

林忠宁, 陆燕, 林怡, 等. 茶园套种对灵芝生长和品质的影响 [J]. 福建农业学报, 2020, 35 (5): 532-537.

LIN Z N, LU Z, LIN Y, et al. Growth and Quality of *Ganoderma lucidum* at Tea Plantations under Relay Cropping [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2020, 35 (5): 532-537.

茶园套种对灵芝生长和品质的影响

林忠宁^{1,2}, 陆燕¹, 林怡¹, 李艳春¹, 刘明香^{1*}

(1. 福建省农业科学院农业生态研究所, 福建 福州 350013;
2. 福建红壤山地农业生态过程重点实验室, 福建 福州 350013)

摘要:【目的】探讨茶园套种对灵芝生长和品质的影响, 为茶园套种灵芝的生产模式应用提供科学依据。【方法】采用竖栽覆土和横栽覆土 2 种茶园套种灵芝仿野生栽培方式, 分析比较 2 种茶园套种方式与常规室外荫棚覆土栽培方式之间灵芝的生长性能、商品性状及其品质的差异。【结果】茶园套种模式下, 灵芝可以正常出芝并生长发育成熟, 其商品性状正常, 但生长性能和商品性状均不如室外荫棚覆土栽培。与室外荫棚覆土栽培相比, 竖栽覆土和横栽覆土 2 种茶园套种下的灵芝菌棒下地后生长时间分别慢 25、18 d, 出芝率分别显著降低 12.8% 和 14.5% ($P < 0.05$), 生物转化率分别降低 10.48% 和 4.49% ($P > 0.05$)。茶园套种时灵芝的多糖、总三萜和氨基酸等含量与室外荫棚覆土栽培均无显著性差异; 竖栽覆土和横栽覆土的灵芝多糖含量为 1.09% 和 1.08%, 比荫棚覆土栽培的灵芝高 9.90% 和 9.29%, 总三萜含量为 1.19% 和 1.21%, 比荫棚覆土栽培的灵芝高 11.48% 和 13.55%。【结论】茶园生态环境条件下灵芝可以正常生长, 茶园套种可提高灵芝的品质, 但对生长性能和商品性状有一定的不利影响。

关键词: 茶园; 灵芝; 套种; 生长; 品质

中图分类号: S 567.3

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2020) 05-0532-06

Growth and Quality of *Ganoderma lucidum* at Tea Plantations under Relay Cropping

LIN Zhongning^{1,2}, LU Zheng¹, LIN Yi¹, LI Yanchun¹, LIU Mingxiang^{1*}

(1. Agricultural Ecology Institute, Fujian Academy of Agricultural Sciences, Fuzhou, Fujian 350013, China;
2. Fujian Key Laboratory of Agroecological Processes in Red Soil Hilly Region, Fuzhou, Fujian 350013, China)

Abstract: 【Objective】Growth and quality of *Ganoderma lucidum* cultivated at fields under varied relay cropping methods were evaluated for the planting practice at tea plantations. 【Method】Under the vertical and horizontal cultivation modes of relay cropping, *G. lucidum* were grown to compare with the conventional greenhouse cultivation. The growth, commercial properties, and quality of the fungi were compared. 【Result】Under the relay cropping, *G. lucidum* grew to maturity, released spores, and gave commercial appearance similarly to the greenhouse cultivation. However, compared to the conventional planting, the vertical relay cropping method required 25 d longer to reach maturation with a significantly reduced germination rate by 12.8% and the biotransformation rate by 10.48%; while the horizontal method caused a 18 d delay in maturation with significantly declined rates of germination by 14.5% and biotransformation by 4.49%. On the other hand, the contents of polysaccharides, total triterpenes, and amino acids in *G. lucidum* were with no significant difference with the greenhouse cultivation. The polysaccharide content of the vertical relay cropped *G. lucidum* was 1.09%, which was a 9.90% higher than that of control; and, that of the horizontal relay cropped *G. lucidum* was 1.08%, which was a 9.29% higher. The vertical relay cropping produced 1.19% triterpenes in the fruiting body, which was an increase of 11.48% over control; while the horizontal cultivation delivered 1.21% with an increase of 13.55% over control. 【Conclusion】Although relay cropping *G. lucidum* with tea bushes in a plantation hindered the growth of the fungi with somewhat reduced commercial appeal, it improved the quality

收稿日期: 2019-12-16 初稿; 2020-03-02 修改稿

作者简介: 林忠宁 (1972-), 男, 副研究员, 研究方向: 农业资源和药用植物开发利用研究 (E-mail: lzhongning@126.com)

* 通信作者: 刘明香 (1963-), 男, 副研究员, 研究方向: 农业生态和农业循环技术 (E-mail: lmx636589002@163.com)

基金项目: 福建省科技计划公益类专项 (2017R1016-1)

of the fungal product.

Key words: tea plantation; *Ganoderma lucidum*; relay cropping; growth; quality

0 引言

【研究意义】灵芝为多孔菌科真菌赤芝 *Ganoderma lucidum* (Leyss. ex Fr.) Karst. 或 紫芝 (*Ganoderma sinense* Zhao, Xu et Zhang) 的干燥子实体，是中国、日本和韩国等国家传统的药用真菌^[1]，具有补气安神、止咳平喘等功效^[2]。灵芝含有多糖、三萜、氨基酸、脂肪酸、生物碱和酚类等活性成分，具有免疫调节、抗肿瘤、抗衰老、抗炎、抗菌和保肝等药理作用^[3]，常用于预防和治疗肿瘤、失眠、高血压、糖尿病及免疫性疾病^[4]。目前市场上的灵芝主要通过室外荫棚覆土的人工栽培方式获得。林下仿野生栽培食用菌是一种新兴的林下经济模式，不仅可充分利用林下资源，提高林地利用率，又能提供食用菌生长的适宜温度和湿度，使食用菌充分吸收自然环境中的天然养分，有利于品质的提升^[5]。茶树是福建省分布最广的经济作物，茶园面积和茶叶产量均位居全国前列。由于长期以来山地茶园的粗放管理，一些茶叶主产县的茶园水土流失比例高达80%以上^[6]，为了提高茶园土地的利用效率和经济生态效益，茶园套种不同的经济作物已成为常规生产模式^[7]。茶园套种灵芝不仅能充分利用茶园内的空间环境和光热水资源，而且对丰富茶园生物多样性、改善与优化生态系统具有重要作用^[8]。在茶园内进行复合种植的灵芝属于仿生态野生栽培^[9]，生长条件接近于自然，促进其品质提升，有较好的市场前景。【前人研究进展】目前有较多的研究集中在茶园间套作食用菌对茶叶产量、茶园土壤理化性质和微生物群落结构和多样性的影响方面。李振武等^[10]发现幼龄茶园冬季套种大球盖菇能增加土壤养分，减少土壤容重，有明显的保湿保墒作用，促进茶树春芽萌发，提高春茶产量；蒋玉兰等^[11]发现茶树和长根菇间作模式对于土壤养分有短期增效作用，可明显提高茶鲜叶中茶多糖和土壤中速效氮、磷、钾含量；同时杨洪姣等^[12]发现茶菌间作时间越长，茶园产量越高，通过提高土壤水分、降低土壤容重、提高土壤pH值和改变土壤易酸化的特性等方面改善茶园土壤环境。此外，杨云丽等^[13]研究发现，茶树和食用菌间作模式下，土壤微生物中细菌和放线菌数量的变化均为单作茶园最高，间作2年茶园次之，间作1年的最低。然而，对茶园间作模式下食用菌生长状况以及产量和品质方面的研究较少。杨国育等^[14]研究发现，在云南大叶种茶园内进行食用菌覆土栽培能够

满足食用菌生长要求，覆土栽培香菇和木耳的生育期比室内传统栽培的生育期有所延长，茶树和食用菌复合栽培模式能够增加茶园产出与收益。【本研究切入点】本课题组前期研究发现^[8]，套种灵芝后茶园土壤的有机质、全氮、速效氮和有效磷含量显著提高，速效钾含量和pH值显著降低，而全磷和全钾含量变化不显著，同时改变了土壤细菌群落结构并提高了土壤中有益微生物菌群的相对丰度。但茶园套种对灵芝的产量和品质影响还有待进一步探讨。

【拟解决的关键问题】本研究通过比较分析茶园套种与常规室外荫棚覆土栽培模式下灵芝的生长性能、商品性状及品质差异，明确茶园生态环境条件下灵芝能否正常生长以及品质特点，以期茶园套种灵芝的生产模式推广应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试菌株与培养基

供试菌株赤芝 (*Ganoderma lucidum*，编号：韩芝8号)，由福建省农业科学院食用菌研究所提供，灵芝培养基配方：杂木屑45%，五节芒粉40%，麸皮10%，红糖2%，石膏粉2%，过磷酸钙1%。

1.2 季节安排与试验地点

试验安排在春夏两季间进行，其中茶园套种选择春茶采摘与秋茶采摘季节之间的茬口时间（2017年5–7月）；试验地点为福建省白水岩茶业有限公司的生产基地（装袋、灭菌、接菌、室内培养及室外荫棚覆土栽培）和山地茶园（露天覆土栽培），生产基地与山地茶园位置相邻（119°4'E，26°55'N，海拔982 m），土壤条件一致，均为红壤土，土壤基本理化性质为：pH 4.93、有机质含量 27.97 g·kg⁻¹、全氮 1.13 g·kg⁻¹、碱解氮 132.31 mg·kg⁻¹、有效磷 10.17 mg·kg⁻¹、速效钾 145.20 mg·kg⁻¹；茶树品种为福云6号，茶龄10年，茶行间距1.2 m。

1.3 试验方法

1.3.1 灵芝的装袋、灭菌、接菌及室内培养 选用 17 cm×35 cm×0.05 cm 规格的高压聚丙烯塑料菌袋，每袋干料约 375 g，按常规方法^[15]进行试验灵芝的拌料、装袋、灭菌、接种和室内培养。

1.3.2 出芝管理 当菌丝长满菌袋时（以下简称菌棒），将菌棒全脱袋进行茶园或室外荫棚栽培。茶园套种：在茶树的同一侧滴水沿内，距离茶树树干 25~30 cm 开条沟将菌棒埋入土中，每行茶树套种

1 行灵芝，采用开沟深 20 cm 左右、宽 20 cm 左右的竖栽和开沟深 10 cm 左右、宽 20 cm 左右的横栽 2 种套种处理，菌棒间距 5 cm，覆土 3~5 cm，每个处理 3 个重复，每个重复 200 袋。以室外荫棚脱袋覆土栽培为对照，3 个重复，每个重复 200 袋。按常规灵芝覆土脱袋栽培方法及茶园正常管理方法进行灵芝出芝管理，适当疏蕾，每个菌棒保留 1~2 个蕾，观察灵芝子实体和孢子的生长情况，若有杂菌或病虫害出现，及时进行处理或防治。当灵芝菌盖不再增大，边缘白色圈消失，同时伴有大量的灵芝孢子飞散时，是灵芝子实体成熟的标志，此时应采收，采收时用剪刀齐土表剪下子实体（含菌柄）。

1.3.3 灵芝生物转化率、商品性状和品质的分析 每个重复随机选取 10 个菌棒的灵芝子实体，于 60℃ 烘干至恒重，用于生物转化率、商品性状和品质的测定分析。灵芝商品性状的分析，其中菌盖长度和宽度分别从菌盖的最长和最短处测量，菌盖厚度从距离菌柄 1 cm 处测量；灵芝子实体多糖测定，根据中国药典 2015 年版一部规定的硫酸蒽酮-分光光度法方法^[2]进行；灵芝子实体总三萜酸测定，根据中国药典 2015 年版一部规定分光光度法（以齐墩果酸为对照）^[2]进行测定；17 种氨基酸测定采用 GB/T5009.124-2003 食品中氨基酸测定方法^[16]进行，分析仪器

为日立 L-800 氨基酸自动分析仪；色氨酸测定采用 GB/T15400-1994 饲料中色氨酸测定方法^[17]进行，分析仪器为紫外分光光度计。

1.4 数据处理

所有数据均采用 SPSS15.0 软件系统进行整理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 茶园套种对灵芝生长的影响

茶园套种时，灵芝可以正常出芝、生长，成熟时可正常产生并释放孢子（表 1）。与室外荫棚栽培（对照）相比，茶园套种（竖栽覆土和横栽覆土）时的灵芝出芝时间和成熟时间都比较慢，其中出芝时间分别慢 5、3 d，成熟时间分别慢 20、15 d（ $P<0.05$ ），整个灵芝菌棒下地后生长时间分别慢 25、18 d（ $P<0.05$ ）。茶园套种（竖栽覆土和横栽覆土）的灵芝出芝率分别为 85.2% 和 83.5%，比对照显著降低 12.8% 和 14.5%（ $P<0.05$ ）；灵芝生物转化率分别为 5.98% 和 6.38%，比对照降低 10.48% 和 4.49%（ $P>0.05$ ）。而茶园套种模式下的竖栽覆土和横栽覆土 2 种处理之间在灵芝出芝时间、成熟时间、出芝率和生物转化率等方面的差异不显著。

表 1 灵芝生长性能比较
Table 1 Growth performance of *G. lucidum*

处理 Treatments	出芝时间 Germination time/d	成熟时间 Mature time/d	生长时间 Growth time/d	出芝率 Germination rate/%	生物转化率 Biotransformation rate/%
竖栽覆土 Vertical intercropping	20±2.0 b	70±2.6 b	90±4.6 b	85.2±1.2 b	5.98±1.53 a
横栽覆土 Horizontal intercropping	18±1.7 ab	65±2.0 b	83±3.6 b	83.5±1.0 b	6.28±1.18 a
荫棚覆土 Shade-frame cultivating	15±1.0 a	50±2.0 a	65±3.0 a	98.0±1.0 a	6.68±1.29 a

注：表中同列数据后不同小写字母表示各处理间差异显著（ $P<0.05$ ），表 2 同。

Note: Data with different lowercase letters indicate significant differences among treatments ($P<0.05$). The same for Table 2.

2.2 茶园套种对灵芝子实体商品性状的影响

茶园套种与荫棚覆土栽培的灵芝子实体均为肾圆形，从外观来评价商品特征均正常（表 2）。茶园套种的灵芝菌盖长度、宽度、厚度和菌柄长度等均不如荫棚覆土栽培的灵芝，其中菌盖长度、宽度和菌柄长度均有显著性差异，这些正是茶园套种灵芝生物转化率低的主要因素，也是茶园生态环境对露天仿野生栽培灵芝的影响结果。茶园套种的竖栽覆土和横栽覆土 2 种处理之间的灵芝菌盖厚度、长度、宽度和菌柄长度均无显著性差异。

2.3 茶园套种对灵芝子实体品质的影响

茶园套种的灵芝子实体多糖含量为 1.09% 和

1.08%，高于国家药典标准^[2]（ $\geq 0.90\%$ ），分别比荫棚覆土栽培的灵芝高 9.90% 和 9.29%，但处理间差异不显著（表 2）；茶园套种的灵芝子实体的灵芝三萜含量为 1.18% 和 1.21%，分别比国家药典标准^[2]（ $\geq 0.50\%$ ）高 1.37 倍和 2.41 倍；分别比荫棚覆土栽培灵芝高 11.48% 和 13.55%，但处理间差异不显著。两种茶园套种方式之间，竖栽覆土处理的灵芝子实体多糖含量略高于横栽覆土处理，而总三萜含量略低于横栽覆土处理。

茶园套种与荫棚覆土栽培的灵芝子实体均检测出 18 种氨基酸成分（表 3），其中必需氨基酸含量均占氨基酸总含量的 42% 以上，EAA/NEAN 值均在

表 2 灵芝子实体的商品性状及质量比较

Table 2 Commercial properties and quality of fruitbodies from *G. lucidum* cultivated under different planting methods

处理 Treatments	菌盖长度 Pileus length/cm	菌盖宽度 Pileus width/cm	菌盖厚度 Pileus thickness/cm	菌柄长度 Stipe length/cm	多糖含量 Polysaccharide contents/%	总三萜含量 Total triterpenes contents/%	子实体形状 Fruit body shape	商品性状评价 Commodity traits evaluation
竖栽覆土 Vertical intercropping	9.56±2.83 b	7.20±1.33 b	1.39±0.21 a	4.78±1.56 b	1.09±0.10 a	1.18±0.10 a	肾圆形，较厚，菌柄较短	正常
横栽覆土 Horizontal intercropping	10.83±2.36 b	8.02±1.32 b	1.42±0.28 a	5.13±2.13 b	1.08±0.06 a	1.21±0.08 a	肾圆形，较厚，菌柄较短	正常
荫棚覆土 Shade-frame cultivating	13.65±3.06 a	10.41±1.51 a	1.50±0.13 a	7.32±1.83 a	0.99±0.01 a	1.00±0.06 a	肾圆形，较厚，菌柄较长	正常

表 3 灵芝的氨基酸含量比较

Table 3 Amino acid content of *G. lucidum* fruitbodies

[单位：(g·hg⁻¹ DW)]

氨基酸种类 Types of amino acids	竖栽覆土 Vertical intercropping	横栽覆土 Horizontal intercropping	荫棚覆土 Shade-frame cultivation
亮氨酸 Leu	0.52±0.04 a	0.50±0.07 a	0.47±0.02 a
异亮氨酸 Ile	0.49±0.05 a	0.52±0.06 a	0.46±0.09 a
赖氨酸 Lys	0.31±0.06 a	0.28±0.09 a	0.31±0.03 a
甲硫(蛋)氨酸 Met	0.05±0.01 a	0.03±0.01 a	0.03±0.01 a
苯丙氨酸 Phe	0.35±0.03 a	0.31±0.08 a	0.30±0.05 a
苏氨酸 Thr	0.48±0.12 a	0.43±0.08 a	0.41±0.12 a
缬(草)氨酸 Val	0.42±0.09 ab	0.49±0.10 a	0.37±0.06 b
色氨酸 Trp	0.06±0.01 a	0.05±0.02 a	0.05±0.01 a
胱氨酸 Cys	0.08±0.04 a	0.06±0.03 a	0.05±0.02 a
酪氨酸 Tyr	0.19±0.06 a	0.15±0.03 a	0.15±0.04 a
谷氨酸 Glu	0.66±0.15 a	0.69±0.29 a	0.70±0.22 a
甘氨酸 Gly	0.40±0.10 a	0.36±0.12 a	0.36±0.09 a
丙氨酸 Ala	0.42±0.04 a	0.44±0.08 a	0.38±0.15 a
天门冬氨酸 Asp	0.76±0.13 a	0.73±0.20 a	0.66±0.19 a
丝氨酸 Ser	0.39±0.07 a	0.37±0.06 a	0.34±0.06 a
组氨酸 His	0.15±0.05 a	0.13±0.04 a	0.13±0.05 a
精氨酸 Arg	0.22±0.05 a	0.27±0.14 a	0.21±0.08 a
脯氨酸 Pro	0.29±0.07 a	0.33±0.09 a	0.27±0.04 a
总氨基酸含量 TAA	6.24±0.38 a	6.15±0.58 a	5.66±0.35 a
非必需氨基酸含量 NEAA	3.56±0.30 a	3.53±0.45 a	3.26±0.19 a
必需氨基酸含量 EAA	2.68±0.36 a	2.62±0.52 a	2.40±0.41 a
EAA/TAA	0.429 5	0.426 0	0.424 0
EAA/NEAA	0.752 8	0.742 2	0.736 1

注：表中同行数据后不同小写字母表示各处理间差异显著（*P*<0.05）。

Note: Data with different lowercase letters indicate significant differences among treatments（*P*<0.05）.

0.73 以上，分别高于 FAO/WHO 标准规定的 40% 和 0.6 水平，达到优质的食物蛋白质原料的标准。两种茶园套种的灵芝子实体的总氨基酸含量达 6.24 g·hg⁻¹ 和 6.15 g·hg⁻¹，分别比荫棚覆土栽培的灵芝提高 10.25%

和 8.66%，必需氨基酸含量达 $2.68 \text{ g} \cdot \text{hg}^{-1}$ 和 $2.62 \text{ g} \cdot \text{hg}^{-1}$ ，分别比荫棚覆土栽培的提高 11.67% 和 9.17%，但处理间均无显著性差异；2 种茶园套种方式比较，竖栽覆土处理的灵芝子实体总氨基酸和必需氨基酸含量也略高于横栽覆土处理。

3 讨论与结论

本研究表明，茶园套种时，灵芝可以正常出芝并生长发育成熟，灵芝商品性状正常，说明茶园的生态环境适合灵芝生长发育，这是因为灵芝属寡光照食用菌，成龄茶园茶行间的郁闭度较高，光照条件正好满足灵芝生长的需求，加上茶园土壤偏酸性，也满足灵芝生长的酸性条件（pH 值 4.5~6.0）。同时，灵芝属高温结实性菌类，覆土栽培时期一般在 5~7 月，此时茶园的温湿度、土壤水分也与灵芝的生长要求条件相似，大多生态和有机茶园在春秋两季之间的农事活动较少，对灵芝生长发育的人为影响可以减少到最低。茶园套种时，灵芝的出芝时间、成熟时间、出芝率、生物转化率和商品性状均不如室外荫棚覆土栽培，而灵芝多糖、总三萜和氨基酸含量等品质指标均高于室外荫棚覆土栽培，这可能与茶园套种为露天仿野生栽培有关，茶园温湿度比荫棚低而不稳定，光照也强于荫棚，这些因素对灵芝的生长和性状造成一定的不利影响，同时茶园的生态环境中病虫害同样影响灵芝的生长，但这些不利的环境因素却对灵芝的品质有一定程度的提升作用。周春红等^[18]、陈体强等^[19]研究发现野生灵芝的活性成分和氨基酸含量比栽培灵芝高，这与本研究结果相一致。

茶树属于小灌木，根深 60~80 cm，根幅在 100 cm 以上，茶树的根为轴状根系，由主根、侧根、细根和根毛组成。本研究中的茶树品种为福云 6 号，属于大叶茶类，主根明显，而茶园套种灵芝时，在距离茶树树干 25~30 cm 开条沟，开沟深度 20 cm 和 10 cm，对茶树根系生长的影响较小。同样是茶园套种，竖栽覆土和横栽覆土 2 种处理的灵芝其出芝时间、成熟时间、出芝率、生物转化率、商品性状和品质也有所不同，但差异不显著。从理论上讲，单位面积的茶园，竖栽覆土栽培的灵芝菌棒数量比横栽覆土栽培多 50%，相应可以增加单位面积的茶园的灵芝产量，但由于开沟深度是横栽覆土栽培的 2 倍，同样增加了相应的劳动成本。因此，在实际生产时可根据茶园立地条件、投入产出等情况选择竖栽覆土或横栽覆土的茶园套种灵芝模式。

目前，灵芝覆土栽培中，有全脱袋、半脱袋及

不脱袋等处理，本试验采用全脱袋处理，正是从茶园生产的实际情况出发，曹卫民等^[20]、李忠等^[21]研究发现灵芝菌糠含有丰富的有机质、Ca 和 P 等营养成分，试验结束后脱袋处理的灵芝菌糠，正好作为肥料，直接回施给茶园，增加茶园土壤肥力。在茶园套种灵芝等食用菌，从外界投入了大量的栽培料，子实体生长的过程中会形成新的菌丝残体，子实体采收后的菌渣中含有蛋白质、菌体蛋白、氨基酸、酶等各种成分，这些都可能转变成土壤的有机无机肥源。前期研究发现，套种灵芝能显著增加茶园土壤有机质、全氮、速效氮和有效磷含量^[8]，茶树作为叶用植物，对氮素营养的需求高，茶园套种灵芝对土壤养分的增效有利于茶树的生长。因此，茶园套种灵芝是一种值得推广应用的现代茶园生产模式。

参考文献：

- [1] MONKAI J, HYDE K D, XU J C, et al. Diversity and ecology of soil fungal communities in rubber plantations [J]. *Fungal Biology Reviews*, 2017, 31 (1): 1-11.
- [2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典——一部: 2015 年版[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015: 188-189.
- [3] SINGH S K, DOSHI A, PANCHOLY A, et al. Biodiversity in wood-decay macro-fungi associated with declining arid zone trees of India as revealed by nuclear rDNA analysis [J]. *European Journal of Plant Pathology*, 2013, 136 (2): 373-382.
- [4] CAO Y, YUAN H S. *Ganoderma mutabile* sp. nov. from southwestern China based on morphological and molecular data [J]. *Mycological Progress*, 2013, 12 (1): 121-126.
- [5] 卢陆. 林下食用菌经济发展的新模式 [J]. 中国林业产业, 2017 (2): 56-57.
- LU L. New Economic Development Model of Edible Fungi under Forest [J]. *China Forestry industry*, 2017 (2): 56-57. (in Chinese)
- [6] 王峰, 吴志丹, 江福英, 等. 绿肥对茶园生态系统的影响及其发展对策 [J]. *南方农业学报*, 2012, 43 (3): 402-406.
- WANG F, WU Z D, JIANG F Y, et al. Influence of green manure on ecosystem of tea gardens and strategies for its development [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2012, 43 (3): 402-406. (in Chinese)
- [7] 黄东风, 王利民, 李卫华, 等. 茶园套种牧草对作物产量及土壤基本肥力的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2014, 22 (11): 1289-1293.
- HUANG D F, WANG L M, LI W H, et al. Effects of inter-planting forage with tea on yield and soil fertility [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2014, 22 (11): 1289-1293. (in Chinese)
- [8] 李艳春, 林忠宁, 陆燕, 等. 茶园间作灵芝对土壤细菌多样性和群落结构的影响 [J]. 福建农业学报, 2019, 34 (6): 690-696.
- LI Y C, LIN Z N, LU Z, et al. Microbial diversity and community structure in soil under tea bushes-*ganoderma lucidum* intercropping [J].

- Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2019, 34 (6) : 690–696. (in Chinese)
- [9] 黄伟. 浅论食用菌返生态野生栽培 [J]. *中国食用菌*, 2008, 27 (5) : 33–34.
- HUANG W. Preliminary view on ecological wild cultivation of edible fungi [J]. *Edible Fungi of China*, 2008, 27 (5) : 33–34. (in Chinese)
- [10] 李振武, 韩海东, 陈敏健, 等. 套种食用菌对茶园土壤和茶树生长的效应 [J]. *福建农业学报*, 2013, 28 (11) : 1088–1092.
- LI Z W, HAN H D, CHEN M J, et al. Effects of intercropping *Stropharia rugoso-annulata* on tea garden soil and tea growth [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2013, 28 (11) : 1088–1092. (in Chinese)
- [11] 蒋玉兰, 张海华, 潘俊娴, 等. 茶树和长根菇间作试验研究 [J]. *中国食用菌*, 2018, 37 (6) : 32–35, 39.
- JIANG Y L, ZHANG H H, PAN J X, et al. Experiment study on intercropping of tea trees and *Oudemansiella radicata* [J]. *Edible Fungi of China*, 2018, 37 (6) : 32–35, 39. (in Chinese)
- [12] 杨洪姣, 马剑, 王睿芳. 茶菌间作共生对大叶茶产量的影响研究 [J]. *农技服务*, 2017, 34 (2) : 12–14.
- YANG H J, MA J, WANG R F. Effects of intercropping of tea and edible fungi on the yield of large leaf tea [J]. *Agricultural Technology Service*, 2017, 34 (2) : 12–14. (in Chinese)
- [13] 杨云丽, 马剑, 王睿芳. 茶菌间作模式对大叶茶土壤微生物类群的影响探析 [J]. *南方农业*, 2017, 11 (2) : 13–16.
- YANG Y L, MA J, WANG R F. Effects of tea-edible fungi intercropping on soil microbial groups of large leaf tea [J]. *South China Agriculture*, 2017, 11 (2) : 13–16. (in Chinese)
- [14] 杨国育, 高峻, 武卫, 等. 茶树与食用菌复合栽培模式研究 [J]. *西南农业学报*, 2011, 24 (6) : 2112–2115.
- YANG G Y, GAO J, WU W, et al. Studies on interplanting model of tea and edible fungi [J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2011, 24 (6) : 2112–2115. (in Chinese)
- [15] 张洛新, 李灿, 杨建学, 等. 灵芝代料栽培技术 [J]. *中国林副特产*, 2004 (3) : 31–32.
- ZHANG L X, LI C, YANG J X, et al. Cultivation technology of *Ganoderma lucidum* with bagged materials [J]. *Forest By-product and Speciality in China*, 2004 (3) : 31–32. (in Chinese)
- [16] 中华人民共和国卫生部. 食品中氨基酸的测定方法: GB/T5009.124-2003[S]. 北京: 中国标准出版社, 2003.
- [17] 中华人民共和国农业部. 饲料中色氨酸测定方法-分光光度法: GB/T15400-1994[S]. 北京: 中国标准出版社, 1994.
- [18] 周春红, 董佳. 人工栽培灵芝与野生灵芝活性成分的比较分析 [J]. *中国食物与营养*, 2010, 16 (12) : 65–68.
- ZHOU C H, DONG J. Comparative analysis of active components between wild and cultivated *Ganoderma lucidum* [J]. *Food and Nutrition in China*, 2010, 16 (12) : 65–68. (in Chinese)
- [19] 陈体强, 徐洁, 吴锦忠. 福建省常见灵芝的氨基酸分析比较 [J]. *海峡药学*, 2004, 16 (5) : 1–4.
- CHEN T Q, XU J, WU J Z. Analysis and comparison of amino acids in the fruitbody of wild and log-cultivated Linzhi in Fujian [J]. *Strait Pharmaceutical Journal*, 2004, 16 (5) : 1–4. (in Chinese)
- [20] 曹启民, 张永北, 宋绍红, 等. 灵芝菌糠发酵饲料对育肥猪生产性能的影响 [J]. *中国饲料*, 2013 (9) : 39–41.
- CAO Q M, ZHANG Y B, SONG S H, et al. Effects of *Ganoderma* WMLE feed on production performance of finishing pigs [J]. *China Feed*, 2013 (9) : 39–41. (in Chinese)
- [21] 李忠, 曾振基, 宋斌, 等. 灵芝菌糠替代部分木屑栽培金针菇的研究 [J]. *中国食用菌*, 2015, 34 (1) : 26–28, 43.
- LI Z, ZENG Z J, SONG B, et al. Study on the effect of spent *Ganoderma lucidum* substrate partial substitute sawdust on *Flammulina velutipes* cultivation [J]. *Edible Fungi of China*, 2015, 34 (1) : 26–28, 43. (in Chinese)

(责任编辑：张梅)