不同种植模式对延胡索产量及品质形成的影响

汪一敏[1]，陈茜茜[1,2]，俞冰[1]，金雅慧[3]，张春椿[1]，李石清[1]，张水利[1*]，睢宁[1*](1.浙江中医药大学药学院，杭州 310053；2.温州市中医院，浙江 温州 325000；3.杭州市富阳区植物检疫所，杭州 311400)

摘要：目的 研究不同种植模式下延胡索氮、磷、钾元素累积与分配对其产量、品质形成的影响，寻求不同种植模式下延胡索产量差异形成的因素。**方法** 试验设置延胡索单作、延胡索与水稻复种、延胡索与玉米复种 3 个处理组，通过测定不同种植模式下延胡索的农艺学性状、光合性能、生物量、产量及有效成分延胡索乙素含量，同时测定植株中各部位氮、磷、钾元素含量，分析植株氮、磷、钾元素含量对延胡索生长发育及产量品质的影响。**结果** 延胡索在复种条件下，其农艺性状、光合性能、收获时生物量、产量及有效成分含量更具优势，其中延胡索与水稻复种组效果最佳。延胡索植株的氮元素含量与块茎体积、产量、总生物量及净光合速率均呈显著正相关性；植株磷元素与总生物量成显著正相关；植株钾元素与延胡索乙素含量及净光合速率成显著正相关。**结论** 复种通过影响氮、钾在植株中的累积与分配，能显著提高延胡索农艺学性状、光合性能及药材的产量与品质。推荐在水田多采用水稻-延胡索复种模式、在旱地多采用玉米-延胡索复种；可以在全国的山区范围内推广玉米-延胡索复种的种植模式。

关键词：延胡索；种植模式；产量；品质

中图分类号：R285.2 **文献标志码：**B **文章编号：**1007-7693(2019)09-1042-08

DOI: 10.13748/j.cnki.issn1007-7693.2019.09.003

引用本文：汪一敏, 陈茜茜, 俞冰, 等. 不同种植模式对延胡索产量及品质形成的影响[J]. 中国现代应用药学, 2019, 36(9): 1042-1049.

Effects of Different Cropping Patterns on the Yield and Quality Formation of Corydalis Rhizoma

WANG Yimin[1], CHEN Xixi[1,2], YU Bing[1], JIN Yahui[3], ZHANG Chunchun[1], LI Shiqing[1], ZHANG Shuili[1*], SUI Ning[1*](*1.College of Pharmaceutical Science, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310053, China; 2.Wenzhou Hospital of Traditional Chinese Medicine, Wenzhou 325000, China; 3.Hangzhou Fuyang District Institute of Plant Quarantine, Hangzhou 311400, China*)

ABSTRACT: OBJECTIVE To investigate the relationship between nitrogen, phosphorus and potassium of Corydalis Rhizoma and its yield and quality under different cropping patterns, and to find the factors of yield difference of Corydalis Rhizoma under different cropping patterns. **METHODS** Three treatments were set up in the experiment: single cropping of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang , multiple cropping of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang and rice, multiple cropping of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang and corn. The agronomic characters, photosynthetic performance, biomass, yield and effective component of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang under different cropping patterns were measured, at the same time, the contents of nitrogen, phosphorus and potassium in different parts of the plant were determined. Then analyzing the effects of nitrogen, phosphorus and potassium contents on growth, yield and quality of Corydalis Rhizoma. **RESULTS** The agronomic characters, photosynthetic performance, biomass at harvest, yield and effective components of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang. were more advantageous under the condition of multiple cropping, especially in the combination of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang. and rice. The content of nitrogen in plants of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang was positively correlated with stem volume, yield, total biomass and net photosynthetic rate; the content of phosphorus was positively correlated with total biomass; and the content of potassium was positively correlated with tetrahydropalmatine and net photosynthetic rate. **CONCLUSION** Multiple cropping can affect the accumulation and distribution of nitrogen and potassium in plants, and significantly improve the agronomic characters, photosynthetic performance of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang and yield and quality of Corydalis Rhizoma.It is recommended that multiple cropping of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang and rice should be adopted in paddy field, multiple cropping of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang and corn should be adopted in dry land, and multiple cropping of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang and corn should be popularized in mountainous area of China.

KEYWORDS: *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang; cropping pattern; yield; quality

---

基金项目：国家自然科学基金项目(81603222)；中国博士后科学基金(2017M610378)；浙江省博士后科研项目(浙人社发[2016]73 号)；浙江中医药大学校级科研基金(2015ZR09)；浙江省中药资源普查项目(17-21201)；国家中医药管理局 2018 年全国中药资源普查项目；浙江中医药大学校级“课程思政”示范课程培育创建课程项目(药用植物学)；浙江中医药大学药学院院级“课程思政”教改项目(药用植物学、中药资源学)；淳安县临岐镇药用植物资源普查(LQYZ-2017001)

作者简介：汪一敏，女，硕士生 Tel: 18868195007 E-mail: 547034599@qq.com *__通信作者：__睢宁，男，博士，讲师 Tel: (0571)86633171 E-mail: suining_leo@163.com 张水利，男，博士，教授 Tel: (0571)61768166 E-mail: zhang_shuili@163.com

延胡索为罂粟科植物延胡索 *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang 的干燥块茎，是著名的“浙八味”“磐五味”之一，具有活血行气、止痛等功能，临床上常用于胸胁、脘腹疼痛，闭经痛经，产后瘀阻，跌扑肿痛等症[1]。延胡索含多种生物碱成分，其中叔胺类成分含量约 0.65%，季胺类成分约 0.3%。研究表明，叔胺碱延胡索乙素含量高低与镇痛作用强弱具有显著的相关性，因此延胡索的质量控制多以延胡索乙素的含量测定为依据[2]。由于其良好的镇痛作用，《中药成方制剂》中明确含延胡索的方剂达 182 首，涉及主治疾病 78 种[3]。延胡索不仅作为中药饮片，也常被制成中成药应用于临床，例如元胡止痛片、复方胃宁片、骨刺片等。目前，延胡索主要为栽培品，主产于浙江中部的东阳、缙云、磐安、永康等地[4]。

由于延胡索市场需求量大，种植周期短，有较好的经济效益，延胡索种植发展迅速。但也存在诸多问题，例如在同一块地连续多年种植延胡索将导致土壤微生态环境恶化、土壤养分失衡及植物自毒，从而使延胡索出现长势衰弱、生长不良、品质和产量严重下降等“连作障碍”现象[5]。为克服连作障碍，形成延胡索高产高效的种植模式，东阳千祥镇和庆元县黄沙洋种植园区曾开展延胡索复种技术实践探索，种植效益可观[6-7]。在对水稻-延胡索高效种植模式探索中也发现，复种模式能使 2 种作物均实现高产[8-9]。前人大量研究了延胡索种植模式对产量品质的影响[10-12]，但关于不同种植模式影响延胡索产量形成的生理机制尚不明确。因此，本研究以不同种植模式下的延胡索为研究对象，通过研究不同种植模式下延胡索农艺性状、光合性能、总生物量、块茎产量及有效成分延胡索乙素含量，同时测定植株中氮、磷、钾元素累积分配含量，分析植株氮、磷、钾元素含量对延胡索生长发育及产量品质的影响，为缓解延胡索连作障碍，提高延胡索产量及有效成分含量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计与大田管理

本试验于浙江中药材种苗繁育基地(浙江省磐安县大盘镇下寮村)进行，试验地种植延胡索前种植浙贝母 3 年。土壤 pH 4.7。选用当地延胡索种源为试验材料，设置 3 种不同种植模式：延胡索单作(延胡索田种植前空闲)、延胡索与水稻复种(水稻收获后种植延胡索)、延胡索与玉米复种(玉米收获后种植延胡索)，每小区 100 m^2，3 次重复。收获上一茬作物后，于 2015 年 11 月初种植延胡索，以块茎条播，下种量为 800 $kg·hm^{-2}$，行距 20 cm，株距 6 cm，播种后覆盖焦泥灰，施腐熟猪牛栏肥 22.5 $t·hm^{-2}$，过磷酸钙 600 $kg·hm^{-2}$，氯化钾 225 $kg·hm^{-2}$；立冬前后施 750 $kg·hm^{-2}$ 饼肥，“大雪”前后用尿素 112.5~150 $kg·hm^{-2}$ 渗水追肥，第 2 年 3 月下旬用腐熟人粪 750~1 125 $kg·hm^{-2}$ 掺水浇施。

1.2 取样及样品处理

延胡索于 2016 年 2 月 25 日出苗，分别于出苗后 17，29，47，54，63，76 d 采集延胡索植株样品(选择天气晴朗的日子)。每小区采用五点取样法随机取样，用自来水洗去根系上的泥，分离地上与地下部分，测量其农艺性状。将各部位置于烘箱中 105 ℃杀青 30 min 后，70 ℃烘干至恒重，打粉，过 100 目筛备用。

1.3 仪器与试剂

1.3.1 仪器 Li6400 便携式光合作用仪(北京力高泰科技有限公司)；Waters1525 高效液相色谱仪(美国 Waters 公司)；Waters2424 蒸发光散射检测器(美国 Waters 公司)；KD-210 型全自动凯氏定氮仪(瑞典 Opsis 公司)；MARS 240/50 微波消解仪(美国 CEM 公司)；Ultrospec 3300 pro 紫外分光光度计(UK Reg 2097049；US Pat D479，879S)；Solaar S2+GF 原子吸收分光光度计(英国热电公司)。

1.3.2 试剂 延胡索乙素对照品(上海源叶生物科技有限公司，批号：Y21S7Y17091)；甲醇(色谱纯，天津市科密欧化学试剂有限公司，批号：20160908)；磷酸(分析纯，天津市科密欧化学试剂有限公司，批号：20150905)；浓氨(分析纯，杭州龙山精细化工有限公司，批号：20150208)；硫酸(分析纯，西陇科学股份有限公司，批号：161009)；过氧化氢(分析纯，天津市鼎盛鑫化工有限公司，批号：20150310)；无水乙醇(分析纯，杭州龙山精细化工有限公司，批号：20150908)。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 农艺性状 测量从块茎到植株顶叶基部的高度，记录作为株高；采用叶面积仪测量延胡索叶面积；用排水量法测定延胡索块茎体积。各自重复测定 6 次，并将延胡索按商品等级分类[13]。

1.4.2 光合性能动态变化 选择晴朗天气用 Li6400 便携式光合作用仪测定田间活体延胡索的

光合指标，主要为净光合速率。每株选取 3 片相同位置的叶片进行测定，取平均值。

1.4.3 总生物量、产量及有效成分的测定 采集不同处理组延胡索植株样品各 9 株，整株烘干至恒重，称重，得到总生物量。于收获期称取延胡索块茎(入药部位)总重作为最终产量。为避免个体差异，将同一处理组 9 株延胡索粉末充分混匀后采用 HPLC 测定延胡索乙素的含量[1]，并重复 3 次。

1.4.4 氮、磷、钾含量的测定 采用全自动定氮仪测定植株各部位的氮元素含量[14]，采用钼锑抗比色法测定磷素含量[15]，并通过原子吸收分光光度法测定钾元素含量[16]。

1.5 数据处理

实验数据采用 SPSS 21.0 数据处理系统进行分析，计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示，采用 LSD 法进行差异性检验(P=0.05)。

2 结果

2.1 农艺性状

2.1.1 株高 随着生育期的推进，不同种植模式下延胡索株高均呈现逐渐增加的趋势，见图 1。其中水稻-延胡索复种处理组株高最高，延胡索单作处理组株高最低。出苗后 54 d，水稻-延胡索复种和玉米-延胡索复种的株高比延胡索单作分别高出 36.8%，21.0%。因延胡索出苗 54 d 后，气温升高，地上部分逐渐枯萎，故不再继续测量株高及叶面积。

2.1.2 叶面积 延胡索的单株叶面积总体呈先增长后下降的趋势(图 1)。出苗后 29 d，延胡索单作与复种的单株叶面积之间存在显著性差异(P<0.01)，其中水稻-延胡索复种的单株叶面积最大，延胡索单作单株叶面积最小。出苗后 17~29 d，延胡索叶面积增加幅度较大；出苗后 29~47 d，增长较为平缓；出苗后 47~54 d，由于叶片发黄枯萎，叶面积下降。出苗后 54 d，各处理组间存在显著性差异(P<0.01)；与延胡索单作单株叶面积相比，水稻-延胡索复种处理组单株叶面积高 16.9%；玉米-延胡索复种比延胡索单作的叶面积高 4.4%。结果见图 1。

2.1.3 块茎体积 随着生育期的推进，不同种植模式下延胡索的块茎体积整体呈“S”型增长趋势(图 1)。不同取样时间各处理组间存在极显著的差异(P<0.01)。延胡索单作的块茎体积变化范围为 0.65~2.77 cm^3，玉米-延胡索复种的块茎体积变化范围为 1.01~3.18 cm^3，水稻-延胡索复种的块茎体积变化范围为 1.38~3.44 cm^3。可见玉米-延胡索复种与水稻-延胡索复种均能增大延胡索的块茎体积，其中水稻-延胡索复种效果更佳。

2.2 净光合速率

不同种植模式下延胡索净光合速率均表现出先增加后下降趋势，见图 2。出苗后 29~54 d，水稻-延胡索复种的净光合速率高于玉米-延胡索复种的净光合速率，延胡索单作的净光合速率最低，3 个处理组间存在显著差异(P<0.05)。47~54 d 延胡索净光合速率明显下降，这是由于高温晴热，使叶片迅速衰老黄化。

2.3 总生物量

随着延胡索的生长，不同种植模式下延胡索的总生物量呈显著性差异。出苗后 17~29 d，总生物量呈缓慢增长的趋势；出苗后 29~54 d，总生物量增长迅速；出苗后 54 d 起，由于地上部分枯萎，总生物量开始下降；出苗后 63 d 至收获，总生物量进入生长平台期，或有部分消耗，其中水稻-延胡索复种的总生物量最大，延胡索单作的总生物量最小，两者相差 16.6%。收获时，各处理组存在显著性差异(P<0.05)。结果见图 3。

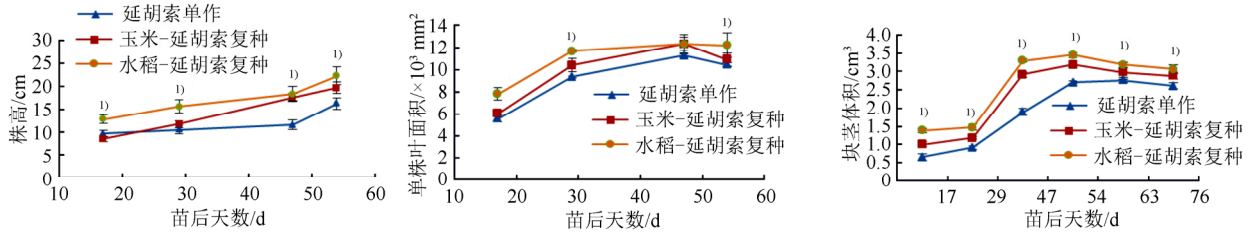

图 1 不同种植模式下延胡索农艺性状的动态变化

各处理组间比较，[1)]P<0.01。

Fig. 1 Dynamic changes of agronomic characters of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang under different cropping patterns cropping patterns

Comparisons among treatment groups, [1)]P<0.01.

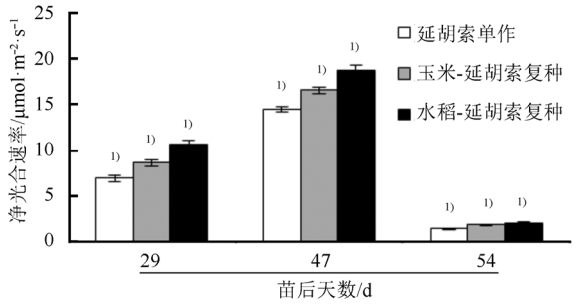

图 2 不同种植模式下延胡索叶片净光合速率的动态变化

各处理组间比较，[1)]$P<0.05$。

Fig. 2 Dynamic changes of net photosynthetic rate in leaves of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang under different cropping patterns

Comparisons among treatment groups, [1)]$P<0.05$.

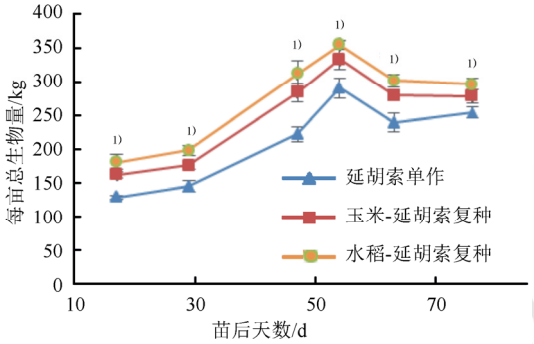

图 3 不同种植模式下延胡索总生物量的动态变化

各处理组间比较，[1)]$P<0.01$。

Fig. 3 Dynamic changes of total biomass of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang under different cropping patterns

Comparisons among treatment groups, [1)]$P<0.01$.

2.4 产量与商品等级

收获期，玉米-延胡索复种块茎个数最多，见图 4。玉米-延胡索复种和水稻-延胡索复种处理组的产量均高于延胡索单作处理组，存在显著的差异。其中，水稻-延胡索处理组的产量最高(286.98 g·m^{-2})；而延胡索单作处理组的产量最低(170.22 g·m^{-2})，比水稻-延胡索复种处理组低 68.59%；玉米-延胡索复种处理组的产量(225.88 g·m^{-2})比延胡索单作处理组高 32.70%。由此可知，复种能有效提高延胡索的产量，其中水稻-延胡索复种提高产量的效果更佳。将延胡索药材按照块茎体积大小划分成不同的等级，由图 4 可得，水稻-延胡索复种条件下，特等品、一等品、二等品延胡索数量明显多于玉米-延胡索复种和延胡索单作，因此其具有更高的经济效益。

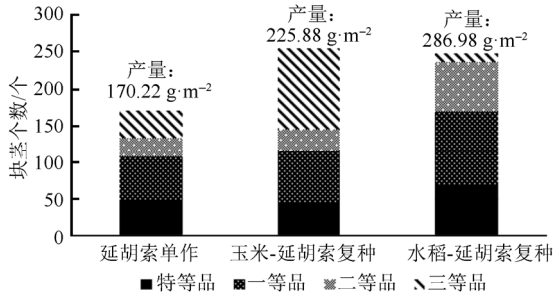

图 4 不同种植模式下收获期延胡索药材块茎个数及产量

Fig. 4 Quantity and yield of Corydalis Rhizoma under different planting patterns

2.5 延胡索乙素的含量

玉米-延胡索复种与水稻-延胡索复种的延胡索乙素含量呈先降低后增加的趋势，延胡索单作的变化趋势略有不同，呈“M”型趋势变化。出苗后 76 d 各处理组延胡索的延胡索乙素含量存在极显著差异($P<0.01$)。玉米-延胡索复种的延胡索乙素含量最高，达 0.17%，而延胡索单作处理组的延胡索乙素含量最低，为 0.08%，比玉米-延胡索复种处理组低了 52.9%。水稻-延胡索处理组的延胡索乙素含量为 0.10%。结果见图 5。

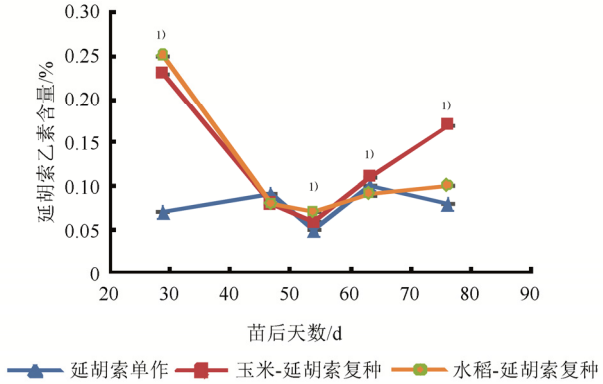

图 5 不同种植模式下延胡索药材中延胡索乙素含量的动态变化

各处理组间比较，[1)]$P<0.01$。

Fig. 5 Dynamic changes of tetrahydropalmatine content of Corydalis Rhizoma under different cropping patterns

Comparisons among treatment groups, [1)]$P<0.01$.

2.6 氮、磷、钾元素含量

2.6.1 氮元素　随着延胡索的生长，不同种植模式下延胡索氮元素含量存在显著性差异。延胡索单作的氮元素含量在 11 687.82~15 375.43 mg·kg^{-1} 之间，收获时氮元素含量最低，玉米-延胡索复种

的氮元素含量在 17 580.01~ 20 332.98 mg·kg^{-1}，且收获时的氮元素含量最高。水稻-延胡索复种的氮元素含量在 16 283.99~ 19 464.81 mg·kg^{-1}，出苗后 76 d 各种植模式下的延胡索氮元素含量存在极显著差异(P<0.01)。

出苗后 29 d，延胡索单作地下茎氮元素分配比为 28.29%，远远低于复种处理组，水稻-延胡索复种地下茎氮元素分配比高达 45.50%。出苗后 47 d，玉米-延胡索复种组延胡索地下茎氮元素分配比最低，为 38.89%，其次为延胡索单作组，为 41.97%，水稻-延胡索复种的地下茎氮元素分配比最高，达 47.21%。出苗后 29 d 氮元素在不同种植模式的地下茎分配与净光合速率、总生物量及产量呈现一致的趋势。结果见图 6。

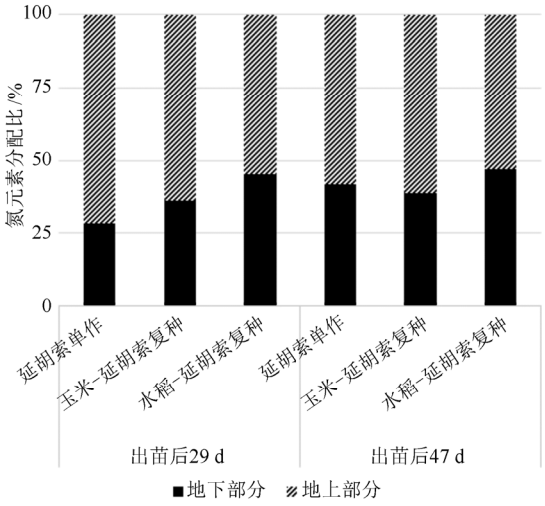

图 6 不同种植模式下延胡索不同部位氮元素分配比

Fig. 6 Nitrogen distribution ratio of different parts of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang under different cropping patterns

2.6.2 磷元素 延胡索单作磷元素含量在 1 128.30~ 2 051.28 mg·kg^{-1}，玉米-延胡索复种的磷元素含量在 1 506.58~3 648.56 mg·kg^{-1}，水稻-延胡索复种的磷元素含量在 1 286.64~1 945.51 mg·kg^{-1}。出苗后 76 d，延胡索植株磷元素含量：玉米-延胡索复种>水稻-延胡索复种>延胡索单作，且各种植模式存在极显著的差异(P<0.01)。

出苗后 29 d，玉米-延胡索复种地下茎磷元素分配比最低，为 62.42%；延胡索单作地下茎磷元素分配比最高，高达 43.63%。出苗后 47 d，水稻-延胡索复种地下茎磷元素分配比最低 39.54%，而玉米-延胡索复种地下茎磷元素分配比最高，为 40.90%。结果见图 7。

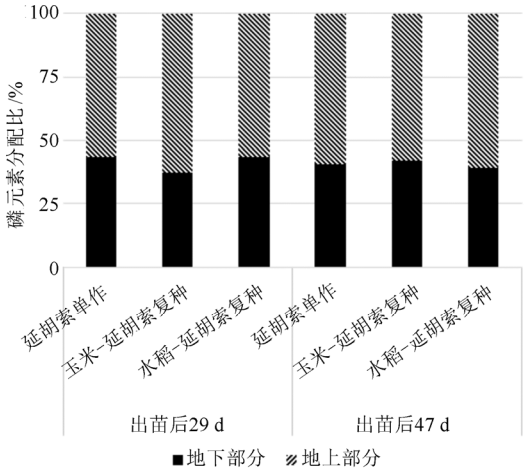

图 7 不同种植模式下延胡索不同部位磷元素分配比

Fig. 7 Phosphorus distribution ratio of different parts of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang under different cropping patterns

2.6.3 钾元素 随着生育期推进，各处理组延胡索钾元素含量呈折线式下降，但不存在显著性差异。延胡索单作的钾元素含量为 8 981.01~ 18 515.20 mg·kg^{-1}，玉米-延胡索复种的钾元素含量为 3 953.34~32 734.71 mg·kg^{-1}，水稻-延胡索复种钾元素含量在 9 320.88~24 890.52 mg·kg^{-1}。

出苗后 29 d，延胡索单作地下部分钾元素分配比最低，仅为 19.06%；水稻-延胡索复种地下部分钾元素分配比最高，与延胡索单作相差 7.69%。出苗后 47 d，玉米-延胡索复种地下茎钾元素分配比最低，为 14.76%；水稻-延胡索复种地下部分钾元素分配比最高，为 85.24 %，结果见图 8。出苗后 29 d 钾元素在不同种植模式的延胡索地下茎分配与净光合速率、延胡索乙素呈现一致的趋势。

2.7 延胡索植株氮、磷、钾元素与光合性能、产量及品质的相关性分析

对不同种植模式下延胡索生育期植株氮、磷、钾元素含量与农艺性状、光合性能、生物量、产量及有效成分进行相关性分析，结果见图 9。

延胡索植株的氮元素含量与块茎体积、产量、总生物量及净光合速率均呈显著正相关性，植株磷素与总生物量成显著正相关。植株钾元素与延胡索乙素含量及净光合速率成显著正相关。

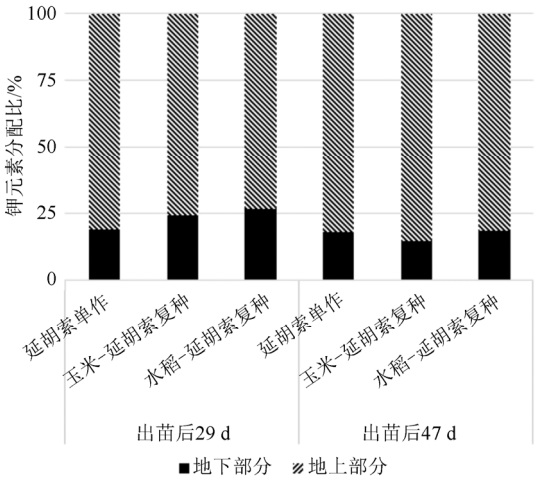

图 8 不同种植模式下延胡索不同部位钾元素分配比

Fig. 8 Potassium distribution ratio of different parts of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang under different cropping patterns

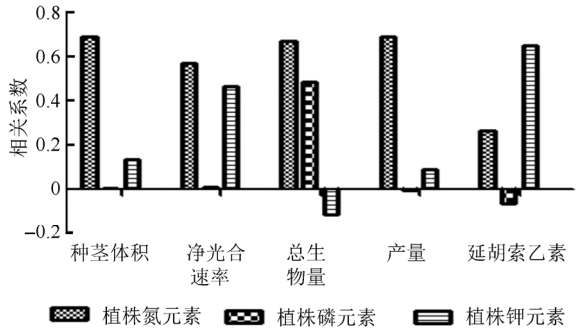

图 9 不同种植模式下延胡索植株氮、磷、钾元素与光合性能、产量及品质的相关性

Fig. 9 Correlation of nitrogen, phosphorus and potassium with photosynthetic performance, yield and quality of *Corydalis yanhusuo* W. T. Wang under different planting patterns

3 讨论

3.1 不同种植模式下延胡索的生长情况

净光合速率的高低反映了植物叶片合成有机物质能力的强弱，反映植株营养水平的高低。随着延胡索的生长，其株高增高，叶面积增大，光合作用增强，延胡索叶片的净光合速率增加，因此其有机物积累增加，块茎体积增加。但当延胡索进入收获期，叶片逐渐枯萎，净光合速率明显下降，因此其株高和块茎体积也慢慢进入平稳期。不同种植模式下延胡索叶片的净光合速率存在显著性差异。光合作用越强，有机物累积越多，因此复种组延胡索的株高、叶面积、块茎体积均高于单作组，其中水稻-延胡索复种组农艺性状更佳。

不同种植模式下，收获期各处理组延胡索乙素均高于中国药典 2015 年版的标准(0.05%)。玉米-延胡索复种的延胡索乙素含量最高，延胡索单作的延胡索乙素含量最低，可见复种种植的延胡索品质更具优势。其中图 5 中延胡索乙素含量先减后增，可能是由于生长初期地下部分还残留一些母元胡[17]，母元胡进入替代生长过程时会在块茎中心产生新块茎，随后母块茎萎缩给新块茎提供养分，萎缩过程导致延胡索中乙素含量下降。

3.2 不同种植模式下氮、磷、钾对延胡索的影响

研究表明，氮可以增加玉米、水稻等农作物的光合性能，提高其产量[18-19]。本研究发现不同种植模式下，复种延胡索的净光合速率显著大于单作，通过相关性分析得到延胡索植株中氮和钾元素的含量与净光合速率成显著正相关，这与出苗后 29 d 氮和钾元素在延胡索地下茎分配呈现一致的趋势，表现为水稻-延胡索复种最大，延胡索单作最小。因此本研究认为复种能在延胡索生长前期通过提高光合性能，促进氮和钾元素从根茎中吸收，从而进一步促进延胡索总生物量的累积，提高延胡索的产量。此外，钾元素还与延胡索乙素呈显著正相关，因此本研究认为通过复种促进延胡索对钾的吸收，还能提高延胡索的品质。

磷元素虽然与延胡索总生物量有显著正相关，但对不同种植模式下延胡索的光合性能及元素分配无明显影响。

造成不同种植模式下延胡索生长差异的原因，除了对其光合性能的影响，还可能是由于不同种植模式下复种植物对肥料利用情况的差异。

有研究表明，在水稻施肥现状下，适当降低氮肥的施用量，对水稻产量没有显著性差异，且减肥生产技术能增加水稻氮肥的偏生产力[20-21]，因此，水稻田中的氮肥残留量相对其他田较多，有利于延胡索对氮元素的吸收，因此相对于其他田来说其延胡索生长状况最佳。

有学者在探究玉米最佳氮、磷、钾施肥量时发现，以氮肥对玉米产量影响最大，其次为钾肥[22]。因此，为提高产量，玉米普遍存在过量施氮、钾肥的现象[23]，致使土壤中氮、钾残留量相应增加，而这有助于延胡索乙素的累积，因此，玉米-延胡

索复种组延胡索乙素最高。

由于每种作物在生长过程中对营养元素的利用率不同的，复种种植下土壤中残留的肥料能为延胡索提供比单作更多氮元素与钾元素，进而促进延胡索产量及品质的形成。

3.3 其他因素对延胡索的影响

研究表明，延胡索在整个生长期有 2 个大量需水期，一个出现在苗期，一个出现在花期[24]。同样是复种，玉米种植以旱地为主，而水稻种植于水田为主。由于种植水稻时土壤长期处于淹水状态，延胡索植株水分含量充足，有利于其农艺性状及净光合速率达到最佳状态，故水稻-延胡索复种的总生物量及产量最高。

此外，作物复种利用生物群落结构和物种关系的多样化，克服了连作障碍中化感自毒，通过优化食物链结构以及改善土壤有害微生物累积所致的微生态失衡，使农田生态系统更加稳定和协调，具有持续的生产力，提高了目标作物的产量和品质[25]。这也为研究延胡索种植模式对延胡索产量及品质提供了新的思路。

3.4 复种模式的推广与应用

浙江西南部多山，地势高，中部为丘陵地带，东北部为冲积平原，总体呈“七山一水二分田”格局，现有耕地 2 392 万亩，其中水田 1 950 万亩，旱地 442 万亩，人均占有耕地仅 0.5 亩，不到全国人均耕地的一半[26]。因此，我们要综合考虑，合理利用可用耕地，建议在水田多采用水稻-延胡索复种模式，在旱地采用玉米-延胡索复种模式，以提高土地利用率。除去相对集中的丘陵、平原地带，浙江大部分地级山区市地貌结构为“九山半水半分田”，例如丽水、衢州、金华、台州等地区，其山地资源比较丰富，且大部分处于尚未开发状态，这些大范围的土地闲置，不仅是对宝贵的土地资源的浪费，而且会导致耕地质量和功能衰退，农业投入浪费，阻碍社会经济的发展。根据山地多为旱地的特性，建议在这些山区大力推广玉米-延胡索复种的种植模式。山区种植土地成本较低，更有助于提高农民经济收入。

延胡索分布范围广，对其沿革与变迁的研究中发现，延胡索来源于东北地区、一路南迁，最终将江浙一带认定为道地产区，目前于江西、安徽、江苏、湖北、湖南、河南等全国大部分地区均有延胡索分布[4]。其中江西省抚州市河埠乡早已在闲置的山区丘陵地带建立了延胡索规范化种植基地[27]，这也为全国范围内合理利用山地资源提供了实例，但若能改成玉米-延胡索复种的种植模式必能取得更大的经济效益，因此本试验具有较强的现实意义。

综上所述，复种主要通过影响氮、钾在植株中的分配，从而能显著提高延胡索农艺学性状、光合性能及其产量品质。根据土地性质，在水田采用水稻-延胡索复种，在旱地采用玉米-延胡索复种。综合利用全国山区资源，根据山地多为旱地的特性，建议在这些山区推广玉米-延胡索复种的种植模式。

REFERENCES

[1] 中国药典. 一部[S]. 2015: 附录 139.

[2] WANG J M, XIA W J. Study on the relativity of the tetrahydropalmatine’s content in the Yuanhuzhitong tablets with its pharmacological effects [J]. Chin J Med Guide(中国医药导刊), 2011, 13(1): 176-177.

[3] 马艳, 申丹, 雷云, 等. 《中药成方制剂》中含延胡索方剂组规律研究[J]. 中国中医基础医学杂志, 2014, 20(12): 1693-1696.

[4] CHU S S, PENG H S. Evolution and changes of authentic medicinal of Rhizoma Corydalis [J]. Chin J Med History(中华医史杂志), 2015, 45(6): 259-262.

[5] YANG J Y, CHEN J Y, XIONG Y, et al. Indentification of Corydalis Rhizoma and its adulterants [J]. Pharm Today(今日药学), 2017, 27(2): 76-79.

[6] 曹开金, 赵军华, 吕学高, 等. “元胡/西瓜-晚稻”种植方式效益及技术[J]. 南方农业, 2012, 7(6): 47-48.

[7] 姚清海, 聂路, 李文学, 等. 水稻与浙贝、元胡轮作技术[J]. 上海农业科技, 2013, 43(3): 140.

[8] 裴刚. 水稻-元胡高效种植方式[J]. 中国农技推广, 2015, 31(7): 1-9.

[9] 郭美琴, 周奶弟, 吴增琪, 等. 仙居县“元胡-单季稻”轮作模式及栽培技术[J]. 农业开发与装备, 2016, 22(10): 180, 195.

[10] 樊桂亮. 浙中地区浙贝母或延胡索甜玉米水稻药粮三熟种植模式初探[J]. 农业与技术, 2015, 35(3): 89-90.

[11] 杨志铜, 曹文元, 刘晓平, 等. 不同施肥水平对延胡索(元胡)产量和品质影响的研究[J]. 基层农技推广, 2015, 12(3): 24-27

[12] 高普殊, 晋小军, 张喜民, 等. 不同覆盖方式对延胡索产量质量的影响[J]. 时珍国医国药, 2016, 27(10): 2503-2505.

[13] 吕秋菊, 秦海燕, 宋捷民, 等. 延胡索药材商品规格等级划分的合理性研究[J]. 甘肃中医药大学学报, 2017, 34(2): 70-76.

[14] ZHEN X G, XIN R Z. Determination of nitrogen content of fertilizer by automatic kjeldahl apparatus [J]. Chem Anal Meterage(化学分析计量), 2014, 23(5): 41-43.

[15] MIAO X X, GONG H R, TAO S H, et al. Microwave digestion combined with molybdenum antimony resistance spectrophotometric method for the determination of total phosphorus in vegetables [J]. China Measurement Test Technol(中国测试), 2017, 43(12): 45-49.
[16] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
[17] 徐春梅. 延胡索优质高产栽培技术体系的研究[D]. 浙江大学, 2005.
[18] WANG J B, LI L L, XIE J H, et al. Effects of tillage practices and nitrogen rates on photosynthetic characteristics and water use efficiency of grain and forage maize in dry farming areas of central Gansu in China [J]. Acta Agric Boreali-occidentalis Sinica(西北农业学报), 2018, 27(6): 796-801.
[19] HE H B, YANG L, WU H,et al. Effects of N forms on photosynthesis at flowering and yield formation in wetting-drying alternation irrigation [J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica(西北植物学报), 2017, 37(11): 2230-2237.
[20] SHI Z J, LI J H WANG H F, et al. Fertilizer application status and feasibility analysis of reduced nitrogen application for rice grown in Quzhou [J]. J Zhejiang Agric Sci(浙江农业科学), 2017, 58(3): 380-383.
[21] LIU H J,GUO Z, ZHENG J C, et al. Effect of different cultivation techniques on rice yield and NPK runoff losses [J]. J Agro-Environment Sci(农业环境科学学报), 2015, 35(9): 1790-1796.
[22] HUANG X H, XIE Y Q, PENG Z H, et al. Study on formula fertilization and optimum fertilizer application in Maize [J]. Hunan Agr Sci(湖南农业科学), 2018, 48(5): 36-39.
[23] LI Q, YUAN W S, ZHANG W Y, et al. Research status and development trend of corn fertilizing technology and fertilizing machine [J]. J Agricult Mechanization Res(农机化研究), 2017, 39(1): 264-268.
[24] LIANG Y K, WANG M N, LIANG G. Effect of different soil moisture on yield of Rhizoma Corydalis [J]. J Henan Agricult Sci(河南农业科学), 2009, 38(3): 97-98.
[25] 陈冬梅. 作物多样性栽培对烟草连作障碍的生态调控机制[D]. 福建农林大学, 2010.
[26] 佚名. 浙江: 打造跨区作业精品推进水稻全程机械化--浙江省农业机械管理局局长杨大海[J]. 农业机械, 2006, 6: 11-12.
[27] 李艾莲, 兰金旭. 江西山地延胡索 GAP 基地环境评价的研究[C]. 全国天然药物资源学术研讨会. 2008.

收稿日期：2018-10-30
(本文责编：蔡珊珊)

http://www.chinjmap.com