网络出版时间:2026-03-13 DOI:10.13207/j.jnwafu.2026.09.013

箭筈豌豆翻压配合减氮对雪茄烟生长及品质的影响

王海云[1],马英姿[1],樊士军[2],陈玉[3],李宏光[3]

(1 中南林业科技大学 生命科学与技术学院,湖南 长沙 410004;2 湖南省烟草公司郴州市公司安仁县分公司,湖南 郴州 423600;
3 湖南省烟草公司郴州市公司资兴市分公司,湖南 郴州 423400)

[摘 要] 【目的】探究箭筈豌豆作为绿肥翻压还田配合减氮对雪茄烟生长发育及烟叶品质的影响。【方法】以当地主栽烟草茄衣品种QX105为试验材料,在湖南资兴开展大田试验,以常规施肥休耕为对照(CK),在翻压箭筈豌豆的基础上,设置常规施肥(W0)、减氮10%(W1)和减氮20%(W2)3个处理,测定不同处理对烟田土壤理化性质,烟株农艺性状、叶片组织结构及晾制烟叶化学成分的影响。【结果】①与CK相比,箭筈豌豆翻压处理显著降低烟苗移栽前土壤体积质量和pH,促进土壤钾、磷等养分释放。烟草成熟期各处理对土壤养分的影响存在差异,与CK相比,W0处理显著提高了土壤有机质、速效磷和速效钾含量;W1处理土壤有机质和速效养分含量均显著增加,pH显著提升至5.24;W2处理则显著提高了土壤碱解氮和速效磷含量。②箭筈豌豆翻压处理均可促进雪茄烟的生长发育并保证正常成熟落黄。减施10%氮肥(W1处理)并未影响雪茄烟生长发育,且成熟期烟株的最大叶长、最大叶宽和最大叶面积分别较CK显著增加了15.43%,8.88%和25.79%。③与CK相比,W0和W1处理烟株团棵期及旺长期叶绿素含量(SPAD值)显著提升,增强了雪茄烟早期的光合能力,而适量减氮(W1)则使烟叶叶绿素在成熟期适时降解。④叶片组织结构分析结果显示,与CK相比,W0处理叶片厚度和侧脉横截面积显著增加;W1处理叶片厚度并无显著差异,栅海比提高16.67%;W2处理则显著降低了烟叶侧脉横截面积。⑤随着施氮水平的降低,箭筈豌豆翻压处理烟叶总糖及还原糖含量呈现先升后降趋势,总氮及烟碱含量则随着施氮量的降低而下降。W1处理总糖、还原糖含量和糖碱比分别较CK提高26.67%,25.43%和14.29%。【结论】箭筈豌豆翻压可有效改良土壤结构、提升土壤有效养分含量,配合减施10%氮肥(W1)能在保持烟株农艺性状优势的同时,改善叶片组织结构及化学成分协调性,为实现雪茄烟绿色高效生产提供可行措施。

[关键词] 箭筈豌豆;雪茄烟;减氮施肥;土壤改良;烟草栽培

[中图分类号] S572.044 [文献标志码] A [文章编号] 1671-9387(2026)09-0132-09

Effects of *Vicia sativa* incorporation with nitrogen reduction on growth and quality of cigar tobacco

WANG Haiyun[1],MA Yingzi[1],FAN Shijun[2],CHEN Yu[3],LI Hongguang[3]

(1 *College of Life Science and Technology,Central South University of Forestry and Technology,Changsha,Hunan* 410004,*China*;
2 *Anren County Branch of Chenzhou Branch,Hunan Provincial Tobacco Company,Chenzhou,Hunan* 423600,*China*;
3 *Zixing County Branch of Chenzhou Branch,Hunan Provincial Tobacco Company,Chenzhou,Hunan* 423400,*China*)

Abstract:【Objective】This study investigated the effects of *Vicia sativa* green manure incorporation combined with nitrogen reduction on the growth and leaf quality of cigar tobacco.【Method】A field experiment was

[收稿日期] 2025-08-02 [修回日期] 2025-10-18
[基金项目] 湖南省烟草公司郴州市公司科研项目(CZYC2023JS04)
[作者简介] 王海云(2000—),女,安徽宿州人,在读硕士,主要从事植物学研究。E-mail:wanghaiyun00724@163.com
[通信作者] 马英姿(1967—),女,湖南长沙人,教授,博士,硕士生导师,主要从事植物学研究。E-mail:ma_yingzi@163.com
樊士军(1986—),男,黑龙江佳木斯人,硕士,主要从事烟草生产研究。E-mail:511480281@qq.com

conducted in Zixing, Hunan Province, using the local wrapper tobacco cultivar QX105 as the test material. With conventional fertilization as the control, based on the incorporation of *Vicia sativa* as green manure, three treatments were established: conventional fertilizer application (W0), 10% nitrogen reduction (W1), and 20% nitrogen reduction (W2). The effects of these treatments on soil physicochemical properties, agronomic traits, leaf tissue structure, and chemical composition of air-cured tobacco leaves were measured. 【Result】 ① Compared with CK, the incorporation of *Vicia sativa* significantly reduced soil bulk density and pH before transplanting and facilitated the release of key nutrients such as potassium and phosphorus. At maturity, the effects on soil nutrients varied among treatments. Compared with CK, W0 treatment significantly increased the content of soil organic matter, available phosphorus, and available potassium. W1 treatment significantly enhanced the content of soil organic matter and all available nutrients, while raising the pH to 5.24. W2 treatment markedly increased the content of alkali-hydrolyzable nitrogen and available phosphorus. ② The incorporation of *Vicia sativa* treatments promoted cigar tobacco growth and proper ripening. W1 treatment with a 10% reduction in nitrogen fertilizer did not impede plant growth and development. Compared with the control (CK), the maximum leaf length, maximum leaf width, and maximum leaf area of mature plants increased significantly by 15.43%, 8.88%, and 25.79%, respectively. ③ Compared with CK, the W0 and W1 treatments significantly increased SPAD values during the stem elongation and vigorous growth stages, enhancing early photosynthetic capacity in tobacco plants. Meanwhile, the moderate nitrogen reduction (W1) facilitated timely chlorophyll degradation in tobacco leaves at maturity. ④ Analysis of leaf tissue structure showed that the W0 treatment significantly increased leaf thickness and the cross-sectional area of the lateral veins. The W1 treatment showed no significant difference in leaf thickness, while the palisade-to-spongy mesophyll ratio increased by 16.67%. The W2 treatment significantly reduced the cross-sectional area of the lateral veins in tobacco leaves compared with CK. ⑤ With the decrease in nitrogen application, the contents of total sugars and reducing sugars in tobacco leaves under the *Vicia sativa* incorporation treatment first increased and then decreased, whereas the contents of total nitrogen and nicotine declined progressively. Compared with CK, the W1 treatment increased total sugar and reduced sugar contents by 26.67% and 25.43%, respectively, and raised the sugar-to-nicotine ratio by 14.29%. 【Conclusion】 The incorporation of *Vicia sativa* effectively improved soil structure and increased available nutrient content. When combined with a 10% nitrogen reduction (W1), it maintained superior agronomic features, improved leaf tissue structure, and enhanced the balance of chemical components in cigar tobacco. This combination provided a feasible approach for achieving green and efficient cigar tobacco production.

Key words: *Vicia sativa*; cigar tobacco; nitrogen reduction fertilization; soil improvement; tobacco cultivation

雪茄烟是一种特殊的烟草制品，其因烟气强度高、香气特征复杂醇厚，且焦油与烟碱含量显著低于传统卷烟，深受部分消费者欢迎[1-2]。然而雪茄烟需肥量高，长期连作导致的化肥施用过量、土壤酸化和板结及氮素利用率低等问题严重制约了其产量与感官品质[3-4]。

作为优质的生物肥源和综合改良土壤的有效生物措施，绿肥富含有机质、氮、磷、钾及多种微量元素。绿肥发达的根系有助于固定养分、改善土壤结构，翻压腐解可显著提高其养分利用效率[5-6]。已有研究表明，绿肥还田可改善连作烟田土壤的真菌群落结构，显著提升土壤有效养分含量，增强烤烟的光合特性，进而提高产量[7]。另有研究证实，绿肥处理可提升雪茄烟的整体感官质量，实现增值增产[8]。绿肥在其他作物系统中也显示出良好效果。袁贵林等[9]研究发现，小麦收获后混播毛苕子与箭筈豌豆作绿肥，可有效代替氮肥，促进小麦对氮素的吸收与利用；王吕等[10]研究发现，在猕猴桃果园翻压箭筈豌豆可减少果树萌芽展叶期化学氮肥和钾肥的施用量；卢明等[11]研究发现，优化施肥条件下种植绿肥能够高效固碳培肥，减少活性氧损失，并增加青花椒干物质累积，实现高效绿色生产。

已有研究发现，不同种类绿肥对土壤养分转化、后茬作物养分吸收以及产量的影响存在差异。豆科绿肥因其较强的固氮能力，对增加土壤氮素、提高土壤肥力具有重要作用，其还田后植株残体分

解产生的矿质氮还可促进后茬作物氮素吸收[12]。箭筈豌豆(*Vicia sativa*)是一种与根瘤菌共生的豆科植物,具有发达的根系、丰富的根瘤以及较强的固氮能力,可显著提高土壤有机质和速效钾含量,改善土壤团粒结构,为雪茄烟的根系发育和养分吸收提供重要支持[13]。

绿肥种植和翻压后的效果受多重因素影响,各烟叶产区的不同气候和土壤条件存在差异,不同绿肥种类的适宜性也不尽相同。我国雪茄烟生产起步相对较晚,利用绿肥改良植烟土壤及雪茄烟品质的相关研究尚较为缺乏。本研究通过大田试验,分析比较箭筈豌豆翻压配合减氮对烟田土壤理化性质、雪茄烟农艺性状、烟叶显微结构及化学成分的影响,以期为雪茄烟的绿色生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况与供试材料

试验于2023－2024年在湖南省资兴市州门司镇黄旗洞村(26°10′ N,113°54′ E)进行。供试土壤基本理化性质为:pH 5.56,有机质含量35.48 g/kg,全氮含量1.84 g/kg,全钾含量18.83 g/kg,全磷含量0.56 g/kg,碱解氮含量161.02 mg/kg,速效磷含量23.85 mg/kg,速效钾含量273.53 mg/kg。供试雪茄烟品种为当地主栽茄衣品种QX105,由资兴市烟草公司提供。

1.2 试验设计

试验共设4个处理,分别为CK(冬闲休耕＋常规施肥)、W0(箭筈豌豆翻压＋常规施肥)、W1(箭筈豌豆翻压＋减施10%氮肥)和W2(箭筈豌豆翻压＋减施20%氮肥),各处理随机区组排列,每个处理重复3次,单个小区面积45 m^2(长10 m,宽4.5 m)。箭筈豌豆于2023年10月中旬播种,生长期间不施肥。2024年3月初收获并翻耕入土、起垄,翻压生物量为32 000 kg/hm^2,含水率86.33%。腐解至4月初移栽烟苗,行距1.2 m。雪茄烟常规施肥总量为N 218 kg/hm^2,P_2O_5 45 kg/hm^2,K_2O 524 kg/hm^2,减施氮肥处理(W1和W2)分别按常规施氮量的90%(196 kg/hm^2)和80%(174 kg/hm^2)施用,磷、钾肥施用量与常规施肥一致。所有处理均采用基肥与追肥结合方式,基肥于烟苗移栽前15 d施用,包含全部磷肥、45%氮肥(N)和30%钾肥(K_2O);剩余的氮肥和钾肥分3次追施,分别于移栽后10 d(氮肥15%,钾肥10%)、20 d(氮肥30%,钾肥20%)及30 d(氮肥10%,钾肥40%)施用,其他田间栽培措施均按当地规范统一进行。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 土壤理化性质 分别于雪茄烟移栽前(未施肥)及成熟期,用环刀法测定土壤体积质量,五点取样法采集0～20 cm土层土样,剔除植物残体等杂质,自然风干后用于测定相关理化性质。pH用酸度计电位法测定,水土体积比为1∶2.5;有机质含量采用重铬酸钾外加热法测定;碱解氮含量采用碱解扩散法测定;速效磷含量采用0.5 mol/L碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定;速效钾含量采用1 mol/L醋酸铵提取-火焰光度法测定。

1.3.2 农艺性状调查及测定 在烟株团棵期、旺长期和成熟期,分别选取可代表本处理长势的5株烟株挂牌标记,参照YC/T 142－2010标准方法测定株高、茎围、有效叶数、最大叶长和最大叶宽,计算最大叶面积。最大叶面积(cm^2)＝最大叶长×最大叶宽×0.634 5。

1.3.3 叶绿素含量(SPAD值)测定 在烟株团棵期、旺长期和成熟期,分别采用SPAD-502便携式叶绿素测定仪测定各处理上、中、下部叶的SPAD值。以主脉将烟叶分为2个叶面,选取距叶缘3 cm处为测定点,分别沿着叶尖、叶中和叶基测定SPAD值,检测时避开叶脉、病斑等,取6处的平均值作为该叶片的SPAD值。

1.3.4 组织结构观察 在烟株成熟期,选取大田烟叶长势及叶片成熟度一致的烟株,采收中下部烟叶,取叶片相同位置(第6～8条侧脉之间,剪取0.5 cm×0.5 cm)的小块若干,置于FAA固定液中固定,抽气保存。采用石蜡制片法制成永久切片,显微镜拍照。通过Image Pro Plus软件,分别测定侧脉横截面积、叶片厚度、栅栏组织厚度及海绵组织厚度等指标,每个处理选取3个切片,每个切片观察3个视野。

1.3.5 化学成分测定 按小区采收烟叶,将烟叶穿上杆后挂入标准化晾房内进行晾制,取3片晾制后的中部烟叶样品,依据YC/T 159－2002、YC/T 173－2003、YC/T 34－1996、NY/T 2017－2011、YC/T162－2002以及LY/T 1270－1999等方法检测晾制后各处理烟叶的总糖、还原糖、烟碱、总氮、氯离子和钾离子含量等常规化学成分,并计算糖碱比(总糖含量/烟碱含量)、氮碱比(总氮含量/烟碱含量)和钾氯比(钾离子含量/氯离子含量)。

1.4　数据处理与分析

试验数据采用 Microsoft Excel 2019 处理。采用SPSS 26.0软件进行统计分析，用LSD法比较处理间的差异显著性（$P<0.05$）。采用 GraphPad Prism 9.5软件绘图。图表中所有数据均以“平均值±标准差”表示。

2　结果与分析

2.1　箭筈豌豆翻压配合减氮对植烟土壤理化性质的影响

雪茄烟移栽前土壤理化性质分析结果（表1）表明：与CK相比，箭筈豌豆翻压（W）处理土壤理化性状得到显著改善，土壤体积质量显著降低了17.39%，通透性增强；土壤有机质及速效养分含量全面提升，其中碱解氮、速效磷、速效钾含量分别显著提高了32.78%，78.57%和90.82%。表明箭筈豌豆翻压可有效改良土壤结构并增加土壤养分含量。此外，与CK相比，箭筈豌豆翻压（W）处理土壤pH显著下降，推测可能是箭筈豌豆腐解过程中促进了微生物活动，从而释放了有机酸。

雪茄烟成熟期土壤理化性质分析结果（表2）显示，与CK相比，W1处理土壤pH显著升高，表明适当减氮可缓解因绿肥腐解及化学肥料施加引起的土壤酸化。箭筈豌豆翻压各处理（W0、W1和W2）对土壤养分含量的影响存在差异。与CK相比，W0处理显著提高了土壤有机质、速效磷和速效钾含量；W1处理对土壤速效养分含量的提升最为全面，土壤碱解氮、速效磷和速效钾含量分别显著提升了47.79%，65.54%和88.15%；W2处理土壤碱解氮及速效磷含量显著提升，但速效钾含量与CK无显著差异，这可能与过高的减氮比例影响了土壤钾素的转化或作物吸收有关。

表1　雪茄烟移栽前各处理土壤理化性质

Table 1　Soil physicochemical properties under different treatments before cigar tobacco transplanting

处理 Treatment	体积质量/(g·cm^{-3}) Bulk density content	pH	有机质含量/(g·kg^{-1}) Organic matter content	碱解氮含量/(mg·kg^{-1}) Hydrolyze nitrogen content	速效磷含量/(mg·kg^{-1}) Available phosphorus content	速效钾含量/(mg·kg^{-1}) Available potassium content
CK	1.38±0.03 a	5.56±0.03 a	35.48±0.28 b	161.02±5.57 b	23.85±2.09 b	273.53±1.08 b
W	1.14±0.03 b	5.18±0.04 b	45.37±1.76 a	213.80±8.91 a	42.59±5.09 a	521.94±2.34 a

注：CK. 常规施肥休耕；W. 箭筈豌豆翻压。同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著（$P<0.05$）。下同。

Note: CK. Conventional fertilization with fallow; W. *Vicia sativa* incorporation. Different lowercase letters in the same column indicate significant differences between treatments ($P<0.05$). The same below.

表2　箭筈豌豆翻压配合减氮对雪茄烟成熟期土壤理化性质的影响

Table 2　Effects of *Vicia sativa* incorporation with nitrogen reduction on soil properties at cigar tobacco maturity

处理 Treatment	pH	有机质含量/(g·kg^{-1}) Organic matter content	碱解氮含量/(mg·kg^{-1}) Hydrolyze nitrogen content	速效磷含量/(mg·kg^{-1}) Available phosphorus content	速效钾含量/(mg·kg^{-1}) Available potassium content
CK	4.83±0.07 b	47.88±0.47 b	182.99±12.34 b	74.96±5.25 d	785.13±9.09 c
W0	4.88±0.04 b	53.61±1.88 a	202.75±14.18 b	98.06±4.33 c	1 042.29±47.42 b
W1	5.24±0.03 a	55.05±0.26 a	270.44±10.40 a	124.09±4.63 b	1 477.26±17.52 a
W2	4.89±0.04 b	46.60±0.05 b	284.71±12.42 a	146.67±2.14 a	743.27±20.53 c

注：CK. 常规施肥休耕；W0. 箭筈豌豆翻压＋常规施肥；W1. 箭筈豌豆翻压＋减氮10%；W2. 箭筈豌豆翻压＋减氮20%。下同。

Note: CK. Conventional fertilization with fallow; W0. *Vicia sativa* incorporation and conventional fertilization; W1. *Vicia sativa* incorporation and 10% reduction of nitrogenous fertilizer; W2. *Vicia sativa* incorporation and 20% reduction of nitrogenous fertilizer. The same below.

2.2　箭筈豌豆翻压配合减氮对雪茄烟农艺性状的影响

团棵期雪茄烟农艺性状测定结果（表3）表明，与CK相比，W0、W1和W2处理雪茄烟的株高及有效叶数显著提高，分别提高了18.78%～31.47%和38.10%～45.24%；W0处理雪茄烟的株高、茎围、最大叶长、最大叶宽、最大叶面积和有效叶数均显著增加。表明箭筈豌豆翻压可为团棵期雪茄烟生长提供有效养分，充分满足其前期生物量快速积累的需求，并促进叶原基分化及叶片形态建成。

旺长期雪茄烟农艺性状测定结果（表4）表明，与CK相比，箭筈豌豆翻压处理（W0、W1和W2）雪茄烟的茎围及有效叶数无显著差异，但株高、最大叶长和最大叶面积分别显著提高了3.95%～11.67%，7.14%～12.30%和11.45%～19.60%。与W0处理相比，W1、W2处理雪茄烟在除株高外的其他农

艺性状指标上并无显著差异。表明箭筈豌豆腐解释放的养分能够有效促进旺长期雪茄烟的营养生长,且在减施氮肥10%～20%的情况下,其促进效果与常规施肥相当,说明箭筈豌豆翻压可在保证烟株正常生长的同时实现减氮栽培。

由表5可知,在烟株成熟期,箭筈豌豆翻压各处理雪茄烟的株高和有效叶数均显著高于CK,增幅分别为9.22%～11.43%和10.53%～15.79%。与CK相比,W1处理雪茄烟的最大叶长、最大叶宽和最大叶面积分别显著增加了15.43%,8.88%和25.79%。结果表明,箭筈豌豆翻压配合减氮10%(W1处理)更能有效地促进雪茄烟叶片的物质积累与形态生长。

表3 箭筈豌豆翻压配合减氮对团棵期雪茄烟农艺性状的影响

Table 3 Effects of *Vicia sativa* incorporation with nitrogen reduction on agronomic traits of cigar tobacco at the stem elongation stage

处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎围/cm Stem girth	最大叶长/cm Maximum leaf length	最大叶宽/cm Maximum leaf width	最大叶面积/cm^2 Maximum leaf area	有效叶数/片 Number of effective leaves
CK	39.40±5.77 b	4.20±0.67 b	33.20±1.25 b	20.10±1.98 b	424.42±54.83 b	8.40±0.89 b
W0	51.80±3.96 a	5.50±0.35 a	39.30±2.39 a	24.00±2.00 a	599.79±75.42 a	12.20±1.48 a
W1	48.70±2.59 a	5.20±0.76 a	37.20±2.16 ab	21.40±1.08 b	505.53±45.76 ab	11.80±1.30 a
W2	46.80±2.39 a	4.80±0.27 ab	36.10±5.42 ab	19.50±1.66 b	449.51±94.65 b	11.60±0.55 a

表4 箭筈豌豆翻压配合减氮对旺长期雪茄烟农艺性状的影响

Table 4 Effects of *Vicia sativa* incorporation with nitrogen reduction on agronomic traits of cigar tobacco at the vigorous growth stage

处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎围/cm Stem girth	最大叶长/cm Maximum leaf length	最大叶宽/cm Maximum leaf width	最大叶面积/cm^2 Maximum leaf area	有效叶数/片 Number of effective leaves
CK	111.40±4.10 c	7.00±0.61 a	50.40±1.41 b	30.20±0.84 b	965.71±33.16 b	14.20±1.30 a
W0	121.00±3.16 a	7.30±0.45 a	54.00±2.12 a	31.60±1.34 ab	1 081.82±38.50 a	15.20±1.30 a
W1	124.40±2.30 a	7.70±0.97 a	56.60±3.36 a	32.10±1.67 a	1 154.98±122.21 a	14.60±1.67 a
W2	115.80±3.11 b	7.20±0.71 a	54.20±2.28 a	31.30±0.80 ab	1 076.24±49.58 a	14.40±0.55 a

表5 箭筈豌豆翻压配合减氮对成熟期雪茄烟农艺性状的影响

Table 5 Effects of *Vicia sativa* incorporation with nitrogen reduction on agronomic traits of cigar tobacco at the maturity stage

处理 Treatment	株高/cm Plant height	茎围/cm Stem girth	最大叶长/cm Maximum leaf length	最大叶宽/cm Maximum leaf width	最大叶面积/cm^2 Maximum leaf area	有效叶数/片 Number of effective leaves
CK	117.20±0.92 b	8.00±0.35 a	55.10±1.95 b	33.80±0.84 b	1 181.50±45.66 b	15.20±0.84 b
W0	130.60±3.21 a	8.70±0.84 a	60.40±3.05 a	34.00±1.41 b	1 304.79±114.40 b	17.20±0.84 a
W1	130.00±1.87 a	8.70±1.04 a	63.60±2.97 a	36.80±2.49 a	1 486.25±141.77 a	17.60±0.55 a
W2	128.00±5.00 a	8.50±1.06 a	59.20±5.17 ab	35.40±1.82 ab	1 330.29±143.83 ab	16.80±1.48 a

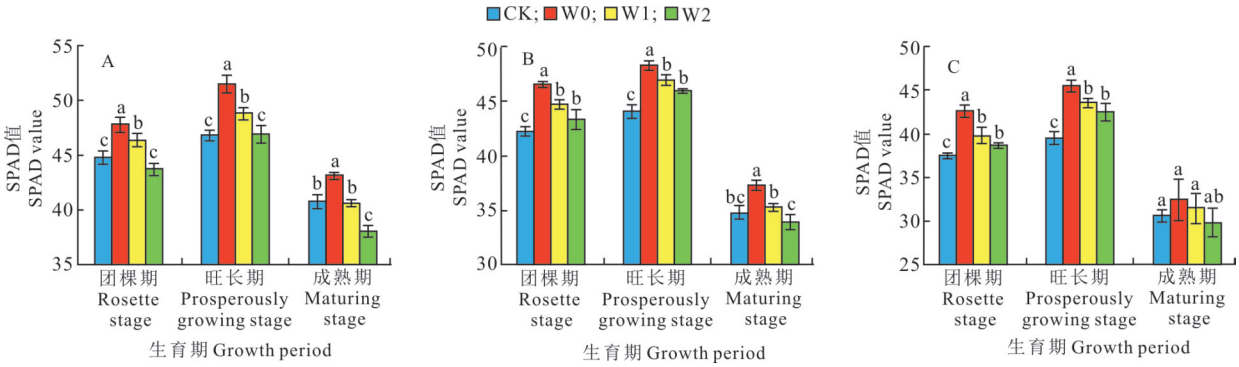
2.3 箭筈豌豆翻压配合减氮对雪茄烟叶SPAD值的影响

图1显示,在烟株生育期内烟叶SPAD值在不同处理间均呈先升后降趋势,以W1处理最高,且均表现为上部叶>中部叶>下部叶,这与前人的研究结论[14]一致。与CK相比,W0和W1处理在团棵期和旺长期不同叶位烟叶的SPAD值均显著提升;W2处理中、下部叶SPAD值在旺长期分别显著提高了3.46%和5.78%,表明箭筈豌豆翻压可显著增强烟株生长早期的光合能力。在成熟期,W0处理上、中部叶的SPAD值仍显著高于CK,这可能与箭筈豌豆腐解持续释放氮素有关,致使雪茄烟叶仍保持较高的叶绿素水平;W1处理各叶位的SPAD值均与CK无显著差异,表明箭筈豌豆翻压结合减施氮肥有利于烟叶在成熟期降解叶绿素,避免贪青晚熟。

2.4 箭筈豌豆翻压配合减氮对雪茄烟叶组织结构的影响

由表6可知,箭筈豌豆翻压及氮肥用量对雪茄烟叶组织结构具有显著影响。其中,W0处理雪茄烟叶叶片厚度、栅栏组织厚度及海绵组织厚度均显

著高于其他处理，且其侧脉横截面积也显著大于W1和W2处理；与CK相比，W1处理雪茄烟叶的栅海比显著提高了16.67%，W2处理的侧脉横截面积显著降低了17.43%。结果表明，箭筈豌豆翻压配合氮肥减施可能导致氮素缓释供应，更好地满足雪茄烟叶细胞有序分化对氮素的需求，从而优化叶片的组织结构。



A. 上部叶；B. 中部叶；C. 下部叶。图柱上不同小写字母表示同一生育期不同处理间差异显著（$P<0.05$）。

A. Upper leaves; B. Middle leaves; C. Lower leaves. Different lowercase letters above bars indicate significant differences among treatments during the same reproductive period ($P<0.05$).

图1　箭筈豌豆翻压配合减氮对雪茄烟叶SPAD值的影响

Fig. 1　Effects of *Vicia sativa* incorporation with nitrogen reduction on the SPAD values of cigar tobacco leaves

表6　箭筈豌豆翻压配合减氮对雪茄烟叶组织结构的影响

Table 6　Effects of *Vicia sativa* incorporation with nitrogen reduction on leaf anatomical structure

处理 Treatment	叶片厚度/μm Leaf thickness	栅栏组织厚度/μm Palisade parenchyma thickness	海绵组织厚度/μm Spongy parenchyma thickness	栅海比 Palisade/Spongy	侧脉横截面积/mm² Vein aera
CK	271.38±31.50 b	91.77±15.52 b	127.26±17.57 b	0.72±0.07 b	4.36±0.21 ab
W0	365.29±68.07 a	136.02±28.79 a	174.73±38.53 a	0.79±0.12 ab	4.76±0.37 a
W1	290.37±45.45 b	111.95±21.03 b	132.87±22.13 b	0.84±0.08 a	4.26±0.57 b
W2	281.56±81.51 b	101.52±25.65 b	136.56±51.00 b	0.79±0.16 ab	3.60±0.52 c

2.5　箭筈豌豆翻压配合减氮对雪茄烟晾后化学成分的影响

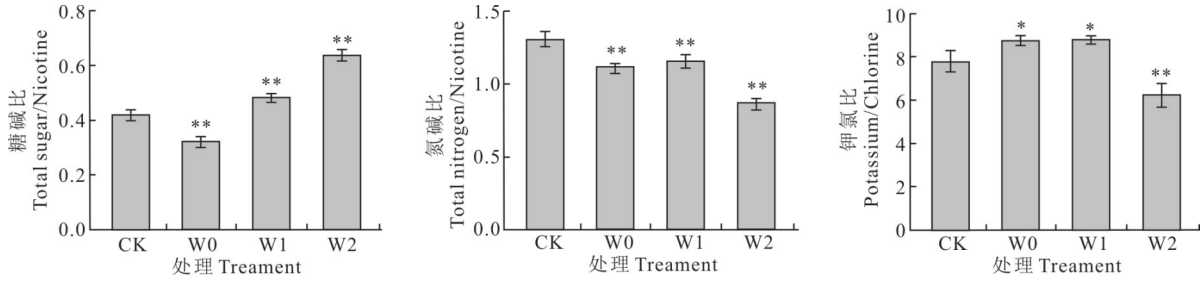
晾制后烟叶化学成分分析结果（表7）表明，箭筈豌豆翻压显著影响了烟叶中还原糖、烟碱和钾离子含量。与CK相比，W0处理烟叶总氮、烟碱及钾离子含量分别显著增加了17.56%，37.26%和18.13%；W1处理烟叶总糖、还原糖和钾离子含量提升最为显著，较CK分别提高了26.67%，25.43%和23.68%；而W2处理则因氮素限制，烟叶总氮和烟碱含量显著减少。结果表明，W1处理实现了糖分积累与钾素吸收的协同提升。

表7　箭筈豌豆翻压配合减氮对雪茄烟化学成分含量的影响

Table 7　Effects of *Vicia sativa* incorporation with nitrogen reduction on chemical component contents of cigar tobacco　%

处理 Treatment	总糖含量 Total sugar content	还原糖含量 Reducing sugar content	总氮含量 Total nitrogen content	烟碱含量 Nicotine content	钾离子含量 Potassium content	氯离子含量 Chlorine content
CK	0.90±0.02 c	0.59±0.03 c	2.79±0.02 b	2.12±0.07 c	3.42±0.05 c	0.44±0.03 b
W0	0.95±0.05 c	0.69±0.02 b	3.28±0.03 a	2.91±0.04 a	4.04±0.10 b	0.48±0.02 ab
W1	1.14±0.01 a	0.74±0.03 a	2.73±0.02 b	2.36±0.07 b	4.23±0.07 a	0.48±0.01 ab
W2	1.03±0.03 b	0.66±0.03 b	1.42±0.08 c	1.62±0.05 d	3.05±0.07 d	0.49±0.03 a

由图2可知，烟叶品质核心指标（包括糖碱比和钾氯比等）显著受到箭筈豌豆翻压处理的调控。与CK相比，W0处理烟叶的糖碱比和氮碱比分别极显著降低了23.81%和15.15%；W1和W2处理烟叶的糖碱比则极显著提高，W2处理的钾氯比极显著降低了19.38%。总体来看，箭筈豌豆翻压配合减氮10%（W1）可在缓解氮素过量对糖分积累抑制的同时，促进烟叶化学成分的协调优化。



*表示与CK差异显著($P<0.05$),**表示与CK差异极显著($P<0.01$)。

* indicates significant difference compared with CK ($P<0.05$), and ** indicates extremely significant difference compared with CK ($P<0.01$).

图2 箭筈豌豆翻压配合减氮对雪茄烟叶化学成分的影响

Fig. 2 Effects of *Vicia sativa* incorporation with nitrogen reduction on chemical components of cigar tobacco leaves

3 讨 论

已有研究表明,绿肥腐解过程普遍呈现"前期快速后期减缓"的特点,翻压还田后25~40 d,腐解率可达57.61%~66.25%,之后进入缓慢腐解阶段[15]。绿肥的快速腐解期与雪茄烟生产中深耕起垄晒土时段高度吻合,减少了操作成本。有机质含量高、结构疏松、自然排水良好的土壤更有利于优质雪茄烟叶的生产[16]。本研究表明,箭筈豌豆翻压显著降低了土壤体积质量,提高了土壤有机质和速效养分含量,其中速效钾含量增幅最大,速效磷含量增幅次之。其原因可能是箭筈豌豆深层根系改善了耕层土壤的孔隙结构,并通过根瘤固氮和根系分泌物活化矿物磷、钾[17];也可能是箭筈豌豆翻压腐解释放的有机质为土壤微生物提供了碳源,促进微生物的活动,从而加速养分转化。速效钾含量显著提升,可能与钾主要以离子形态存在于细胞或植物组织中且易被水浸提释放有关,而磷、氮则更多以难分解的有机态存在,释放相对缓慢[18]。雪茄烟成熟期各处理土壤理化性质差异显著,推测其原因可能是微生物分解绿肥需要一定氮源,常规施肥处理虽氮素充足,但过量氮可能会导致微生物优先利用土壤中易分解的有机碳或氮源,反而减缓以碳为主的绿肥(尤其是木质纤维素部分)分解。此外,腐解过程中有机酸的释放易引起土壤酸化,减氮10%可有效缓解这一现象[19]。

箭筈豌豆翻压配合不同减氮水平对烟株农艺性状的影响主要表现为有效叶数显著增加和最大叶面积扩大。团棵期W0处理烟株生长优于CK;进入旺长期后,各处理烟株的株高、最大叶长和最大叶面积均显著高于CK;成熟期各处理烟株的株高和有效叶数均较CK显著增加,W1处理在叶片大小方面的提升效果尤为显著。这可能与箭筈豌豆根系对优化土壤结构及其对有效养分的固持效应有关。W0处理因箭筈豌豆腐解释放氮素与常规施肥叠加,前期氮素供应充足,烟株的旺盛生长对能量和碳源需求增加,而后期土壤条件难以持续满足其生长需求[20-21]。综上所述,箭筈豌豆翻压可有效促进雪茄烟各时期的生长发育,且适量减氮对烟株生长具有更积极的调控作用。

叶绿素含量不仅反映烟草的光合能力和营养状况,也与烟叶成熟采收时机紧密关联[22]。生长前中期,较高的叶绿素含量有利于干物质积累;而在成熟与调制阶段,叶绿素的快速降解则可促进内含物转化和香气前体物质形成,从而提高烟叶香气品质[23-24]。本研究中,箭筈豌豆翻压配合减氮10%(W1)处理显著提高了团棵期和旺长期雪茄烟中部叶的SPAD值,表明适度减氮未限制烟株早期生长,反而促进其发育;成熟期该处理中、下部叶的SPAD值与CK无显著差异,说明叶绿素充分降解,有利于烟叶正常落黄和香气质量提升。

优质茄衣烟叶需厚度适中偏薄、具备适宜的栅海比,既保证栅栏组织具有稳定结构和保水能力,又有足够的海绵组织维持气体交换和芳香物质释放;侧脉细化有助于提升烟叶柔韧性和燃烧均匀性[25-26]。本研究中,W0处理土壤氮素充足,叶片厚度、栅栏组织厚度显著增加,表明持续供氮可促进细胞分裂与扩展,增强光合能力,有利于碳同化;W1处理栅海比升高,叶片结构紧密、机械强度高,同时海绵组织未显著减少,保持了良好透气性,展现出作为优质茄衣原料的潜力。这可能得益于箭筈豌豆腐解提供的缓释氮源与减氮措施协同调控碳氮平衡[27];W2处理侧脉横截面积较CK显著降低17.43%,可能影响烟叶机械支撑力及水分与物质运输。

烟碱是影响吸烟者生理满足感的关键成分,与烟叶品质密切相关;高糖、高钾有助于提升烟叶燃烧性与灰分外观,化学成分协调性也是优质烟叶的

重要标志之一[28]。本研究不同处理烟叶晾后化学成分分析结果表明，W0处理显著提高了晾后烟叶总氮和烟碱含量，显示箭筈豌豆翻压释氮与施用氮肥共同促进含氮化合物合成，相较于其他处理，具有良好的刺激性、余味和凝灰度[29]，但其糖碱比降低可能会导致甜味不足、刺激性过强。W1处理总糖和还原糖含量较CK显著提高26.67%和25.43%，糖碱比提升14.29%，氮碱比适中，表明减氮10%可改善烟叶吃味[30]，其原因可能是减氮促进了碳代谢，导致光合产物向糖类转化[31]。W2处理则受氮素不足限制，总糖、还原糖和烟碱含量均较低，导致烟叶劲头不足，同时钾含量较低，影响烟叶燃烧性和香气。

4　结　论

冬闲种植并翻压箭筈豌豆可改良土壤结构，增加土壤有机质及速效养分含量，促进雪茄烟的生长发育。箭筈豌豆翻压配合减施10%氮肥（W1处理）在提升土壤肥力、促进雪茄烟生长发育、改善烟叶结构、协调化学成分上均有较好表现，平衡了生态效益（减化肥）与烟叶品质提升。本研究为湖南雪茄烟绿色生产提供了参考。

[参考文献]

[1] 管庆林，朴晟源，袁华恩，等. 锌锰硼配施对雪茄烟叶矿质元素含量及其干物质积累的影响[J]. 山东农业科学，2023，55(9)：128-136.
GUAN Q L，PIAO S Y，YUAN H E，et al. Effects of combined application of zinc，manganese and boron on mineral elements contents and dry matter accumulation of cigar leaves[J]. Shandong Agricultural Sciences，2023，55(9)：128-136.

[2] 孙延国，刘好宝，高华军，等. 移栽期对海南雪茄外包皮烟叶生长发育及产量品质的影响[J]. 中国烟草科学，2019，40(3)：91-98.
SUN Y G，LIU H B，GAO H J，et al. Effects of transplanting time on growth，development，yield and quality of cigar wrapper tobacco in Hainan[J]. Chinese Tobacco Science，2019，40(3)：91-98.

[3] CHEN Y J，REN K，HE X，et al. The response of flue-cured tobacco cultivar K326 to nitrogen fertilizer rate in China[J]. The Journal of Agricultural Science，2020，158(5)：371-382.

[4] SU Y，ZI H Y，WEI X M，et al. Application of manure rather than plant-origin organic fertilizers alters the fungal community in continuous cropping tobacco soil[J]. Frontiers in Microbiology，2022，13：818956.

[5] 宁诗琪，蒋如，李治模，等. 三种绿肥对烤烟产质量及土壤养分和酶活性的影响[J]. 中国土壤与肥料，2024(4)：128-135.
NING S Q，JIANG R，LI Z M，et al. Effects of three kinds of green manure on the yield and quality of flue-cured tobacco，soil nutrients and enzyme activities[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China，2024(4)：128-135.

[6] MA D K，YIN L N，JU W L，et al. Meta-analysis of green manure effects on soil properties and crop yield in northern China[J]. Field Crops Research，2021，266：108146.

[7] 左梅，向必坤，谭军，等. 石灰与绿肥对连作雪茄烟田土壤理化性质与真菌群落的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2024，30(10)：1909-1918.
ZUO M，XIANG B K，TAN J，et al. Effects of lime and green manure on soil physicochemical properties and fungal community in a continuous cropping cigar tobacco field[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers，2024，30(10)：1909-1918.

[8] 左梅，向必坤，王瑞，等. 石灰与油菜还田对土壤肥力与雪茄烟产量、质量的影响[J]. 中国土壤与肥料，2023(6)：102-107.
ZUO M，XIANG B K，WANG R，et al. Effects of lime and rape returning on soil fertility and cigar yield and quality[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China，2023(6)：102-107.

[9] 袁贵林，黄瑞寅，刘兰，等. 绿肥与生物炭对土壤养分及烤烟农艺和光合特性的影响[J]. 中国烟草科学，2024，45(6)：65-72.
YUAN G L，HUANG R Y，LIU L，et al. Effects of green manure and biochar on soil nutrients and agronomic and photosynthetic characteristics of flue-cured tobacco[J]. Chinese Tobacco Science，2024，45(6)：65-72.

[10] 王吕，吴玉红，陈浩，等. 陕南猕猴桃果园绿肥还田腐解特征及养分释放规律[J]. 果树学报，2025，42(1)：112-122.
WANG L，WU Y H，CHEN H，et al. Characteristics of decomposition and nutrient release of green manure returning to kiwifruit orchards in southern Shaanxi Province[J]. Journal of Fruit Science，2025，42(1)：112-122.

[11] 卢明，王帅，王洋，等. 优化施肥下种植绿肥对青花椒生产增效减排的影响[J]. 环境工程技术学报，2024，14(5)：1494-1503.
LU M，WANG S，WANG Y，et al. Effects of planting green manure on the production efficiency and environmental benefit of *Zanthoxylum armatum* v. *novemfolius* based on optimized fertilization[J]. Journal of Environmental Engineering Technology，2024，14(5)：1494-1503.

[12] 韦金贵，毛守发，江俞欣，等. 绿肥对减量施氮小麦籽粒产量和氮素利用的补偿机制[J]. 作物学报，2024，50(12)：3129-3143.
WEI J G，MAO S F，JIANG Y X，et al. Compensation mechanism of green manure on grain yield and nitrogen uptake of wheat with reduced nitrogen supply[J]. Acta Agronomica Sinica，2024，50(12)：3129-3143.

[13] 周诗晶，罗佳宁，刘仲淼，等. 箭筈豌豆种植密度对土壤微生物养分代谢的影响[J]. 草业学报，2021，30(10)：63-72.
ZHOU S J，LUO J N，LIU Z M，et al. The effects of *Vicia sativa* planting density on soil microbial nutrient metabolism[J]. Acta Prataculturae Sinica，2021，30(10)：63-72.

[14] 徐照丽，李天福. SPAD-502叶绿素仪在烤烟生产中的应用研究[J]. 贵州农业科学，2006，34(4)：23-24.
XU Z L，LI T F. The use of the SPAD-502 chlorophyll meter during the flue-cured tobacco growth[J]. Guizhou Agricultural

Sciences,2006,34(4):23-24.

[15] 陈泳纬. 不同遮荫强度对雪茄烟叶生理特性及晾制效应的影响[D]. 郑州:河南农业大学,2023.
CHEN Y W. Effects of different shading intensities on the physiological characteristic and air-curing effect of cigar leaves [D]. Zhengzhou:Henan Agricultural University,2023.

[16] 刘小安,张小毅,刘文露,等. 不同绿肥混合还田的腐解特征及养分释放动态[J]. 湖南农业科学,2023(10):30-34.
LIU X A,ZHANG X Y,LIU W L,et al. Decomposition characteristics and nutrient release dynamics of mixed green manure back into fields[J]. Hunan Agricultural Sciences, 2023(10): 30-34.

[17] 程李洋,何浩,鲁伟丹,等. 化肥减量结合大豆绿肥还田对小麦产量及土壤有机碳组分的影响 [J]. 土壤通报,2024,55(5):1328-1336.
CHENG L Y,HE H,LU W D,et al. Effects of fertilizer reduction combined with soybean green manure return on wheat yield and soil organic carbon fractions[J]. Chinese Journal of Soil Science,2024,55(5):1328-1336.

[18] 唐红琴,李忠义,曾成城,等. 不同绿肥种类和还田量对柑橘园土壤养分的动态影响[J]. 江苏农业科学,2021,49(16):214-219.
TANG H Q,LI Z Y,ZENG C C,et al. Dynamic effects of different kinds of green manure and amount of returning to field on soil nutrients in *Citrus* orchard[J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2021,49(16):214-219.

[19] 吕帅磊,常单娜,周国朋,等. 江西红壤绿肥季施用磷矿粉的磷素效应[J]. 草业学报,2024,33(11):149-160.
LÜ S L,CHANG D N,ZHOU G P,et al. The phosphorus effect of applying phosphate rock powder during the green manure season in red soil of Jiangxi Province[J]. Acta Prataculturae Sinica,2024,33(11):149-160.

[20] 凡聪,赵兵飞,符云鹏,等. 氮用量对蛟河晒红烟碳氮代谢关键酶活性及品质的影响[J]. 烟草科技,2019,52(8):30-36.
FAN C,ZHAO B F,FU Y P,et al. Influences of nitrogen application rates on key enzyme activities of carbon-nitrogen metabolism and quality of dark sun-cured tobacco in Jiaohe[J]. Tobacco Science & Technology,2019,52(8):30-36.

[21] 赵文军,杨继周,尹梅,等. 绿肥模式下减量施氮对烤烟产量与品质的影响[J]. 中国农业科技导报,2023,25(4):189-196.
ZHAO W J,YANG J Z,YIN M,et al. Effects of combined application of green manure with reduced nitrogen fertilizer on yield and quality of flue-cured tobacco[J]. Journal of Agricultural Science and Technology,2023,25(4):189-196.

[22] 茬馨文,刘海莹,杨锦鹏,等. 基于细胞结构与光合生理的雪茄茄芯烟叶适熟采收研究[J]. 江苏农业科学,2024,52(11):74-80.
CHI X W,LIU H Y,YANG J P. Study on harvesting of cigar tobacco leaves at right maturity based on cell structure and photosynthetic physiology[J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2024,52(11):74-80.

[23] 钟国兴,杨欣,张少搏,等. 化肥减量配施有机肥对植烟土壤及烤烟根系生长的影响[J]. 作物杂志,2025(6):181-188.
ZHONG G X,YANG X,ZHANG S B,et al. Effect of chemical fertilizer reduction combined with organic fertilizer on tobacco-planting soil and root growth of flue-cured tobacco[J]. Crops,2025(6):181-188.

[24] 任一鹤,赵松超,朴晟源,等. 不同遮阴条件下施氮量对雪茄茄衣生理特性及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2024,52(6):111-117.
REN Y H,ZHAO S C,PIAO S Y,et al. Effects of nitrogen application on physiological characteristics and quality of cigar wrapper under different shading conditions[J]. Jiangsu Agricultural Sciences,2024,52(6):111-117.

[25] 冯连军. 烟叶分级中叶片结构指标及在易混等级分辨中的运用[J]. 现代农业科技,2024(17):150-153.
FENG L J. Leaf structure index in tobacco grading and its application in easy-to-mix grade resolution[J]. Modern Agricultural Science and Technology,2024(17):150-153.

[26] 吴晓颖,高华军,王晓琳,等. 光照强度对雪茄烟叶片组织结构及内源激素含量的影响[J]. 中国烟草科学,2021,42(2):37-42.
WU X Y,GAO H J,WANG X L,et al. Effects of light intensity on growth and development and endogenous hormone content of cigar leaves[J]. Chinese Tobacco Science,2021,42(2):37-42.

[27] 袁华恩,管庆林,吴永兵,等. 锌锰硼配施对雪茄烟叶光合特性、碳氮代谢及品质的影响[J]. 中国土壤与肥料,2024(3):129-136.
YUAN H E,GUAN Q L,WU Y B,et al. Effects of combined application of zinc,manganese and boron on photosynthetic characteristics, carbon and nitrogen metabolism and quality of cigar leaves[J]. Soil and Fertilizer Sciences in China,2024(3):129-136.

[28] 赵瑞,章存勇,徐云进. 国内外不同雪茄茄芯原料主要化学成分与感官品质分析[J]. 南方农业,2015,9(30):252-253.
ZHAO R,ZHANG C Y,XU Y J. Analysis of main chemical components and sensory quality of different cigar eggplant core raw materials at home and abroad[J]. South China Agriculture,2015,9(30):252-253.

[29] 蔡斌,耿召良,高华军,等. 国产雪茄原料生产技术研究现状[J]. 中国烟草学报,2019,25(6):110-119.
CAI B,GENG Z L,GAO H J,et al. Research progress of production technologies of cigar tobaccos in China[J]. Acta Tabacaria Sinica,2019,25(6):110-119.

[30] 张嘉雯,卢绍浩,赵铭钦,等. 施氮量对四川雪茄烟叶碳氮代谢及品质的影响[J]. 作物杂志,2021(4):159-165.
ZHANG J W,LU S H,ZHAO M Q,et al. Effects of nitrogen application rates on carbon and nitrogen metabolism and quality of cigar leaves in Sichuan[J]. Crops,2021(4):159-165.

[31] 徐洪胜,徐俊成,冯凯月,等. 有机氮替代部分无机氮对菜心产量及土壤有机碳组分的影响[J]. 河南农业,2024(24):34-36.
XU H S,XU J C,FENG K Y,et al. Effects of replacing part of inorganic nitrogen with organic nitrogen on Chinese flowering cabbage yield and soil organic carbon composition[J]. Agriculture of Henan,2024(24):34-36.

(责任编辑:陈丽)