

不同连作年限下烤烟不同生育期土壤微生物区系动态研究

徐继磊¹, 张友杰¹, 叶协锋^{2*}, 刘志广¹, 孟敏¹, 李玲丽¹, 崔军¹, 王进安¹, 张荣成¹

(1. 山东中烟工业有限责任公司, 山东济南 250000; 2. 河南农业大学烟草学院, 河南郑州 450002)

摘要 [目的]研究烤烟连作对土壤微生物区系动态的影响。[方法]采用盆栽试验,研究烤烟连作0、4、6和8年各生育期土壤微生物的变化规律。[结果]随连作年限的增加,各微生物数量在整个生育期表现:细菌和解磷细菌表现为升高—降低—升高的规律,真菌与之相反;放线菌和氯化细菌表现为先增加后降低的趋势,解钾菌与二者表现相反的规律;硝化细菌随连作年限的增加逐渐增加。各微生物随烤烟生育期变化:细菌、真菌、放线菌、氯化菌、解钾菌表现为先降低至末期又升高的趋势;硝化细菌和解磷菌表现为升高—降低—升高的趋势。[结论]土壤微生物活性与烤烟连作及烟草生长关系密切,研究连作和烟草生长发育对土壤微生物活性的交互影响更有意义。

关键词 烤烟;连作;生育期;土壤微生物**中图分类号** S154.3 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)18-0105-04**Dynamics of the Soil Microbial Flora at Different Growing Stages of Flue-cured Tobacco under Continuous Cropping Years**XU Ji-lei¹, ZHANG You-jie¹, YE Xie-feng² et al (1. China Tobacco Shandong Industrial Company, Jinan, Shandong 250000; 2. Tobacco College of Henan Agricultural University, Zhengzhou, Henan 450002)

Abstract [Objective] To study dynamics of the soil microbial flora at different growing stages of flue-cured tobacco under continuous cropping years. [Method] A pot experiment was conducted to study the variation of soil microorganism at tobacco developmental stages under different continuous cropping years. [Result] With the increase of continuous cropping, the average amount of bacteria and phosphate-dissolving bacteria showed increased lower increased downward trend, while the fungi reversed to the above; the actinomycete and ammonifier presented the trend of first increase then decreased, while the potassium-dissolving bacteria reversed to the above; the nitro bacteria increased with the increased of continuous cropping. In whole developing stage of tobacco, the average number of bacteria, fungi, actinomycete, ammonifier and phosphate-dissolving bacteria of different treatments showed the trend of decreased first and then increased; the nitro bacteria showed the trend of increased-decreased-increased. [Conclusion] Soil microbial activity is closely related to tobacco continuous cropping years and tobacco growth, and it is more meaningful to study the interaction effect of continuous cropping and tobacco growth on soil microbial activity.

Key words Flue-cured tobacco; Continuous cropping; Developmental stage; Soil microorganism

烤烟连作导致烟株长势变弱,烟叶烟碱和氯含量增加,总糖、还原糖和钾含量降低,内在化学成分相对不协调^[1]。随着连作时间延长,不同作物对营养的选择性吸收造成部分营养的贫乏和富集,土壤的营养条件不断恶化^[2],更重要的是连作降低了有益微生物的数量和活性,改变了土壤微生物群落功能多样性,因此连作障碍产生的原因之一是土壤的生物因素^[3]。笔者研究不同连作年限下烤烟不同生育期土壤微生物种群变化,以期对现有烟田的合理利用、土壤生态环境的改善、烤烟连作障碍解决方案的提出提供理论依据。

1 材料与方

1.1 试验材料 试验用土取自河南郑县岔河村烟田耕层土(0~20 cm),黄褐土,基本理化性状见表1。供试烤烟品种为K326。

1.2 试验方法 分连作0(正茬)、4、6和8年4个处理。于移栽后30、45、60、75和90 d取样,采用20 cm土钻在离根部5 cm处环根取3钻,混匀,一部分采用烘干法测定土壤含水率,另一部分测定各微生物含量。

细菌、真菌、放线菌的数量采用稀释平板法测定;细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基培养,真菌采用马丁氏培养基培养,放线菌采用高氏1号培养基培养^[4]。

1.3 数据分析 试验数据采用Microsoft Excel 2007和SPSS 19.0软件进行处理。

表1 供试土壤基本理化性状**Table 1 Basic physicochemical property of potting soils tested**

| 连作年限 Continuous cropping years//a | 碱解氮 Alkaline hydrolysis nitrogen mg/kg | 速效磷 Rapid available phosphorus mg/kg | 速效钾 Rapidly available potassium mg/kg | 有机质 The organic matter g/kg | pH |
|--|--|--|---|---|------|
| 0 | 34.06 | 3.76 | 30.33 | 16.04 | 7.66 |
| 4 | 49.25 | 4.25 | 31.00 | 11.61 | 7.73 |
| 6 | 51.80 | 3.89 | 30.05 | 11.67 | 7.75 |
| 8 | 44.79 | 3.44 | 36.67 | 8.28 | 7.46 |

2 结果与分析**2.1 不同连作年限下烤烟不同生育期土壤微生物数量的变化**

2.1.1 细菌数量的变化。细菌在三大微生物类群中数量最多^[5]。张伟等^[6]研究认为棉花长期连作对土壤细菌群落结构组成影响很大,但随着连作年限延长至5年后,细菌群落结构组成能自发趋于稳定和回升。从表2可以看出,不同连作年限对植烟土壤细菌含量的影响在不同生育期的表现略有不同,其中45和75 d表现为降低—升高—降低的趋势,30、60和90 d表现为升高—降低—升高的变化规律。

从表2可以看出,在烟草生长的前期(30、45 d),根系活力较低,对土壤微生物影响较小,土壤细菌数量较高。进入营养生长的旺盛期(60、75 d),根系分泌物增加,细菌数量处于较低水平,进入成熟期(90 d)数量有所回升。这说明烟草根系分泌物在一定程度上抑制土壤细菌的生长。

作者简介 徐继磊(1989—),男,河南正阳人,从事烟草栽培及工艺研究。*通讯作者,副教授,博士,从事烟草栽培生理和土壤改良研究。

收稿日期 2018-03-12; **修回日期** 2018-03-29

表2 不同植烟年限下烤烟不同生育期土壤细菌数量的变化

Table 2 Variation of bacteria at different growing stages under continuous cropping years

10⁷ 个/g(干土)

| 连作年限 Continuous cropping years//a | 移栽后天数 Number of days after transplanting//d | | | | | 平均值 Average | 标准差 Standard deviation | 变异系数 Coefficient of variation//% |
|---|---|---------|---------|---------|---------|----------------|------------------------------|--|
| | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | | | |
| 0 | 5.72 cB | 7.89 aA | 2.42 bC | 1.24 bD | 1.40 dD | 3.73 | 2.72 | 72.92 |
| 4 | 7.37 aA | 5.34 bC | 2.64 aD | 0.72 cE | 5.92 bB | 4.40 | 2.48 | 56.36 |
| 6 | 5.45 dA | 5.45 bA | 0.75 cD | 3.14 aB | 1.99 cC | 3.35 | 1.94 | 57.91 |
| 8 | 6.56 bA | 2.67 cC | 2.69 aC | 0.25 dD | 6.15 aB | 3.66 | 2.46 | 67.21 |

注:同行不同大写字母表示同一连作处理不同生育期间差异显著($P \leq 0.05$); 同列不同小写字母表示相同生育期不同连作处理间差异显著($P \leq 0.05$)

Note: Different capital letters in the same line stand for significant differences between different growth periods in the same cropping treatment at 0.05 level; different lowercases stand for significant differences between different cropping treatments at the same growth period at 0.05 level

2.1.2 真菌数量的变化。真菌是土壤三大微生物类群中数量最少的^[5],马铃薯连作可改变土壤真菌群落组成结构,尤其是增加引起土传病害的致病菌类型,进而造成连作障碍^[3]。由表3可知,真菌数量在移栽后30、60和90d与细菌的表现相反,随着连作年限的增加表现为降低—升高—降低的趋势。从真菌数量看,连作4年的,75d等于正茬,其余各时期均低于正茬;连作6年的,45和75d低于正茬,其余各

时期均高于正茬;连作8年的,60d高于正茬,75d等于正茬,其余各时期均低于正茬。总体而言,连作6年的土壤真菌数量最高。

移栽后30d真菌数量偏高,但随着烤烟的继续生长,不同处理表现不同的规律,但总体呈增加趋势。这可能是30d时产生的根系分泌物少,随着植株的生长,根系分泌物产生种类和数量增加,并逐步积累,促进了真菌的生长。

表3 不同植烟年限下烤烟不同生育期土壤真菌数量的变化

Table 3 Variation of fungi at different growing stages under continuous cropping years

10⁴ 个/g(干土)

| 连作年限 Continuous cropping years//a | 移栽后天数 Number of days after transplanting//d | | | | | 平均值 Average | 标准差 Standard deviation | 变异系数 Coefficient of variation//% |
|---|---|---------|---------|---------|---------|----------------|------------------------------|--|
| | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | | | |
| 0 | 4.67 bB | 3.92 aD | 1.96 cE | 4.14 aC | 5.50 bA | 4.04 | 1.22 | 30.20 |
| 4 | 2.03 dB | 0.60 dD | 1.46 dC | 4.14 aA | 2.10 dB | 2.07 | 1.21 | 58.45 |
| 6 | 7.39 aA | 1.28 cD | 4.22 aB | 1.96 bC | 7.24 aA | 4.42 | 2.65 | 59.95 |
| 8 | 3.01 cD | 2.03 bE | 3.39 bC | 4.14 aB | 5.20 cA | 3.56 | 1.11 | 31.18 |

注:同行不同大写字母表示同一连作处理不同生育期间差异显著($P \leq 0.05$); 同列不同小写字母表示相同生育期不同连作处理间差异显著($P \leq 0.05$)

Note: Different capital letters in the same line stand for significant differences between different growth periods in the same cropping treatment at 0.05 level; different lowercases stand for significant differences between different cropping treatments at the same growth period at 0.05 level

2.1.3 放线菌数量的变化。放线菌能同化无机氮,分解碳水化合物及脂类、单宁等难分解的物质,多种放线菌还能产生抗生物质,因此,放线菌与土壤肥力以及有机质转化和植物病害防治有密切关系^[7]。由表4可知,连作对烤烟生长过程土壤放线菌数量的影响:连作6年表现为先增加后降低;正茬及连作4年与之表现相反;连作8年表现为增加—降

低—回升趋势。并随着连作年限的增加,30、45和75d表现为先增加后降低的趋势;60和90d表现为增加—降低—回升的趋势。总体而言,连作4年内迅速提高了放线菌的数量,然后随连作时间的延长而逐步回落,与尤垂淮等^[1]的研究结果一致。由此可知,随着连作年限的延长,烤烟生长过程中土壤放线菌趋于不规律。

表4 不同植烟年限下烤烟不同生育期土壤放线菌数量的变化

Table 4 Variation of actinomycete at different growing stages under continuous cropping years

10⁵ 个/g(干土)

| 连作年限 Continuous cropping years//a | 移栽后天数 Number of days after transplanting//d | | | | | 平均值 Average | 标准差 Standard deviation | 变异系数 Coefficient of variation//% |
|---|---|---------|---------|---------|---------|----------------|------------------------------|--|
| | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | | | |
| 0 | 7.53 bA | 4.86 dB | 2.44 cD | 2.60 dD | 2.89 dC | 4.06 | 2.01 | 49.51 |
| 4 | 9.34 aA | 7.80 aB | 3.23 aE | 4.10 aD | 4.97 aC | 5.89 | 2.39 | 40.58 |
| 6 | 7.46 bA | 6.83 bB | 2.51 cE | 3.80 bC | 3.14 cD | 4.75 | 2.08 | 43.79 |
| 8 | 4.39 cB | 5.47 cA | 3.01 bE | 3.52 cD | 3.93 bC | 4.06 | 0.87 | 21.43 |

注:同行不同大写字母表示同一连作处理不同生育期间差异显著($P \leq 0.05$); 同列不同小写字母表示相同生育期不同连作处理间差异显著($P \leq 0.05$)

Note: Different capital letters in the same line stand for significant differences between different growth periods in the same cropping treatment at 0.05 level; different lowercases stand for significant differences between different cropping treatments at the same growth period at 0.05 level

2.2 不同连作年限下烤烟不同生育期土壤微生物生理群的变化

2.2.1 氨化细菌数量的变化。土壤中氨化细菌的数量不仅

与土壤肥力状况有密切关系,而且能体现氨化作用的强度^[8]。孔令刚^[9]研究认为,杨树连作降低土壤氨化细菌数量。由表5可知,连作时,土壤氨化细菌数量随生育期变化

规律:30 d 氨化细菌含量最高,随后降至较低水平,90 d 时又有所回升;随连作年限增长,氨化细菌数量表现为先增加后

降低的趋势,这是由于烤烟连作后期氮肥主要采用有机肥,而有机肥中的有机质已经分解,不再促进氨化细菌的生长。

表 5 不同植烟年限下烤烟不同生育期土壤氨化细菌数量的变化

Table 5 Variation of ammonifier during continuous cropping years & different growing stages

10^6 个/g(干土)

| 连作年限 Continuous cropping years//a | 移栽后天数 Number of days after transplanting//d | | | | | 平均值 Average | 标准差 Standard deviation | 变异系数 Coefficient of variation//% |
|---|---|----------|---------|---------|---------|----------------|------------------------------|--|
| | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | | | |
| 0 | 2.72 cB | 2.08 bCD | 1.94 bD | 3.33 aA | 2.23 bC | 2.46 | 0.53 | 21.54 |
| 4 | 3.05 bB | 2.96 aB | 2.71 aC | 1.79 cD | 4.01 aA | 2.90 | 0.74 | 25.52 |
| 6 | 3.90 aA | 2.73 aB | 2.10 bC | 1.81 cD | 1.91 cD | 2.49 | 0.81 | 32.53 |
| 8 | 2.81 cA | 2.90 aA | 1.89 bC | 2.25 bB | 1.82 cC | 2.33 | 0.47 | 20.17 |

注:同行不同大写字母表示同一连作处理不同生育期间差异显著($P \leq 0.05$); 同列不同小写字母表示相同生育期不同连作处理间差异显著($P \leq 0.05$)

Note: Different capital letters in the same line stand for significant differences between different growth periods in the same cropping treatment at 0.05 level; different lowercases stand for significant differences between different cropping treatments at the same growth period at 0.05 level

2.2.2 硝化细菌数量的变化。硝化细菌能够利用还原态无机氮化合物进行自养生长^[10]。刘素慧等^[5]研究认为,大荔连作使土壤硝化细菌数量迅速增加,至 10 年最高,然后又急剧降低。由表 6 可知,正茬、连作 4 和 8 年的土壤硝化细菌数量在烤烟生育期均表现为移栽后 30 d 较低,至 45 d 时有不同程度的增加,随着烤烟的继续生长逐渐下降,75 d 时降

至最低,90 d 时均大幅增加。随着烤烟连作年限的增加,硝化细菌数量各时期平均值呈增加趋势;但 30 d 时表现为先升高后降低的趋势,以连作 6 年的数量最高,而 45 d 时表现为先降低再升高的趋势,以连作 6 年的数量最低。这表明不能仅通过某个生育期来研究烤烟连作对硝化细菌的影响。

表 6 不同植烟年限下烤烟不同生育期土壤硝化细菌数量的变化

Table 6 Variation of nitrobacteria during continuous cropping years & different growing stages

10^5 个/g(干土)

| 连作年限 Continuous cropping years//a | 移栽后天数 Number of days after transplanting//d | | | | | 平均值 Average | 标准差 Standard deviation | 变异系数 Coefficient of variation//% |
|---|---|---------|---------|----------|---------|----------------|------------------------------|--|
| | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | | | |
| 0 | 3.12 cC | 6.51 bA | 2.53 dD | 0.50 bE | 4.18 aB | 3.37 | 2.05 | 60.83 |
| 4 | 5.29 bB | 5.83 cA | 3.05 bC | 0.72 aE | 2.46 cC | 3.47 | 1.94 | 55.91 |
| 6 | 7.23 aA | 4.95 dB | 2.74 cD | 0.53 bE | 3.30 bC | 3.75 | 2.32 | 61.87 |
| 8 | 5.34 bB | 7.84 aA | 3.32 aC | 0.68 abE | 2.06 dD | 3.85 | 2.61 | 67.79 |

注:同行不同大写字母表示同一连作处理不同生育期间差异显著($P \leq 0.05$); 同列不同小写字母表示相同生育期不同连作处理间差异显著($P \leq 0.05$)

Note: Different capital letters in the same line stand for significant differences between different growth periods in the same cropping treatment at 0.05 level; different lowercases stand for significant differences between different cropping treatments at the same growth period at 0.05 level

2.2.3 解磷细菌数量的变化。解磷细菌能够将有机磷和难溶性无机磷转化为可溶性磷,促进植物对磷的利用^[11]。由表 7 可知,在 30、75 和 90 d 时,土壤解磷细菌含量随连作的变化表现为增加—减低—增加的趋势,与 45 d 时的规律相反。总体而言,随种植年限的增加,土壤解磷细菌数量表现为增加趋势,这可能是由于长期施用磷化肥的刺激作用。

正茬和连作 6 年的解磷细菌数量在烤烟生长过程中变化规律相同,均表现为 30 d 较低,随着烤烟进入旺长期而增加,45 d 的数量分别比 30 d 增加了 50.53% 和 67.90%。随着烤烟的继续生长,其数量开始下降,至 75 d 降至最低,分别为 30 d 的 60.21% 和 72.84%,至烤烟成熟期,其数量开始升高。

表 7 不同植烟年限下烤烟不同生育期土壤解磷细菌数量的变化

Table 7 Variation of phosphate-dissolving bacteria at different growing stages under continuous cropping years

10^5 个/g(干土)

| 连作年限 Continuous cropping years//a | 移栽后天数 Number of days after transplanting//d | | | | | 平均值 Average | 标准差 Standard deviation | 变异系数 Coefficient of variation//% |
|---|---|---------|---------|---------|---------|----------------|------------------------------|--|
| | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | | | |
| 0 | 0.93 abB | 1.40 aA | 0.84 bB | 0.56 cC | 0.97 cB | 0.94 | 0.29 | 30.85 |
| 4 | 1.13 aC | 0.86 bD | 0.72 bD | 2.01 aB | 2.80 aA | 1.51 | 0.82 | 54.30 |
| 6 | 0.81 bC | 1.36 aB | 1.24 aB | 0.59 cD | 2.06 bA | 1.21 | 0.53 | 43.80 |
| 8 | 0.90 abC | 0.88 bC | 1.38 aB | 1.06 bC | 2.10 bA | 1.27 | 0.48 | 37.80 |

注:同行不同大写字母表示同一连作处理不同生育期间差异显著($P \leq 0.05$); 同列不同小写字母表示相同生育期不同连作处理间差异显著($P \leq 0.05$)

Note: Different capital letters in the same line stand for significant differences between different growth periods in the same cropping treatment at 0.05 level; different lowercases stand for significant differences between different cropping treatments at the same growth period at 0.05 level

2.2.4 解钾细菌数量的变化。董祥洲^[12]对延边烟区研究认为,随着连作年限延长,土壤解钾细菌数量减少。由表 8 可

知,解钾细菌随连作时间的变化在烤烟移栽后 30、45 和 60 d 相同,正茬处于较高水平,随连作而降低,至连作 8 年出现回

升。75 d 时表现为先升高后降低再升高的规律,90 d 时与其规律相反。从整个生育期平均值看,随着连作年限增加,解钾细菌表现为先降低再升高的趋势。

连作对烤烟生长过程土壤解钾细菌的影响规律不一致,

其中正茬和连作 6 年均表现为先降低后升高的趋势。从整个生育期看,不同连作年限均为移栽后 60 d,即烟株营养生长最为活跃的时期解钾菌含量最低,而后生长速度开始减慢,解钾菌数量逐渐增加。

表 8 不同植烟年限下烤烟不同生育期土壤解钾细菌数量的变化

Table 8 Variation of potassium-dissolving bacteria at different growing stages under continuous cropping years

10^5 个/g(干土)

| 连作年限 Continuous cropping years//a | 移栽后天数 Number of days after transplanting//d | | | | | 平均值 Average | 标准差 Standard deviation | 变异系数 Coefficient of variation//% |
|---|---|---------|----------|---------|---------|----------------|------------------------------|--|
| | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | | | |
| 0 | 1.85 aB | 1.40 bC | 1.31 aC | 1.97 bB | 6.33 aA | 2.57 | 1.96 | 76.26 |
| 4 | 1.67 abC | 1.36 bD | 0.86 cE | 4.32 aA | 3.48 dB | 2.34 | 1.38 | 58.97 |
| 6 | 1.15 bC | 1.13 cC | 1.04 bcC | 1.74 bB | 4.82 bA | 1.98 | 1.49 | 75.25 |
| 8 | 1.60 bC | 1.88 aB | 1.15 abD | 1.83 bB | 4.48 cA | 2.19 | 1.22 | 55.71 |

注:同行不同大写字母表示同一连作处理不同生育期间差异显著($P \leq 0.05$);同列不同小写字母表示相同生育期不同连作处理间差异显著($P \leq 0.05$)

Note: Different capital letters in the same line stand for significant differences between different growth periods in the same cropping treatment at 0.05 level; different lowercases stand for significant differences between different cropping treatments at the same growth period at 0.05 level

3 结论与讨论

该研究表明,烤烟不同生育期土壤微生物各类群数量,随连作年限增加变化不规律,有时甚至表现出截然相反的变化规律,这说明进行此类研究时不能仅研究某个生育期的变化规律,对整个生育期进行过程研究更有实际意义。在烤烟整个生育期土壤微生物各类群数量,随连作年限增加变化规律:细菌和解磷细菌表现为增加—降低—增加的趋势,真菌与之相反;放线菌和氨化细菌表现为先增加后降低的趋势;解钾细菌与之相反;硝化细菌随连作年限的增加逐渐增加。

该试验结果与前人的研究结果有所不同^[1-9],随连作年限增加,土壤微生物各类群数量随生育期表现:细菌、真菌、放线菌、氨化和解钾细菌均表现为先降低至生育末期增加的趋势,而硝化细菌和解磷细菌则表现为先增加再降低至末期又有所回升的趋势。这主要是植烟条件下,烤烟和土壤之间通过相互作用形成的微生态环境与其他作物不同。这一微环境受到根系分泌物的化感作用,再加上其对营养元素的选择性吸收,使其对烤烟自身的生长产生了负反馈,连作加剧了这种作用,这可能是烤烟连作障碍产生的原因之一。与其他仅对连作作物某个生育期进行研究相比,该试验研究了烤

烟各个生长期的情况,不仅能反映连作对土壤微生物的影响,也能体现连作和烟草生长对土壤微生物的交互影响,试验结果更具理论和实践指导意义。

参考文献

- [1] 尤垂淮,高峰,王峰吉,等.连作对云南烤烟根际微生态及烟叶产质量的影响[J].中国烟草学报,2015,21(1):60-67.
- [2] 康亚龙,景峰,孙文庆,等.加工番茄连作对土壤理化性状及微生物量的影响[J].土壤学报,2016,53(2):533-542.
- [3] 刘星,邱慧珍,王蒂,等.甘肃省中部沿黄灌区轮作和连作马铃薯根际土壤真菌群落的结构性差异评估[J].生态学报,2015,35(12):3938-3948.
- [4] 中国科学院南京土壤研究所微生物室.土壤微生物研究法[M].北京:科学出版社,1985:265-267.
- [5] 刘素慧,刘世琦,张自坤,等.大蒜连作对其根际土壤微生物和酶活性的影响[J].中国农业科学,2010,43(5):1000-1006.
- [6] 张伟,陈一峰.棉花长期连作对新疆土壤细菌群落结构的影响[J].生态学报,2014,34(16):4682-4689.
- [7] 孙艳艳,蒋桂英,刘建国,等.加工番茄连作对农田土壤酶活性及微生物区系的影响[J].生态学报,2010,30(13):3599-3607.
- [8] 孙淑荣,吴海燕,刘春光,等.玉米连作对中部农区主要土壤微生物区系组成特征影响的研究[J].玉米科学,2004,12(4):67-69.
- [9] 孔令刚.多代连作杨树人工林土壤根际效应的研究[D].泰安:山东农业大学,2007.
- [10] 王贺祥.农业微生物学[M].北京:中国农业出版社,2003.
- [11] 陈倩,刘善江,白杨,等.山西矿区复垦土壤解磷细菌的筛选及鉴定[J].植物营养与肥料学报,2014,20(6):1505-1516.
- [12] 董祥洲.延边烤烟连作和轮作对土壤微生态与烟叶产量质量的影响[D].郑州:河南农业大学,2011.

(上接第 85 页)

的 6-BA(1.0~2.0 mg/L)或 6-BA 和 KT(各 0.5 mg/L)分别与较低浓度的 NAA(0.2 mg/L)组合均能诱导芽增殖,且获得较高的增殖系数,6-BA 与 KT 配合使用效果更佳;在壮苗培养时,稍高浓度的 NAA(0.2 mg/L)与低浓度的 6-BA(0.1 mg/L)组合能够使长势较弱的丛生芽复壮。生长素类型及使用浓度对组培生根效果影响显著^[7-8]。就冬红而言,在该研究中 NAA 的促生根效果明显优于 IBA,0.5 mg/L 是其较合适的浓度。

该研究筛选获得了冬红离体培养的关键配方,在开展冬红组织培养时,要根据培养材料的具体情况,比如木质化程度、苗内生长调节剂积累和继代次数等,对培养基进行相应

的优化调整。该研究基本建立了冬红组培快繁技术体系,为实现冬红组培苗木批量化生产奠定了理论基础。

参考文献

- [1] 肖春芬,普华琼.冬红扦插技术[J].西南园艺,2005,33(1):28.
- [2] 裴鉴,陈守良,方文哲,等.中国植物志,第 65 卷第 1 分册[M].北京:科学出版社,1982.
- [3] 杨舒婷,林茂,王华新,等.崇左金花茶的外植体灭菌研究[J].北方园艺,2013(3):124-126.
- [4] 龚一富.植物组织培养实验指导[M].北京:科学出版社,2011.
- [5] 沈海龙.树木组织培养微枝试管外生根育苗技术[M].北京:中国林业出版社,2009.
- [6] 胡繁荣.植物组织培养[M].北京:中国农业出版社,2009.
- [7] 叶飞,建德峰.合果芋组培苗的生根与移栽技术研究[J].江苏农业科学,2012,40(11):196-197.
- [8] 姚瑞玲,王胤,吴幼媚.马尾松组培生根关键因子分析[J].广西植物,2016,36(11):1288-1294.