

DOI: 10.3724/SP.J.1006.2012.01522

连作对太子参光合作用及药用品质的影响

曾令杰^{1,**} 林茂兹^{2,**} 李振方^{1,**} 戴林泉¹ 李吉¹ 李晶晶¹ 张重义¹
林文雄^{1,*}

¹福建农林大学农业生态研究所, 福建福州 350002; ²福建师范大学福清分校, 福建福清 350300

摘要: 在福建柘荣太子参规范化栽培生产基地, 以柘参 2 号为材料, 探讨连作对太子参光合生理、产量及药用品质的影响。结果表明, 连作导致太子参产量极显著下降($P<0.01$), 仅为稻参轮作的 1/3, 其多糖含量仅为轮作太子参的 88.08%, 人参皂苷 Rb1 为轮作太子参的 44.33%; 光合指标测定表明, 连作太子参叶绿素相对含量(SPAD)极显著降低($P<0.01$), 叶片净光合速率(P_n)显著($P<0.05$)降低; 荧光动力学指标分析发现, 太子参连作后叶绿素初始荧光(F_0)下降不显著, 但非光化学猝灭系数下降(NPQ)显著; 显微结构观察发现, 连作太子参叶片细胞密度降低约 30%, 根细胞密度降低约 45%, 细胞排列由致密变为疏松。由此推测, 连作破坏了太子参光合系统中的保护机制, 使天线色素吸收的热量既不能用于光合成也不能被耗散掉, 而在叶部累积引起营养器官畸形化, 导致光合作用紊乱、光合速率下降, 最终影响根部形态建成, 其中分根数减少和根重下降成为限制太子参产量和品质的重要因素之一。

关键词: 太子参; 连作障碍; 光合作用; 药用品质

Effects of Continuous Cropping on Photosynthesis and Medicinal Quality of *Pseudostellariae heterophylla*

ZENG Ling-Jie^{1,**}, LIN Mao-Zi^{2,**}, LI Zhen-Fang^{1,**}, DAI Lin-Quan¹, LI Ji¹, LI Jing-Jing¹, ZHANG Zhong-Yi¹, and LIN Wen-Xiong^{1,*}

¹Institute of Agroecology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; ²Fuqing Branch of Fujian Normal University, Fuqing 350300, China

Abstract: Monocropping is one of cultivation systems for many crops in production, especially for *Pseudostellariae heterophylla*, one of Chinese herbal medicinal plants. Continuous cropping will cause a series of problem. In the paper, we designed a continuous cropping of *Pseudostellariae heterophylla* and rotation of *Pseudostellariae heterophylla* and rice to explore effects on photosynthetic physiology and medicinal quality of *P. heterophylla*. The results showed that compared to the rotation, the yield of continuous cropping of *P. heterophylla* was significantly ($P<0.01$) declined, only corresponding to one third of the rotation's, polysaccharide content and ginseng saponins Rb1 of the tuberous root reduced by 88.08% and 44.33%, respectively. The dynamic measurement of FluorCam fluorescence indicated that F_0 was not declined significantly ($P>0.05$), and NPQ decreased significantly ($P<0.05$). The relative chlorophyll content of leaf (SPAD) ($P<0.01$) and P_n ($P<0.05$) declined. The decreased cell density in leaf and root was observed with microscope. In conclusion, the photosynthetic system was damaged by continuous cropping, especially for the protection mechanism. The light energy absorbed by PSII antenna pigment cannot be used in photosynthesis or dissipated, but accumulated in the leaves, which causes disordered photosynthesis, declined photosynthetic rate and malformed organs. The pathologic, and finally affects the morphogenesis of root that may be an important faction in restricting the yield and quality of *P. Heterophylla*.

Keywords: *Pseudostellariae heterophylla*; Continuous cropping problems; Photosynthesis; Medicinal quality

太子参(*Pseudostellariae heterophylla*)别名孩儿参、童参, 是石竹科草本植物, 以根部入药, 性平, 味甘, 益气健脾, 生津润肺, 常用于治疗脾虚体倦, 食欲不振, 病后虚弱, 气阴不足^[1-2], 在我国福建、

本研究由福建省自然科学基金资助项目(2008J0051)和国家自然科学基金资助项目(30772729)资助。

* 通讯作者(Corresponding author): 林文雄, E-mail: wenxiong181@163.com, Tel: 0596-83737535

** 同等贡献(Contributed equally to this work)

Received(收稿日期): 2012-01-15; Accepted(接受日期): 2012-04-20; Published online(网络出版日期): 2012-06-08.

URL: <http://www.cnki.net/kcms/detail/11.1809.S.20120608.0934.002.html>

安徽、江苏、贵州、山东等省份均有栽培,尤以福建柘荣太子参产量和品质为好,种植面积和产量居全国之首,也已成为福建著名的道地药材之一^[3-4]。但太子参连作障碍问题(重茬栽培问题)非常突出,导致太子参不能正常膨大形成具有商品价值的块根,产量和品质均下降,严重影响区域经济的发展^[4-5],引起了学术界的高度重视。夏品华等^[4]研究认为,连作危害太子参生长发育,随着连作年限的延长,根长、根系数量、株高、茎分支数、结实种子数、总生物量呈下降趋势,单根重和产量明显降低。冯业强等^[6]研究结果表明,连作造成太子参产量明显下降,同地块上连作两年比正茬减产30%左右,连作3年以上比正茬减产50%以上,而且连作对太子参药用品质影响明显,其中总皂苷含量极显著下降。本研究小组通过差异蛋白质组学研究认为^[5],连作导致太子参光合作用相关蛋白下调表达,使得其光合能力下降,还导致太子参感病性和衰老相关蛋白上调表达。

在福建“柘参”产区主要通过水稻与太子参轮作来缓解这一严重问题,但长期采用这种轮作模式也就成为所谓的复种连作,仍会导致太子参产量明显降低^[7-8]。而且受柘荣山区地理条件的限制,稻参轮作也不能大面积实施,更不能满足当前太子参日益增高的需求量,太子参连作障碍依然是限制太子参产业发展的瓶颈问题,严重影响着柘荣太子参的产业化和可持续发展^[9]。本研究旨在比较太子参产量和品质的形成过程中连作栽培和稻参轮作的影响,为解决太子参连作障碍提供参考,为建立高产优质太子参栽培技术体系提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

以柘参2号品种为材料,2008年7月在福建柘荣太子参规范化栽培生产(good agricultural production, GAP)基地,采收太子参后于同一地块上设计试验组和对照组,小区试验,小区面积各为250 m²,重复3次。参照林光美等^[7]方法,种太子参施农家肥和复合肥,整地后做畦起垄,垄长10 m,宽80 cm,垄高25 cm,在垄上开沟,深约12 cm。条播太子参,行距15 cm,株距4 cm,下种量为150 kg hm⁻²。

试验组为“太子参-休闲-太子参”连作栽培模式,采收太子参后于夏秋季休闲(2008年8月至11月),再于2008年11月22日栽培太子参;对照组为“太

子参-水稻-太子参”轮作栽培模式,采收太子参后于夏秋季栽培水稻(2008年8月至11月),后于2008年11月22日栽培太子参。经正常田间管理,于2009年2月22日出苗后测定光合生理指标。于2009年7月3日采收连作和轮作太子参,测定产量和品质指标。

1.2 光合生理指标分析

选择晴朗无云天气(2009年4月1日)10:00~12:00,用Li-6400光合系统测定仪和FluorCam荧光动力学测定仪测定太子参倒二叶叶片中部的光合作用特征指标,采用内置光源,设定光强为800 mmol m⁻² s⁻¹^[10]测定。同期采用SPAD-502测定仪测定连作与轮作太子参倒二叶的叶绿素含量^[11]。

取连作与轮作太子参倒二叶叶片中部,暗适应20 min后,用FluorCam荧光动力学测定仪测定其各荧光动力学参数^[12],测定时选择猝灭模式,各重复测定5次。

1.3 产量和品质指标测定

1.3.1 产量指标测定 用5点采样法选取5个样方(50 cm×50 cm),在采收期(2009年6月20日)采集轮作和连作太子参,混合后计算太子参出根数和太子参长度。

1.3.2 人参皂苷含量 将采集的轮作和连作样品风干粉碎,用蒸馏水超声提取,加乙醇至醇沉浓度为70%,静置过夜后抽滤,滤液挥发干后加入蒸馏水,用水饱和的正丁醇萃取,将正丁醇萃取相减压抽滤至干,用甲醇定容,作为供试品溶液。参照彭爱红等的方法^[13-15],以人参皂苷Rb1为标准溶液,在紫外分光光度计上测定560 nm的吸光度。

1.3.3 多糖含量 参照张陆军等的方法^[15-17],配制葡萄糖标准液,通过蒽酮显色反应绘制标准曲线。将采集的太子参样品按上述实验方法处理后,沸水蒸馏提取太子参多糖,经蒽酮显色反应后测定吸光度,按回归方程计算样品中多糖含量。

1.3.4 显微结构分析 在采收期(2009年6月20日)采集轮作和连作太子参,应用石蜡包埋切片法^[18]制备太子参根部和叶片超薄切片,经固定、脱水、包埋、脱蜡后,以1%番红和二甲苯染色,在CFX-908显微镜数码新视窗(Mega Pixel Camera, 8105 SXGA型)组合CX21型普通光学显微镜(Olympus)显微摄像系统中观察两组太子参根部和叶片显微结构的差异,所选放大倍数为40(物镜)×10(目镜)。

2 结果与分析

2.1 连作对太子参光合作用指标的影响

表 1 显示, 与稻参轮作相比, 连作太子参叶片叶绿素相对含量 (SPAD) 显著降低, 差异极显著 ($P<0.01$), 叶片净光合速率 (P_n) 也显著 ($P<0.05$) 降低。连作太子参叶绿素荧光动力学参数中的最大荧光 (F_m)、可变荧光 (F_v)、Kautsky 效应最大荧光 (F_p)、稳态非光化学猝灭系数 (NPQ_Lss) 等指标也相应降低,

呈显著 ($P<0.05$) 或极显著 ($P<0.01$) 差异。

其余叶绿素荧光动力学指标如初始荧光 (F_o)、最大量子产额 (QY_max)、稳态连续荧光产额 (Ft_Lss)、稳态最小荧光 (F_o _Lss)、稳态最大荧光 (F_m _Lss), 稳态光化学猝灭 (q_p _Lss)、稳态光系统 II 量子产额 (QY_Lss) 在重茬太子参叶片中比轮作的均有所降低。说明太子参连作的自毒作用导致光合作用系统破坏, 这是太子参连作导致最终产量和品质下降的生理原因。

表 1 连作对太子参光合作用指标的影响

Table 1 Effect of continuous cropping on photosynthesis parameters of *Pseudostellariae heterophylla*

参数 Parameter	轮作 Rotation	连作 Continuous cropping
P_n ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	38.09±0.4216*	36.15±0.3419*
SPAD	35.35±1.2580**	26.60±1.3749**
F_o	140.72±16.6873	126.73±8.2109
F_m	730.38±46.1729*	546.99±34.4551*
F_v	589.67±34.1145**	420.26±32.1801**
F_p	526.45±55.1927*	373.55±36.5224*
QY_max	0.81±0.0150	0.77±0.0169
F_t _Lss	164.33±19.1525	144.58±10.8883
NPQ_Lss	2.40±0.1141*	1.86±0.1170*
F_o _Lss	122.93±14.0420	107.18±6.5702
F_m _Lss	217.20±19.3159	192.01±12.3270
q_p _Lss	0.57±0.0404	0.57±0.0439
QY_Lss	0.25±0.0273	0.25±0.0124

数据表示为平均值±标准误差, P_n 和 SPAD 测定重复 $n=24$, 其余荧光动力学参数重复 $n=5$ 。*表示同一列内差异显著 ($P<0.05$); **表示同一列内差异极显著 ($P<0.01$)。 P_n : 叶片净光合速率; SPAD: 叶片叶绿素相对含量; F_o : 最小荧光; F_m : 最大荧光; F_v : 可变荧光; F_p : Kautsky 效应最大荧光; QY_max: 最大光量子产额; F_t _Lss: 稳态连续荧光产额; NPQ_Lss: 稳态非光化学猝灭系数; F_o _Lss: 稳态最小荧光; F_m _Lss: 稳态最大荧光; q_p _Lss: 稳态光化学猝灭; QY_Lss: 稳态光系统 II 量子产额。

The data are described as mean±SE. The observation number of P_n and SPAD is 24 ($n=24$); the observation number of the other parameters is 5 ($n=5$). * Significantly different at $P<0.05$ within the same column; ** Significantly different at $P<0.01$ within the same column. P_n : leaf net photosynthetic rate; SPAD: the chlorophyll content of leaf; F_o : minimal fluorescence; F_m : maximal fluorescence; F_v : variable fluorescence; F_p : Kautsky effect maximal fluorescence; QY-max: maximal photosystem II quantum yield; F_t -Lss: continuous fluorescence yield in non-actinic light of light steady state; NPQ-Lss: non-photochemical quenching of light steady state; F_o -Lss: minimal fluorescence of light steady state; F_m -Lss: maximal fluorescence of light steady state; q_p -Lss: photochemical quenching of light steady state; QY-Lss: photosystem II quantum yield of light steady state.

2.2 连作对太子参根部和叶片影响的显微观察结果

图 1 和图 2 显示, 太子参叶片无栅栏组织, 海绵组织细胞多呈不规则多边形, 通气组织发达, 机械组织退化, 属于典型的阴生植物类型。通过网格计数发现, 连作导致太子参叶片单位面积内细胞密度约降低 30%, 叶片细胞排列更为稀疏。

从太子参根部横切片观察到的细胞多呈圆形, 连作也导致太子参根细胞死亡, 引起根横切面单位面积内细胞密度约降低 45%, 细胞排列由致密变为疏松。

2.3 连作对太子参产量特征的影响

太子参连作导致产量极显著下降 ($P<0.01$), 仅约为稻参轮作的 1/3 (表 2)。太子参连作导致产量下降与连作条件下太子参根的分根数下降和根的生长受到抑制都有关, 连作和稻参轮作条件相比较, 太子参的分根数呈极显著 ($P<0.01$) 差异, 而根长呈显著 ($P<0.05$) 差异。连作条件下的太子参分根数仅约为稻参轮作的一半, 而根长比稻参轮作条件下的缩短约 8% (表 2), 且连作导致太子参分根数减少比根长下降更显著。

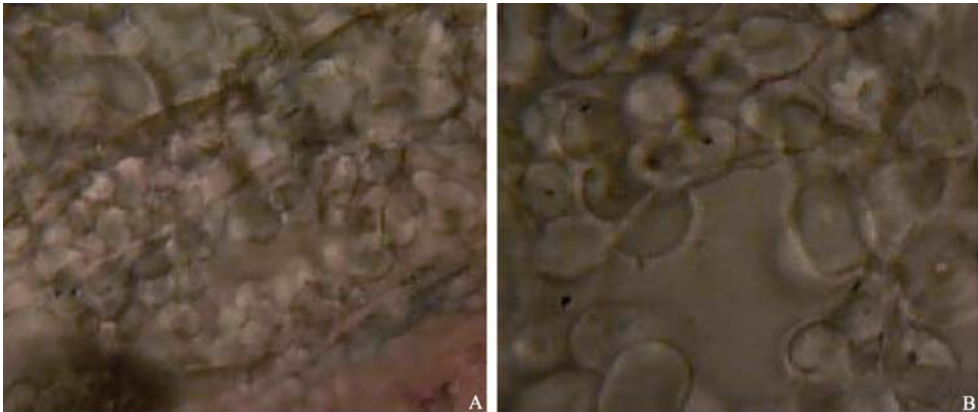


图 1 连作对太子参叶片显微结构的影响
Fig. 1 Effect of continuous cropping on leaf microscopic structure of *P. heterophylla*
A 为轮作太子参叶片显微结构, B 为连作太子参叶片显微结构, 均为横切片(×400)。

A: section (×400) of the control; B: section (×400) of leaf of *P. heterophylla* under the continuous cropping.

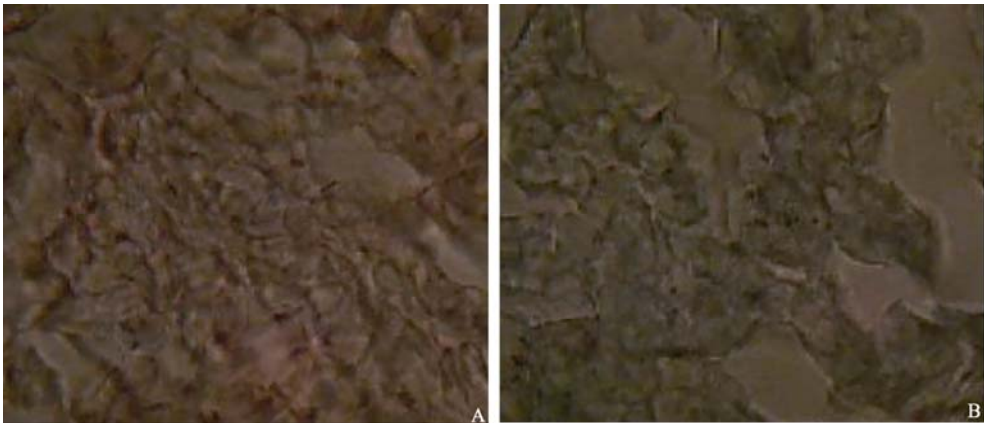


图 2 连作对太子参根的显微结构的影响
Fig. 2 Effect of replanting on root microscopic structure of *P. heterophylla*
A 为轮作太子参根的显微结构, B 为连作太子参根的显微结构, 均为横切片(×400)。

A: section (400×) of the control; B: section (×400) of root of *P. heterophylla* under the continuous cropping.

表 2 连作与轮作条件下太子参产量相关指标

Table 2 Yield-related indices of *Pseudostellariae heterophylla* under continuous cropping and crop rotation of *P. heterophylla*–rice-*P. heterophylla*

指标 Index	轮作 Rotation	连作 Continuous cropping
根鲜重 Root fresh weight (10^3 kg hm^{-2}) $n=5$	39.5±0.312**	13.0±0.193**
根数 Root numbers (1000-bar m^{-2}) $n=5$	2.26±0.0126**	1.17±0.0118**
根长 Root length (cm) $n=100$	5.57±0.1560*	5.13±0.1302*

数据表示为平均值±标准误差, *表示同一列内差异显著($P<0.05$), **表示同一列内差异极显著($P<0.01$)。
The data described as mean±SE; * means significantly different at $P<0.05$ within the same column; ** means significantly different at $P<0.01$ within the same column.

2.4 连作对太子参品质的影响

连作太子参导致品质指标极显著下降($P<0.01$), 多糖含量下降为轮作的 88.08%。人参皂苷 Rb1 下降更为明显, 仅仅为轮作的 44.33% (表 3)。

3 讨论

植物光合作用是生态系统物质循环和能量流动的基础, 也是生物固碳的最主要方式, 反应了植物适应和改善环境的能力, 是植物生理学、生理生态

表 3 连作与稻参轮作下太子参品质相关指标比较

Table 3 Main quality-related indices of *Pseudostellariae heterophylla* under continuous cropping and rotation of *P. heterophylla* with rice (%)

指标 Index	轮作 Rotation	连作 Continuous cropping
多糖 Polysaccharide	12.72±0.043**	14.44±0.059**
人参皂苷 Rb1 Ginsenoside Rb1	0.125±0.003**	0.282±0.010**

数据表示为平均值±标准误差, **表示同一列间差异极显著($P<0.01$), $n=6$ 。
The data were described as mean±SE. ** means significantly different at $P<0.01$ within the same column, $n=6$.

学中研究的热点问题^[10]。张重义等^[19]研究认为气孔关闭和叶绿素含量的下降是最初引起重茬地黄叶片光合速率降低的重要原因, 而随着重茬植株逆境胁迫时间的延长, 叶肉细胞的超微结构开始受到损伤, 这加剧了中后期重茬作物光合速率的降低。吴凤芝等^[20]通过外源添加实验发现, 苯丙烯酸对黄瓜幼苗的叶绿体、线粒体等细胞的超微结构具有明显的破坏作用, 从而影响 Chl 的合成, 降低植株光合能力。本研究发现连作太子参叶绿素初始荧光(F_0)与稻参轮作条件下的差异不显著, 即其光系统 II 反应中心处于完全开放时的荧光产量差异不显著; 但进一步分析发现轮作太子参与连作太子参光化学猝灭系数(q_P)即其 PSII 天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额基本相同, 但轮作太子参非光化学猝灭系数(NPQ)即 PSII 天线色素吸收的光能以热的形式耗散掉的部分却高于连作太子参。由此推测, 连作导致太子参光合作用系统紊乱, 特别是破坏了光合系统中的保护机制, 使 PSII 天线色素吸收的却不能用于光合的热量在叶部累积, 进而对太子参造成伤害。

人参皂苷 Rb1 和多糖被用作太子参品质评价的重要指标^[21-22]。许茜等^[23]研究认为, 采用超声法提取的总皂苷得率明显高于用索氏提取法及水煮煎法的。秦民坚等^[22]报道人工栽培太子参多糖含量均高于野生太子参。本研究采用超声提取研究结果显示, 轮作太子参人参皂苷 Rb1 含量明显高于连作太子参。而后采用蒽酮比色法测定太子参多糖含量也发现, 太子参连作会导致其品质急剧下降。这也与人参^[24]、西洋参^[25]、三七^[26]、地黄^[27-28]等其他药用植物连作障碍研究结果一致, 即连作导致药用植物产量和品质下降。进一步对太子参田间产量性状研究认为, 太子参分根数减少和根重降低是太子参产量下降的主要因素之一。

连作条件下, 太子参叶片和根部细胞密度下降。这可能与光合生理所显示结果相一致, 这也可能是连作所导致太子参早衰死亡在细胞水平的一种

表现形式。另外, 叶片细胞发育畸形或叶片失绿也必然导致太子参光合效率降低, 降低太子参对物质和能量的同化效率, 最终导致太子参产量和品质下降。

4 结论

连作导致太子参产量和药用成分(太子参多糖和人参皂苷)明显下降。连作破坏了太子参光合系统中的保护机制, 使非光化学猝灭系数(NPQ)显著降低, 造成 PSII 天线色素吸收的热量既不能用于光合也不能被耗散掉, 而在叶部累积引起光合作用紊乱, 还进一步引起叶部和根部细胞密度下降, 及叶部形态和内部结构呈现畸形, 最终导致太子参光合速率下降。分根数减少和根重降低成为太子参减产的主要因素之一。

References

[1] Lin G-M(林光美). Progress in study of Chinese herb Taizishen. *Chin Wild Plant Resour* (中国野生植物资源), 2004, 23(6): 15–17 (in Chinese with English abstract)

[2] Gong Z-N(龚祝南), Dai Y(戴岳), Ma H(马辉), Wang Z-T(王峥涛), Yu G-D(余国奠). The effect of radix pseudostellariae from 8 habitats on spleen-deficiency and immunologic function. *J Chin Med Mater* (中药材), 2001, 24(4): 281–282 (in Chinese with English abstract)

[3] Lin G-M(林光美), Zhang J-B(张建宝), Hou C-H(侯长红), Wang S-G(王树贵), Yuan J-D(袁济端), Lin W-X(林文雄). Studies on strain characteristics of *Pseudostellaria heterophylla* varieties. *China J Chin Mater Med* (中国中药杂志), 2005, 30(6): 422–426 (in Chinese with English abstract)

[4] Xia P-H(夏品华), Liu Y(刘燕). Study on obstacle effect of succession cropping on *Pseudostellaria heterophylla*. *Acta Bot Boreali-Occident Sin* (西北植物学报). 2010, 30(11): 2240–2246 (in Chinese with English abstract)

[5] Lin M-Z(林茂兹), Zhang Z-X(张志兴), Lin Z-C(林争春), You

- C-H(尤垂怀), Zeng L-J(曾令杰), Lin W-X(林文雄). Analysis of differential expression of proteins in replanting disease of *Pseudostellaria heterophylla*. *Acta Pratac Sin* (草业学报), 2010, 19(6): 197–207 (in Chinese with English abstract)
- [6] Feng Y-Q(冯业强), Xia P-H(夏品华), Long J(龙健), Wu Q(吴庆), Wei J(魏进). Effects of continuous cropping on yield and quality of radix *Pseudostellariae*. *Guizhou Agric Sci* (贵州农业科学), 2010, 38(10): 61–63 (in Chinese with English abstract)
- [7] Lin G-M(林光美), Hou C-H(侯长红). A pilot study on economic crop Taizishen's good agricultural practice (GAP). *J Fujian Agric Univ* (Soc Sci Edn) (福建农林大学学报·哲学与社会科学版), 2003, 6(2): 51–54 (in Chinese with English abstract)
- [8] Lin G-M(林光美), Hou C-H(侯长红), Wang S-G(王树贵), Yuan J-D(袁济端). The influence of plant-row-line-spacing on yield of *Pseudostellaria heterophylla* (Miq.). *Special Wild Econo Anim Plant Res* (特产研究), 2005, (4): 9–13 (in Chinese with English abstract)
- [9] Zhu Y(朱艳), Zhou X-H(周小华), Qin M-J(秦民坚). Advances of research on virus disease of *Pseudostellaria heterophylla*. *Chin Wild Plant Resour* (中国野生植物资源), 2005, 24(2): 31–32 (in Chinese with English abstract)
- [10] Xu D-Q(许大全). Ecology, physiology and biochemistry of midday depression of photosynthesis. *Plant Physiol Commun* (植物生理学通讯), 1990, (6): 5–10 (in Chinese)
- [11] Zhu J-J(朱娟娟), Liang Y-L(梁银丽). Tremblay N. responses of corn (*Zea mays* L.) nitrogen status indicators to nitrogen rates and soil moisture. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2011, 37(7): 1259–1265 (in Chinese with English abstract)
- [12] Wang Z-H(王正航), Wu X-S(武仙山), Chang X-P(昌小平), Li R-Z(李润植), Jing R-L(景蕊莲). Chlorophyll content and chlorophyll fluorescence kinetics parameters of flag leaf and their gray relational grade with yield in wheat. *Acta Agron Sin* (作物学报), 2011, 37(7): 217–227 (in Chinese with English abstract)
- [13] Peng A-H(彭爱红), Xiong H-J(熊何健), Yang Y-H(颜宇航). Study on determination of the content of total saponins in radix *Pseudostellariae*. *J Sichuan Norm Univ* (Nat Sci) (四川师范大学学报·自然科学版), 2006, 29(6): 743–746 (in Chinese with English abstract)
- [14] Yu G-D(余国奠), Liu X-P(刘学平), Zhang J(张洁), Qin M-J(秦民坚), Gong Z-N(龚祝南). A comparative study on the contents of amino acids in both root tuber and aerial part of wild *Pseudostellaria heterophylla* (Miq.) Pax. *Chin Wild Plant Resour* (中国野生植物资源), 1999, 18(4): 7–9 (in Chinese with English abstract)
- [15] Yu G-D(余国奠), Liu X-P(刘学平), Pan H-J(潘红娟), Qin M-J(秦民坚), Gong Z-N(龚祝南). A comparative study on the contents of trace elements in 5 strains of the Chinese drug Taizishen [the root tuber of *Pseudostellaria heterophylla* (Miq.) Pax]. *Chin Wild Plant Resour* (中国野生植物资源), 1998, 17(4): 20–22 (in Chinese with English abstract)
- [16] Chen Y Y, Ding Y, Wang W, Wang R F, Su H, Du L J. Determination of polysaccharide in radix *Pseudostellariae* extract by size-exclusion high-performance liquid chromatography. *Tsinghua Sci Technol*, 2007, 12(4): 389–393
- [17] Zhong F-X(钟方晓), Peng G-F(彭广芳), Li G-H(李贵海). Effect of content of polysaccharide on the quality of Taizishen (*Pseudostellaria heterophylla*) in Shandong. *Chin Tradit Herbal Drugs* (中草药), 1997, 28(7): 428–430 (in Chinese)
- [18] Pan Y(潘叶), Feng Y-Q(冯永庆), Ma H-P(马焕普). A simple and rapid paraffin method for plant tissues. *Chin Agric Sci Bull* (中国农学通报), 2008, 24(3): 112–115 (in Chinese with English abstract)
- [19] Zhang Z-Y(张重义), Yin W-J(尹文佳), Li J(李娟), Du J-F(杜家方), Yang Y-H(杨艳会), Chen X-J(陈新建), Lin W-X(林文雄). Physio-ecological properties of continuous cropping *Rehmannia glutinosa*. *Chin J Plant Ecol* (植物生态学报), 2010, 34(5): 547–554 (in Chinese with English abstract)
- [20] Wu F-Z(吴凤芝), Pan K(潘凯), Ma F-M(马凤鸣), Wang X-D(王学东). Effects of cinnamic acid on photosynthesis and cell ultrastructure of cucumber seedlings. *Acta Hort Sin* (园艺学报), 2004, 31(2): 183–188 (in Chinese with English abstract)
- [21] Chen F-F(陈芳芳), Zhang G(张岗), Wang Y-Y(王雅英). Analysis of active constituents in autotetraploid of *Pseudostellaria heterophylla* (Miq.). *Pharmac Biotechnol* (药物生物技术), 2010, 17(6): 523–526 (in Chinese with English abstract)
- [22] Qin M-J(秦民坚), Yu Y-B(余永邦), Huang W-Z(黄文哲), Zhu Y(朱艳), Yan L(闫亮), Pu S-B(濮社班). Quality assay of radix *Pseudostellariae* collected from different regions. *Res Pract Chin Med* (现代中药研究与实践). 2005, 19(5): 29–32 (in Chinese with English abstract)
- [23] Xu Q(许茜), Wang H-F(王红芳), Zhou X-Y(周小羽). Study on extraction of *Pseudostellaria heterophylla* saponins. *Chin Tradit Herbal Drugs* (中草药), 2001, 32(9): 799–800 (in Chinese)
- [24] Zhang H-Y(张鸿雁), Xue Q-H(薛泉宏). Research progress in

- control of continuous cropping obstacle in ginseng. *Acta Agric Jiangxi* (江西农业学报), 2010, 22(6): 68–71 (in Chinese with English abstract)
- [25] Lei F-J(雷锋杰), Zhang A-H(张爱华), Zhang Q-J(张秋菊), Zhang L-X(张连学). Advances in research on allelopathy of ginseng and American ginseng. *China J Chin Mater Med* (中国中药杂志), 2010, 35(17): 2221–2226 (in Chinese with English abstract)
- [26] Zhang Z-L(张子龙), Wang W-Q(王文全), Wang Y(王勇), Yang J-Z(杨建忠), Cui X-M(崔秀明). Influence of *Panax notoginseng* continuous cropping on seed germination and seedling growth of the plant. *Chin J Ecol* (生态学杂志), 2010, 29(8): 1493–1497 (in Chinese with English abstract)
- [27] Wu L K, Wang H B, Zhang Z X, Lin R, Zhang Z Y, Lin W X. Comparative metaproteomic analysis on consecutively *Rehmannia glutinosa*-monocultured rhizosphere soil. *PLoS One*, 2011, 6: e20611
- [28] Li Z F, Yang Y Q, Xie D F, Zhu L F, Zhang Z G, Lin W X. Identification of autotoxic compounds in fibrous roots of *Rehmannia* (*Rehmannia glutinosa* Libosch.). *PLoS One*, 2012, 7: e28806

欢迎订阅 2013 年《作物学报》

《作物学报》是中国科学技术协会主管、中国作物学会和中国农业科学院作物科学研究所共同主办、科学出版社出版的有关作物科学的学术期刊。前身可追溯到 1919 年创办的《中华农学会丛刊》。主要刊载农作物遗传育种、耕作栽培、生理生化、种质资源以及与作物生产有关的生物技术、生物数学等学科具基础理论或实践应用性的原始研究论文、专题评述和研究简报等。办刊宗旨是报道本领域最新研究动态和成果，为繁荣我国作物科学研究、促进国内外学术交流、加速中国农业现代化建设服务。读者对象是从事农作物科学研究的科技工作者、大专院校师生和具有同等水平的专业人士。

《作物学报》从 1999 年起连续 12 年获“国家自然科学基金重点学术期刊专项基金”的资助。2006—2011 年连续 6 年获“中国科协精品科技期刊工程项目(B 类)”资助。从 2002 年起连续 10 年被中国科技信息研究所授予“百种中国杰出学术期刊”称号。2011 年获“第二届中国出版政府奖期刊奖提名奖”，2005 年获“第三届全国期刊奖提名奖”。2008 和 2011 年被中国科学技术信息研究所授予“中国精品科技期刊”称号。2009 年被中国期刊协会和中国出版科学研究所授予“新中国 60 年有影响力的期刊”称号。据北京大学图书馆编著的《中文核心期刊要目总览》(2004、2008 和 2011 年版)登载，《作物学报》被列在“农学、农作物类核心期刊表”的首位。

《作物学报》为月刊，2013 年定价 50 元/册，全年 600 元。可通过全国各地邮局订阅，刊号：ISSN 0496-3490, CN 11-1809/S，邮发代号：82-336。也可向编辑部直接订购。

地址：北京市海淀区中关村南大街 12 号，中国农业科学院作物科学研究所《作物学报》编辑部(邮编 100081)

电话：010-82108548；传真：010-82105793；网址：<http://www.chinacrops.org/zwxw/>

E-mail: zwxw301@mail.caas.net.cn; xbzw@chinajournal.net.cn