

光合细菌与留叶数互作对烤烟生理代谢、 化学品质及产量和质量的影响

韦梦洋¹ 罗贞宝² 贺帅² 马黔² 马关凯² 席飞虎¹
罗东升¹ 景延秋¹ 喻奇伟² 王茂贤²

(¹河南农业大学烟草学院, 450046, 河南郑州; ²贵州省烟草公司毕节市公司, 551700, 贵州毕节)

摘要 为探究光合细菌与留叶数互作对烤烟生理生化及产量和质量的影响, 以‘云烟 87’作为供试材料, 采用双因素裂区试验 (光合细菌浓度: 1:500、1:300、1:100; 留叶数: 19、21、23 片) 研究两者及其互作效应对烤烟光合特性、碳氮代谢特性、化学成分及经济性状的影响。结果表明, 光合细菌浓度为主要效应因子, 在 1:300 浓度下显著提高了烟叶叶绿素含量, 并促进了类胡萝卜素类和苯丙氨酸类等降解产物的生成, 感官质量和经济表现也较好。与其余处理相比, 光合细菌浓度 1:300 和留叶数 21 片处理的叶绿素含量增加了 21.47%, 中性致香物质含量增加了 4.23%~5.04%, 产值增加了 6.95%~8.70%, 上等烟比例提高了 3.05%~6.13%, 感官质量得分最高。综上, 光合细菌喷施浓度 1:300 且留叶数 21 片处理能够改善烟叶品质, 优化等级结构, 提高经济效益。

关键词 光合细菌; 留叶数; 烤烟; 产量; 质量

我国的烤烟生产模式中, 施用农药与化学肥料是提升烟株质量与产量的重要环节^[1], 而部分烟农为追求经济效益往往长期大量施用农药与化学肥料, 导致土壤肥力下降, 烟株农艺指标降低, 烟叶化学成分失调, 香味物质含量下降^[2]。光合细菌作为一类可以利用光能实现光合反应的微生物, 不仅能够产生类胡萝卜素、蛋白质和多种植物激素等生理活性物质, 其菌体内还含有辅酶 Q、抗病毒物质以及吡啶乙酸和 5-氨基乙酰丙酸等促生长因子^[3-4], 以微生物菌肥的方式应用于农业上具有促进作物生长、提高土壤肥力、改善叶际、根际微生物环境等功能, 且具有绿色、无毒等优点^[5]。研究^[6]表明, 光合细菌不仅能够通过光合作用固定环境中的游离氮, 还可以与其他根瘤菌联合固氮, 提高土壤含氮量, 从而提高植物可吸收的氮素营养。光合细菌还能刺激作物分泌氨基乙酰丙酸物质, 该物质是合成叶绿素的必需成分, 大量氨基乙酰丙酸物质的形成促进了叶绿素的合成, 提高了植物的光合效率^[7]。由于光合细菌具有光能自养、固氮、固碳等功能, 在面对植物叶际缺水、养分稀少、紫外线照射等逆境时仍具有很强的定殖能力^[8], 强大

的适应能力使其应用于植物叶面生物肥料具有广阔前景。

留叶数作为调节烤烟营养生长的重要栽培措施之一, 是影响烤烟产量和品质又一关键环节。研究^[9]发现, 在施氮量一致的情况下, 烤烟的叶长、叶宽等农艺指标会随着留叶数的增加逐渐减小, 且烤后 C3F 等级烟叶的单叶重也显著下降。留叶数还会影响烤烟中部烟叶的碳氮代谢和钾氯代谢, 留叶数的增加一定程度上可以提高烟叶钾含量^[10]。前人对于烤烟留叶数的研究多集中于施氮量、打顶时期、种植密度等的互作效应中, 与微生物菌剂的互作处理却鲜有报道, 而光合细菌菌剂已应用于番茄^[11]、辣椒^[12]、黄瓜^[13]等多种作物并取得良好成效。因此, 本研究以光合细菌和留叶数作为试验设计的 2 个因素, 探究不同处理对烤烟生理代谢和化学成分的影响, 以期对烤烟的农业生产提供更多参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2023 年 3 月在湖南省常德市桃源县烟草种植区进行, 区内行距 120 cm 左右, 株距 45 cm

作者简介: 韦梦洋, 主要从事烟草栽培研究, E-mail: w2718282348@163.com; 罗贞宝为共同第一作者, 主要从事烟叶安全生产研究, E-mail: 30734200@qq.com

景延秋为通信作者, 主要从事烟草化学研究, E-mail: jingyanqiu72t@163.com; 喻奇伟为共同通信作者, 主要从事烟叶生产技术研究, E-mail: ycs327@126.com; 王茂贤为共同通信作者, 主要从事烟叶生产管理研究, E-mail: 1035526313@qq.com

基金项目: 贵州省烟草公司毕节市公司研发项目“基于肥料工艺优化的水肥耦合抗春旱技术研究与集成应用”(2024XM22)

收稿日期: 2024-02-26; 修回日期: 2024-03-23; 网络出版日期: 2024-08-05

左右。选用的试验田为黏壤土，试验土壤 pH 6.74、碱解氮 125.5 mg/kg、有效磷 57.6 mg/kg、速效钾 319.3 mg/kg、全氮 1.2 g/kg、全磷 0.8 g/kg、全钾 13.5 g/kg。

1.2 试验材料

供试烤烟品种为云烟 87，由湖南省常德市烟草公司提供。光合细菌菌剂购自盐城百诺生物科技有限公司，有效活菌数 $\geq 1\times 10^8$ cfu/mL。

1.3 试验设计

采用双因素裂区试验，设置 3 个光合细菌浓度（G），即 1:500、1:300 和 1:100，分别记为 G1、G2、G3；设置 3 种留叶数（Y），即 19、21、23 片，分别记为 Y1、Y2、Y3，共 9 个处理（表 1），每个处理重复 3 次，随机分区为 27 个小区，每个小区约 90 株烤烟，施用基肥为烟草专用复合肥料（N:P₂O₅:K₂O=7:14:8）1125 kg/hm²，追肥为烟草专用追肥（KNO₃:K₂SO₄=1:1）1050 kg/hm²。于烤烟移栽后第 30 天进行光合细菌菌剂喷施处理，以叶片两面均匀喷施且无溶液滴落为宜，每隔 30 d 重复一次施用，在烟田有 50% 中心花开放后统一打顶并进行留叶数处理。在打顶后第 30 天取样检测，期间采用当地优质烟叶栽培技术进行管理。

表 1 试验设计
Table 1 Design of experiment

处理 Treatment	光合细菌喷施 Photosynthetic bacteria application	留叶数（片/株） Number of leaves left (leaves/plant)
G1Y1	1:500	19
G1Y2	1:500	21
G1Y3	1:500	23
G2Y1	1:300	19
G2Y2	1:300	21
G2Y3	1:300	23
G3Y1	1:100	19
G3Y2	1:100	21
G3Y3	1:100	23

1.4 测定项目与方法

1.4.1 光合指标和叶绿素含量 每个处理随机选取 5 株烤烟，选择顶叶至脚叶的二分之一部位烟叶，在上午 9:00–12:00 使用便携式光合测定仪（Li-6400，美国 LI-COR 公司）测定叶片净光合速率（ P_n ）、气孔导度（ G_s ）、胞间 CO₂ 浓度（ C_i ）和蒸腾速率（ T_r ）^[14]。参照李合生^[15]的方法测定叶绿素含量。

1.4.2 碳氮代谢相关酶活性 选择顶叶至脚叶的二分之一部位烟叶，使用北京索莱宝科技有限公司生产试剂盒测定硝酸还原酶（NR）和谷氨酰胺合成酶（GS）活性，采用 3,5-二硝基水杨酸比色法^[16]测定转化酶（INV）和淀粉酶（AM）活性。每个处理测定 5 株，并计算平均值。

1.4.3 常规化学成分 每个处理选取烤后 C3F 烟叶，采用连续流动分析法按照 YC/T 159-2019^[17]测定烟叶总糖和还原糖含量，分别参照 YC/T 161-2002^[18]、YC/T 468-2013^[19]、YC/T 217-2007^[20]、YC/T 162-2011^[21]测定总氮、烟碱、钾和氯含量。

1.4.4 中性致香物质 采用蒸馏萃取法提取香味物质，使用 6890N/5975N 型（美国 Agilent 公司）按照文献^[22]进行 GC-MS 分析。

1.4.5 感官质量 将烤后烟叶切丝卷烟，由河南农业大学烟草风味与功能表征团队进行评吸打分。

1.4.6 经济性状 由当地技术人员对烤后烟叶分级，按照当地烟站收购等级和价格统计等级结构和均价，计算产量和产值。

1.5 数据处理

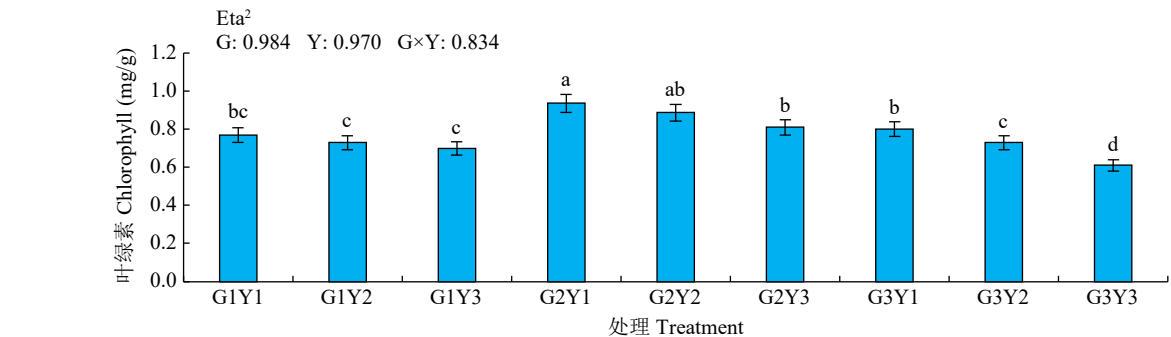
使用 SPSS 19.0 采用 Duncan 法在 $P<0.05$ 水平上进行显著性分析，使用 Excel 进行数据整理和图表绘制。同时，引入偏 Eta² 值比较不同处理对各测定指标的贡献率，当 $0.01<Eta^2\leq 0.06$ 时，表示低影响效应；当 $0.06<Eta^2\leq 0.14$ 时，表示中度影响效应；当 $Eta^2>0.14$ 时，表示强影响效应^[23]。

2 结果与分析

2.1 不同处理对烤烟光合特性及叶绿素含量的分析

由图 1 可知，烟叶叶绿素含量随着光合细菌喷施浓度的增加呈现先升后降的趋势，随着留叶数的增加呈现下降趋势，在 G2Y1 处理达到最高值，而 G2Y1 与 G2Y2 处理之间差异不显著。在 Eta² 方面，光合细菌、留叶数和两者互作对烟叶叶绿素含量均表现为强影响效应。

由图 2 可知，烟叶 P_n 、 T_r 、 G_s 随着光合细菌喷施浓度的增加呈现先升后降的趋势，随着留叶数的增加呈现下降趋势， C_i 则与之相反。当光合细菌喷施浓度为 1:300 时，以 G2Y1 处理的烟叶 P_n 、 T_r 、 G_s 指标表现最好，而 G2Y1 和 G2Y2 处理在烟叶 P_n 、 G_s 、 C_i 指标中则不存在显著性差异。在 Eta² 方面，光合细菌、留叶数和两者互作对烟叶 P_n 、 T_r 、 G_s 和 C_i 均表现为强影响效应。



不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)，下同。
Different lowercase letters indicate significant differences ($P < 0.05$), the same below.

图 1 不同处理对烤烟叶绿素含量的影响
Fig.1 Effects of different treatments on chlorophyll content of flue-cured tobacco

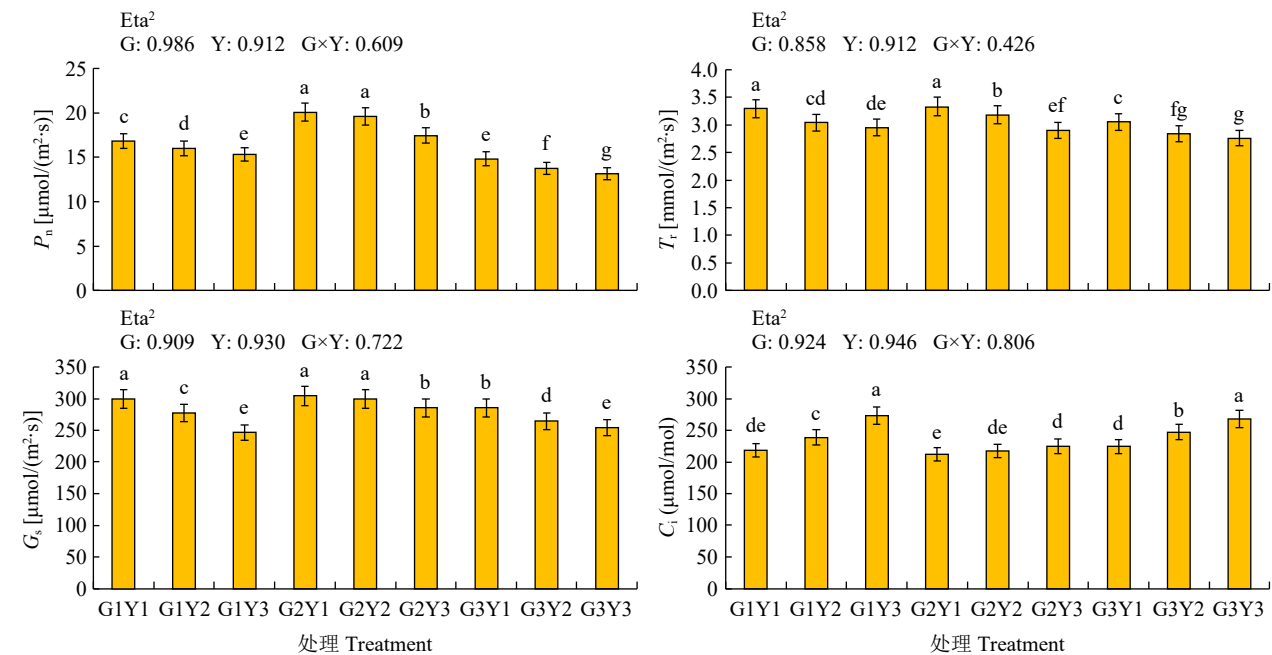


图 2 不同处理对烤烟光合参数的影响
Fig.2 Effects of different treatments on photosynthetic characteristics of flue-cured tobacco

2.2 不同处理对烤烟碳氮代谢相关酶活性的分析
由图 3 可知，NR 和 GS 活性会随着光合细菌喷施浓度的升高而升高，随着留叶数的增加而逐

渐下降，在 G3Y1 处理达到最大值。当光合细菌喷施浓度为 1:100 时，G3Y1 处理在 NR 和 GS 活性方面与 G3Y2、G3Y3 处理均存在显著性差异，

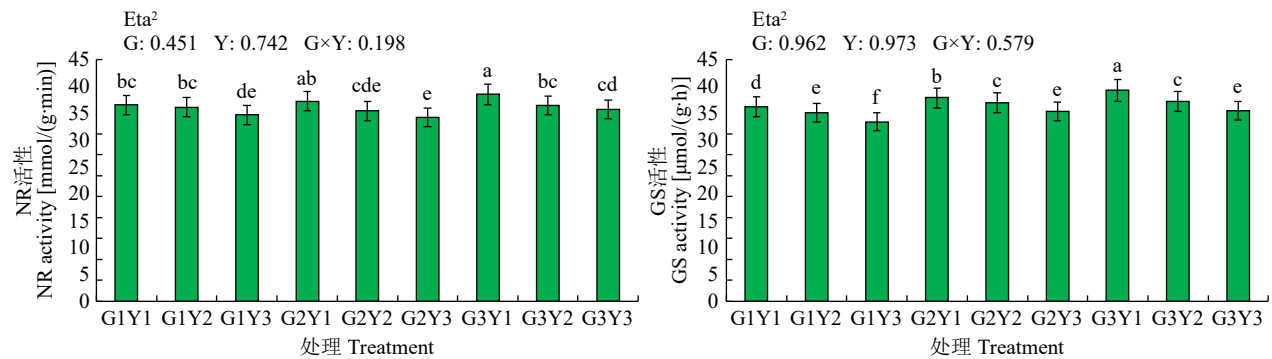


图 3 不同处理对烤烟氮代谢相关酶活性的影响
Fig.3 Effects of different treatments on activities of enzymes related to nitrogen metabolism in flue-cured tobacco

相较于 G3Y2、G3Y3 处理，G3Y1 处理 NR 和 GS 活性分别增强了 5.64%~7.88%和 5.42%~10.53%。在 Eta^2 方面，光合细菌、留叶数、光合细菌×留叶数对烤烟氮代谢相关酶活性均表现为强影响效应。

由图 4 可知，烤烟 INV、AM 活性与烤烟氮代谢相关酶活性呈现相同的变化趋势，即随着光合细菌喷施浓度的升高而升高，随着留叶数的增加

而逐渐下降。当光合细菌喷施浓度为 1:100 时，G3Y1、G3Y2、G3Y3 处理在 INV 和 AM 活性之间均存在显著性差异，相较于 G3Y2、G3Y3 处理，G3Y1 处理的 INV 和 AM 活性分别增强了 11.81%~35.45%和 3.33%~9.97%。在 Eta^2 方面，光合细菌、留叶数、两者互作对烤烟碳代谢相关酶均表现为强影响效应。

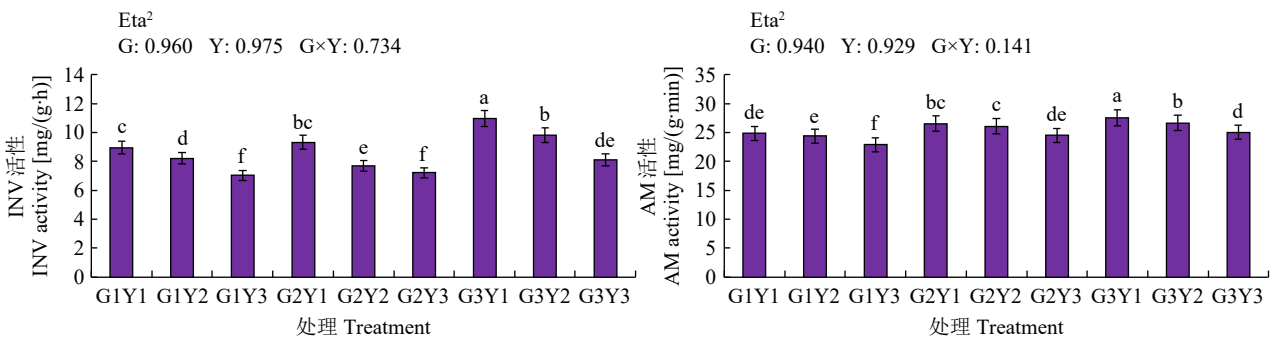


图 4 不同处理对烤烟碳代谢相关酶活性的影响

Fig.4 Effects of different treatments on enzyme activities related to carbon metabolism in flue-cured tobacco

2.3 不同处理对烤烟常规化学成分的分析

由表 2 可知，在留叶数相同时，除烟碱外，整体以光合细菌喷施浓度为 1:300 处理下烟叶的各化学成分含量最高。当光合细菌喷施浓度为 1:300 时，G2Y1、G2Y2、G2Y3 处理在烟叶总糖、还原糖、总氮含量之间均不存在显著性差异；

G2Y2 处理在烟叶钾、氯含量方面与 G2Y1、G2Y3 处理均存在显著性差异，相较于 G2Y3、G2Y1 处理，G2Y2 处理的烟叶钾和氯含量分别提高了 21.23%~23.44%和 23.08%~33.33%。在 Eta^2 方面，光合细菌和留叶数对烟叶总糖、还原糖、总氮、烟碱、钾和氯含量均为强影响效应，两者互作对

表 2 不同处理对烤烟常规化学成分的影响							%
Table 2 Effects of different treatments on conventional chemical components of flue-cured tobacco							
处理 Treatment	总糖 Total sugar	还原糖 Reducing sugar	总氮 Total nitrogen	烟碱 Nicotine	钾 Potassium	氯 Chlorine	
G1Y1	22.55bcd	21.51ab	2.13ab	2.70ab	1.81c	0.23e	
G1Y2	21.42cd	20.34bcd	1.99bc	2.82a	2.14b	0.26c	
G1Y3	20.87d	19.82dce	1.93c	2.45cd	1.81c	0.25cd	
G2Y1	24.43a	22.21a	2.19a	2.39cde	2.13b	0.26c	
G2Y2	24.29a	22.11a	2.15a	2.56bc	2.58a	0.32a	
G2Y3	24.11ab	21.01abc	2.11ab	2.33de	2.09b	0.24de	
G3Y1	22.96abc	20.29bcd	2.04abc	2.26e	1.79c	0.25cd	
G3Y2	22.02cd	19.39ce	1.98bc	2.48cd	1.83c	0.26c	
G3Y3	21.22d	18.70e	1.96c	2.21e	1.80c	0.25cd	
Eta^2 (G)	0.711	0.665	0.543	0.744	0.894	0.647	
Eta^2 (Y)	0.323	0.452	0.377	0.676	0.797	0.775	
Eta^2 (G×Y)	0.122	0.072	0.128	0.177	0.631	0.739	

同列不同小写字母表示差异显著 ($P < 0.05$)，下同。
Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P < 0.05$), the same below.

烟叶总糖、还原糖和总氮含量均为中度影响效应。

2.4 不同处理对烤烟中性致香物质的分析

由表 3 可知，烟叶类胡萝卜素降解产物和苯丙氨酸降解产物的含量随着留叶数的增加呈先升后

降的变化趋势，这 2 种降解产物均在 G2Y2 处理达到最大值。G2Y1、G2Y2 和 G2Y3 处理在烟叶类胡萝卜素降解产物方面均不存在显著性差异；G2Y2 处理在苯丙氨酸降解产物方面与 G2Y1 和 G2Y3 处

理均存在显著性差异,相较于 G2Y1 和 G2Y3 处理, G2Y2 处理的苯丙氨酸降解产物提高了 42.7%~

表 3 不同处理对烤烟中性致香物质的影响

Table 3 Effects of different treatments on aroma components of flue-cured tobacco μg/g				
处理 Treatment	类胡萝卜素 类降解产物 Carotenoid degradation products	苯丙氨酸 类降解产物 Phenylalanine degradation products	棕色化 反应产物 Browning reaction product	总量 Total amount
G1Y1	92.94e	13.81d	29.59ab	136.35d
G1Y2	100.68bc	17.03b	29.05ab	146.76bc
G1Y3	94.05de	16.63b	29.08ab	139.76cd
G2Y1	107.62a	13.17d	28.04bc	148.83ab
G2Y2	108.36a	18.95a	29.03ab	156.33a
G2Y3	106.67a	13.28d	30.03a	149.99ab
G3Y1	99.57cd	15.66c	29.16ab	144.39bcd
G3Y2	105.90ab	18.35a	27.53c	151.78ab
G3Y3	99.41cd	10.36e	26.73c	136.50d
Eta ² (G)	0.778	0.558	0.477	
Eta ² (Y)	0.456	0.966	0.062	
Eta ² (G×Y)	0.207	0.946	0.556	

43.89%。烟叶棕色化反应产物在 G2Y3 处理达到最大值, G2Y3 处理在烟叶棕色化反应产物方面与 G2Y2 处理不存在显著性差异,与 G2Y1 处理存在显著性差异,相较于 G2Y1 处理, G2Y3 处理的烟叶棕色化反应产物提高了 7.1%。在 Eta² 方面, 光合细菌、光合细菌×留叶数对烟叶类胡萝卜素降解产物、苯丙氨酸降解产物和烟叶棕色化反应产物均为强影响效应,而留叶数对烟叶类胡萝卜素降解产物、苯丙氨酸降解产物均为强影响效应,对烟叶棕色化反应产物为中度影响效应。

2.5 不同处理对烤烟感官质量的分析

由表 4 可知,各处理的感官质量得分排序为 G2Y2>G2Y1>G2Y3>G1Y2>G3Y2>G3Y1>G3Y3>G1Y3>G1Y1,整体以光合细菌喷施浓度 1:300 处理组的感官质量得分最高。在 Eta² 方面, 光合细菌、留叶数和光合细菌×留叶数对烤烟香气质、香气量、浓度、刺激性、杂气和劲头均为强影响效应,光合细菌×留叶数对烤烟余味为中度影

表 4 不同处理对烤烟感官质量的影响

Table 4 Effects of different treatments on sensory quality of flue-cured tobacco									
处理 Treatment	香气质 (0-9) Aroma quality	香气量 (0-9) Aroma quantity	浓度 (0-9) Concentration	刺激性 (0-9) Irritation	杂气 (0-9) Offensive odor	劲头 (0-9) Stiffness	余味 (0-9) Aftertaste	燃烧性 (0-9) Flammability	合计 Total
G1Y1	6.5d	5.4e	6.0d	5.5d	6.7b	5.6b	6.3ab	7.5b	49.6d
G1Y2	7.2b	6.1bc	6.3c	5.5d	6.6b	5.8b	6.4ab	7.5b	51.5bc
G1Y3	6.5d	5.5e	6.0d	5.6d	6.7b	5.6b	6.3ab	7.5b	49.8cd
G2Y1	7.2b	6.3ab	6.6b	5.8c	6.6b	5.8b	6.4ab	7.5b	52.3ab
G2Y2	7.5a	6.5a	6.8a	5.8c	6.5b	6.0a	6.5a	7.8a	53.5a
G2Y3	7.0bc	6.0cd	6.5b	5.8c	6.5b	5.8b	6.3ab	7.6ab	51.6bc
G3Y1	6.5d	5.8d	6.2c	6.0b	6.7b	5.6b	6.2bc	7.5b	50.3bcd
G3Y2	6.8c	6.0cd	6.3c	6.0b	6.7b	5.8b	6.3ab	7.5b	51.5bc
G3Y3	6.2e	5.5e	6.0d	6.2a	7.0a	5.4c	6.0c	7.5b	49.8cd
Eta ² (G)	0.933	0.859	0.894	0.918	0.485	0.658	0.382	0.203	
Eta ² (Y)	0.906	0.821	0.700	0.375	0.206	0.658	0.300	0.100	
Eta ² (G×Y)	0.491	0.467	0.182	0.286	0.285	0.229	0.087	0.182	

响效应,留叶数对烤烟燃烧性为中度影响效应。

2.6 不同处理对烤烟经济性状的分析

由表 5 可知,光合细菌喷施浓度 1:300 处理组对烤烟产量、均价及上等烟比例的提升效果最为显著。烟叶均价和上等烟比例以 G2Y1、G2Y2 处理最高,且两者不存在显著性差异;烟叶产值在 G2Y2 处理达到最高值, G2Y2 处理与 G2Y1、G2Y3 处理存在显著性差异,相较于 G2Y1、G2Y3 处理, G2Y2 处理的产值提高了 6.95%~8.70%。在 Eta² 方面, 光合细菌、留叶数和光合细菌×留叶数

对烤烟产量、产值、均价和上等烟比例均为强影响效应。

3 讨论

本研究表明,光合细菌对烟叶叶绿素含量表现为强影响效应,这与陈丽洁等^[24]、赵芮晗等^[25]在其他作物的研究结果相似。这是因为光合细菌具有合成并分泌 5-氨基乙酰丙酸物质的功能,而 5-氨基乙酰丙酸是叶绿素合成的必需前体物质,因此,光合细菌具有促进植物叶绿素合成的作用^[26]。

表 5 不同处理对烤烟经济性状的影响
Table 5 Effects of different treatments on economic traits of flue-cured tobacco

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm ²)	产值 (元/hm ²) Output value (yuan/hm ²)	均价 (元/kg) Mean price (yuan/kg)	上等烟比例 The first-class tobacco proportion (%)
G1Y1	2170.93d	60 113.05e	27.69bc	63.64bc
G1Y2	2231.93d	62 761.87cd	28.12b	64.50b
G1Y3	2403.05b	63 200.22c	26.30e	59.64e
G2Y1	2175.71d	65 836.98b	30.26a	68.47a
G2Y2	2420.21b	71 565.61a	29.57a	67.55a
G2Y3	2507.21a	66 917.43b	26.69de	60.68e
G3Y1	2203.71d	60 690.17de	27.54bcd	62.79cd
G3Y2	2313.29c	62 366.30cde	26.96cde	61.42de
G3Y3	2415.44b	63 332.84c	26.22e	57.76f
Eta ² (G)	0.759	0.771	0.814	0.874
Eta ² (Y)	0.937	0.431	0.847	0.917
Eta ² (G×Y)	0.656	0.185	0.602	0.498

贺镜元^[3]和武丽娜^[27]报道，植物叶绿素含量会随着光合细菌施用浓度的升高而升高，但是本研究却表明烟叶叶绿素含量随着光合细菌喷施浓度的提升呈先升后降的趋势，这可能是高浓度的光合细菌会导致烟叶单位面积内的菌群数量过多，菌群为争夺生存空间而相互竞争，导致菌群活性下降，对烟叶叶绿素含量的促进作用减弱。本研究表明，烟叶叶绿素含量会随着留叶数的增加而下降，这与前人^[28-29]的研究结果一致。其原因可能是高留叶数烟株的单片烟叶的养分分配要低于低留叶数烟株单片烟叶养分，养分的缺乏导致其叶绿素的合成减少。叶绿素作为植物主要的光合色素和功能物质，担负着光能的吸收、传递和转换，其含量反映了植物的光合能力^[30]。在本研究中，烟叶 P_n 、 T_r 和 G_s 随着光合细菌喷施浓度的增加呈现先升后降的趋势，随着留叶数的增加呈现下降趋势，与本试验烟叶叶绿素含量的研究结果一致。

碳氮代谢是烤烟整个生育期的重要代谢过程，其碳氮代谢过程离不开各种酶的参与，硝酸还原酶和谷氨酰胺合成酶、转化酶和淀粉酶分别作为氮代谢、碳代谢的关键参与酶，其活性的大小是衡量碳氮代谢强度的重要指标^[31]。金佳威等^[32]研究表明，烤烟打顶后随着烟株留叶数的增加，其碳氮代谢酶活性逐渐下降，这与本研究结果一致，推测留叶数的减少不仅提高了每片烟叶的营养资源分配，同时还改善了田间光照布局，增强了烟叶的光合性能，进而对烟株的碳氮代谢产生了一定的调控作用。前人^[33-34]研究发现，烟叶中碳氮代谢相关酶活性会随着施氮量的增加而有所提

高，而光合细菌内含有与固氮酶相关的基因，能够将大气中的氮转化为氨，为植物补充氮素，因此，本研究中随着光合细菌浓度的提高，其为烟株补充的氮素也会增加，烟叶中碳氮代谢相关酶活性也会随着增强。

烟叶内在化学成分及其致香物质含量是衡量烟叶质量的重要因素之一。本研究中，烟叶还原糖、总糖、总氮和钾等化学成分含量与中性致香物质含量在光合细菌喷施浓度 1:300 处理组下达到最高值，这与该浓度处理组下的烟叶光合性能强度有关。在本研究中，光合细菌喷施浓度 1:300 处理组的光合性能要强于另外 2 种浓度处理，而光合性能的增强有利于提高烟叶干物质和致香物质含量的积累，这与李国明^[35]和刘晶晶等^[36]的研究结论一致。在对烟叶中性致香物质的分析中发现，烟叶类胡萝卜素降解产物和苯丙氨酸降解产物的含量随着留叶数的增加呈先升后降的变化趋势，其原因可能是留叶数过多导致单个叶片致香物质积累不足，而适宜的留叶数有助于烟叶致香物质的积累^[37]。郑昕等^[38]研究表明，棕色化反应产物会随着留叶数的增多而增多，但本研究却发现烟叶棕色化反应产物在不同浓度光合细菌下会有不同的变化规律，造成这种现象的原因可能与光合细菌喷施浓度有关，光合细菌可以通过生物固氮的作用为烟株提供持续氮源，而适宜的氮素水平对烤烟致香物质含量具有重要影响^[39]。夏体渊等^[40]认为，致香物质含量与烟叶的香气质和香气量呈正相关关系，在本研究的感官质量评价中，光合细菌喷施浓度 1:300 处理组的香气质与香气

量得分最高,与烟叶致香物质含量研究结果一致。

烟叶主要经济性性状包括产量、产值、均价和上等烟比例等,是衡量烤烟生产水平的重要指标。本研究中,整体以光合细菌喷施浓度 1:300 处理组的烤烟经济性性状最高,这是因为该浓度下的光合细菌对烟叶光合性能增强效果最为显著,光合性能的增强能够促进烤烟生长,有利于烟叶干物质积累,进而提高烟叶产量和质量。李莞晴等^[41]和邵雪莲等^[42]研究表明,烟叶产量随着留叶数的增加而增加,但烟叶均价和上等烟比例却有所下降,这与本研究结果一致。推测是叶片数过多导致田间透光不足,叶片光合效率降低,致使烟叶质量下降。

4 结论

本研究在经过不同组合的光合细菌和留叶数的处理后,烤烟光合特性、碳氮代谢相关酶活性、烤后烟叶常规化学成分、中性致香物质及经济性性状均出现不同程度的变化。在本试验条件下,光合细菌喷施浓度 1:300 和留叶数 21 片的组合处理为烤烟生长的最佳处理。

参考文献

- [1] 胡国艺. 烟草优质高效栽培的关键技术及其把握. 现代园艺, 2017(11): 62.
- [2] 李茜, 苏国权, 危月辉, 等. 增施微生物菌肥对烤烟生长发育及烟叶品质的影响. 江苏农业科学, 2021, 49(19): 123-129.
- [3] 贺镜元. 沼泽红假单胞菌对茶树生长及茶叶品质的影响. 杨凌: 西北农林科技大学, 2023.
- [4] 李雪洁, 赵鑫, 李嘉欣, 等. 光合细菌在环境领域的研究与应用进展. 环境科学与管理, 2016, 41(10): 32-35.
- [5] 吴向华, 杨启银, 刘五星, 等. 光合细菌的研究进展及其应用. 中国农业科技导报, 2004(2): 35-38.
- [6] 张信娣, 史永军, 陈银科. 光合细菌和有机肥对土壤主要微生物类群的影响. 中国土壤与肥料, 2007(3): 59-62.
- [7] 王慧娟, 付小兰, 刘祥丽. 光合细菌在农业生产上的应用研究进展. 安徽农学通报, 2013, 19(4): 26-27, 42.
- [8] 苏品, 张德咏, 张卓, 等. 光合细菌的农用微生物功能解读. 中国生物防治学报, 2021, 37(1): 30-37.
- [9] 梁桂广, 陈克玲, 韦建玉, 等. 施氮量与留叶数互作对南平烟区‘翠碧 1 号’生长及烟叶质量的影响. 中国农学通报, 2023, 39(27): 29-35.
- [10] 侯冰清, 邢雪霞, 赵磊, 等. 密度、施氮量和留叶数对烤烟产质量的影响. 山东农业科学, 2015, 47(9): 46-51, 55.
- [11] 贺广生, 杨盼盼, 杨芳, 等. 高效光合细菌菌剂对番茄和土壤肥力的影响. 广东农业科学, 2015, 42(1): 56-60, 72.
- [12] 罗路云. 沼泽红假单胞菌 PSB06 调控根际微生态环境促进辣椒苗期生长发育. 长沙: 湖南农业大学, 2022.
- [13] 葛红莲, 赵怀松. 复合光合菌剂 PS21 不同施用方法对黄瓜幼苗生长的影响. 南方农机, 2017, 48(4): 5-6.
- [14] 李再军, 彭克勤, 王少先, 等. 烤烟配方肥增效剂对烤烟光合作用的影响初探. 中国农学通报, 2005(7): 252-254, 272.
- [15] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社, 2000.
- [16] 陈富彩. 外源 GA₃ 和 IAA 对烤烟上部叶碳氮代谢及品质的影响. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [17] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 水溶性糖的测定连续流动法: YC/T 159-2019. 北京: 中国标准出版社, 2019.
- [18] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 总氮的测定连续流动法: YC/T 161-2002. 北京: 中国标准出版社, 2002.
- [19] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 总植物碱的测定 连续流动(硫氰酸钾)法: YC/T 468-2013. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [20] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 钾的测定 连续流动法: YC/T 217-2007. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [21] 国家烟草专卖局. 烟草及烟草制品 氯的测定 连续流动法: YC/T 162-2011. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [22] 李京鑫, 何力, 孙觅, 等. 润叶参数对烟叶香味物质的影响. 食品与机械, 2022, 38(5): 191-201.
- [23] 刘峰峰, 吴明, 周迎辉, 等. 生长素与钼配施对烤烟上部叶生理代谢及品质的影响. 中国农业科技导报, 2024, 26(2): 208-215.
- [24] 陈丽洁, 苏品, 张卓, 等. 一株耐盐类球红细菌的分离鉴定及其对不同作物的促生作用. 南方农业学报, 2019, 50(5): 964-973.
- [25] 赵芮晗, 张欢, 卢海凤, 等. 追施光合细菌与猪场粪污对生菜生长效果的研究. 河南农业大学学报, 2020, 54(5): 786-792.
- [26] 成飞雪. 光合细菌代谢产物 5-氨基乙酰丙酸杀线虫作用及其机理研究. 长沙: 湖南农业大学, 2011.
- [27] 武丽娜. 光合细菌对水培黄瓜苗期生长的影响. 安徽农业科学, 2012, 40(11): 6409-6410, 6477.
- [28] 陈颐, 鲁康兴, 周彬, 等. 施氮量和留叶数互作对红大鲜烟叶素质及产量的影响. 江苏农业科学, 2018, 46(19): 0-84.
- [29] 王凯. 种植密度和留叶数对巫山烤烟光合特性和产质量的影响研究. 重庆: 西南大学, 2014.
- [30] 魏晓凯, 景延秋, 何估弦, 等. 外源亚精胺对烤烟幼苗干旱胁迫的缓解效应研究. 作物杂志, 2022(3): 143-148.
- [31] 李健忠, 薛立新, 朱金峰, 等. 打顶后喷施油菜素内酯和生长素对烤烟田间生长、碳氮代谢及烟叶品质的影响. 中国生态农业学报, 2015, 23(11): 1404-1412.
- [32] 金佳威, 刘咏艳, 王惠, 等. 施氮量和留叶数对烤烟 LY1306 上部叶生理特性及产质量的影响. 山东农业科学, 2023, 55(4): 56-64.
- [33] 黄佳, 李信, 王子一, 等. 种植密度和施氮量对烤烟碳氮代谢关键酶及品质的影响. 江苏农业科学, 2023, 51(9): 82-88.
- [34] 高琴, 刘国顺, 李姣, 等. 不同氮肥水平对烤烟质体色素和碳氮代谢及品质的影响. 河南农业大学学报, 2013, 47(2): 138-142.
- [35] 李国明. 上部烟叶光合及碳氮代谢机理与调控措施研究. 贵阳: 贵州大学, 2023.
- [36] 刘晶晶, 崔光周, 段旺军, 等. 生态因素影响烟草香味特征的研究进展. 河南农业科学, 2023, 52(2): 1-11.
- [37] 赵辉, 赵铭钦, 程玉渊, 等. 不同密度和留叶数对烤烟质体色素及其降解产物的影响. 江苏农业学报, 2010, 26(1): 46-50.
- [38] 郑听, 史宏志, 杨兴有, 等. 施氮量与留叶数对万源晒红烟产质量和香气成分的影响. 中国烟草科学, 2018, 39(1): 49-56.
- [39] 贾保顺, 王念磊, 符云鹏, 等. 氮素对不同烤烟品种化学品质及中性致香物质的影响. 山东农业科学, 2017, 49(3): 83-88.

[40] 夏体渊, 王焱, 陈兴位, 等. 不同烤烟品种留叶数对烤烟产量、化学成分、评吸质量的影响. 西南农业学报, 2017, 30(3): 681-685.

[41] 李莞晴, 付茂辉, 贺国强, 等. 种植密度和留叶数对烤烟品种

龙江 911 生长、光合特性及产质量的影响. 浙江农业科学, 2023, 64(5): 1251-1257.

[42] 邵雪莲, 刘润生, 曾浩, 等. 不同打顶时间及留叶数对云烟 87 产质量的影响. 农业科技通讯, 2017(6): 130-134.

Effects of Interaction between Photosynthetic Bacteria and the Number of Retained Leaves on Physiological Metabolism, Chemical Quality, Yield and Quality of Flue-Cured Tobacco

Wei Mengyang¹, Luo Zhenbao², He Shuai², Ma Qian², Ma Guankai²,
Xi Feihu¹, Luo Dongsheng¹, Jing Yanqiu¹, Yu Qiwei², Wang Maoxian²

(¹College of Tobacco, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450046, Henan, China;

²Bijie Branch of Guizhou Provincial Tobacco Company, Bijie 551700, Guizhou, China)

Abstract In order to explore the effects of the interaction between photosynthetic bacteria and the number of retained leaves on the physiology, biochemistry, yield and quality of flue-cured tobacco, ‘Yunyan 87’ was used as the test material in this study, and a two-factor split-plot experiment (photosynthetic bacteria concentration: 1:500, 1:300, 1:100; the leaf retention number: 19, 21, 23 leaves) was conducted to study the effects of the two and their interaction on photosynthetic characteristics, carbon and nitrogen metabolism characteristics, chemical composition and economic traits of flue-cured tobacco. The results showed that the concentration of photosynthetic bacteria was the main effect factor. At the concentration of 1:300, the chlorophyll content of tobacco leaves was significantly increased, and the formation of degradation products such as carotenoids and phenylalanine was promoted. The sensory quality and economic performance were also better. Compared with the other treatments, the chlorophyll content of the treatment with photosynthetic bacteria spraying concentration of 1:300 and 21 retained leaves increased by 21.47%, the neutral aroma content increased by 4.23%-5.04%, the output value increased by 6.95%-8.70%, the proportion of first-class tobacco increased by 3.05%-6.13%, and the sensory quality score was the highest. In summary, the treatment with photosynthetic bacteria spraying concentration of 1:300 and 21 retained leaves can better improve the quality of tobacco leaves, optimize the grade structure, and improve economic benefits.

Key words Photosynthetic bacteria; Number of retained leaves; Flue-cured tobacco; Yield; Quality