhang G H, Zhang Z X, Liang Y, et al. Effect of compaction on

tomato growth, development, yield and quality in solar greenhouse [J]. Chinese J of Eco-Agriculture, 2004, 12(3):65-67. (in Chinese)

[8] 南志标,赵红洋,聂 斌. 黄土高原土壤紧实度对蚕豆生长的影响 [J]. 应用生态学报,2002,13(8):935-938.
Nan Z B, Zhao H Y, Nie B. Effect of soil compaction on *Vicia faba* of growth in the Loess Plateau [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(8):935-938. (in Chinese)

[9] 尚庆文,孔祥波,王玉霞,等. 土壤紧实度对生姜植株衰老的影响 [J]. 应用生态学报,2008,19(4):782-786.
Shang Q W, Kong X B, Wang Y X, et al. Effects of soil compactness on ginger plant senescence [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(4):782-786. (in Chinese)

[10] 吴思政,柏文富,禹 霖,等. 土壤容重与杏生长和结果的关系 [J]. 经济林研究,2001,19(4):20-22.
Wu S Z, Bo W F, Yu L, et al. Correlation of soil bulk density to the growth and fruiting performance of common apricot *Prunus armenica* [J]. Economic Forest Researches, 2001, 19(4):20-22. (in Chinese)

[11] 张向东,张晓虎,翟丙年. 商洛南五味子种植区土壤肥力特征 [J]. 西北农业学报,2008,17(6):329-333.
Zhang X D, Zhang X H, Zhai B N. Soil fertility properties in fructus schisandrae planting area in Shangluo [J]. Acta Agriculturae Boreali-Occidentalis Sinica, 2008, 17(6):329-333. (in Chinese)

[12] 商洛地区土壤普查办公室. 商洛土壤 [M]. 西安:陕西人民出版社,1989.
Soil Survey Office Shangluo. Shangluo soil [M]. Xi'an: Shaanxi People Press, 1989. (in Chinese)

[13] 王晓琴,袁继超,柯永培,等. 渗透胁迫对玉米幼苗根系活力和 K⁺ 吸收动力学特征的影响 [J]. 植物营养与肥料学报,2005, 11(1):27-32.
Wang X Q, Yuan J C, Ke Y P, et al. Effects of osmotic-stress on root vigor and kinetics parameters of K⁺ uptake of maize seedling [J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(1):27-32. (in Chinese)

[14] 高俊凤. 植物生理学实验技术 [M]. 西安:世界图书出版公司,2000.
Gao J F. Experimental technology of plant physiology [M]. Xi'an: World Book Press Company, 2000. (in Chinese)

[15] 黄 力,金传山,吴德玲. 不同干燥方法对桔梗中桔梗皂苷 D 含量的影响 [J]. 安徽中医学院学报,2010,29(3):69-71.
Huang L, Jin C S, Wu D L. Effect of different drying methods on contents of platycodin D in the roots of *Platycodon grandiflorum* [J]. Journal of Anhui Traditional Chinese Medical College, 2010, 29(3):69-71. (in Chinese)

[16] 孙 艳,王益权,杨 梅,等. 土壤紧实胁迫对黄瓜根系活力和叶片光合作用的影响 [J]. 植物生理与分子生物学学报, 2005, 31(5):545-550.
Sun Y, Wang Y Q, Yang M, et al. Effects of soil compactness stress on root activity and leaf photosynthesis of cucumber [J]. Journal of Plant Physiology and Molecular Biology, 2005,

31(5):545-550. (in Chinese)

[17] 尚辛亥,王 洋,阎秀峰. 土壤水分对高山红景天生长和红景天皂甙含量的影响 [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)

[18] 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)

[19] 汪炳良,徐 敏,史庆华,等. 高温胁迫对早熟花椰菜叶片抗氧化系统和叶绿素及其荧光参数的影响 [J]. 中国农业科学,2004,37(8):1245-1250.

Wang B L, Xu M, Shi Q H, et al. Effects of high temperature stress on antiofidant systems chlorophyll and chlorophyll fluorescence parametem in early cauliflower leaves [J]. Scientia Agricultura Sinica,2004,37(8):1245-1250. (in Chinese)

[20] 李潮海,李胜利,王 群,等. 下层土壤容重对玉米根系生长及吸收活力的影响 [J]. 中国农业科学,2005,38(8):1706-1711.

Li C H, Li S L, Wang Q, et al. A study on corn root growth and activities at different soil layers with special bulk density [J]. Scientia Agricultura Sinica,2005,38(8):1706-1711. (in Chinese)

[21] 田桂香,汤绍虎,武敬亮,等. 干旱胁迫对黄连生理作用的影响 [J]. 西南师范大学学报:自然科学版,2006,31(2):133-136.

Tian G X, Tang S H, Wu J L, et al. Effects of drought stress on physiology of *Coptis chinensis* Franch [J]. Journal of Southwest China Normal University: Natural Science,2006,31(2):133-136. (in Chinese)

(上接第 176 页)

[8] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions [J]. Ecological Modelling,2006,190(3/4):231-259.

[9] Phillips S J, Dudik M. Modeling of species distributions with MaxEnt; New extensions and a comprehensive evaluation [J]. Ecography,2008,31(2):161-175.

[10] Elith J, Phillips S J, Hastie T, et al. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists [J]. Diversity and Distributions,2011,17(1):43-57.

[11] 福建省科学技术委员会. 福建植物志(2 卷) [M]. 福州:福建科学技术出版社,1982:336-337.

Fujian Provincial Science and Technology Committee. Flora Fujianica tomus 2 [M]. Fuzhou: Fujian Science and Technology Press,1982:336-337. (in Chinese)

[12] 丁宝章,王遂义,高增义. 河南植物志(第 2 册) [M]. 郑州:河南人民出版社,1988:201.

Ding B Z, Wang S Y, Gao Z Y. Flora of Henan (2) [M]. Zhengzhou: Henan People's Press,1988:201. (in Chinese)

[13] 王雷宏,杨俊仙,郑玉红,等. 苹果属山荆子地理分布模拟 [J]. 北京林业大学学报,2011,33(3):70-74.

Wang L H, Yang J X, Zheng Y H, et al. Modelling the geographic distribution of *Malus baccata* [J]. Journal of Beijing Forestry University,2011,33(3):70-74. (in Chinese)