

2 种间作模式对 5 年生苜蓿产量及光合特性的影响

李威¹, 刘鹏², 王涛¹, 陈庚³, 李淑敏^{1*} (1. 东北农业大学资源与环境学院, 黑龙江哈尔滨 150030; 2. 齐齐哈尔市龙沙区大民街道公共服务中心, 黑龙江齐齐哈尔 161000; 3. 东北农业大学农学院, 黑龙江哈尔滨 150030)

摘要 以 5 年生苜蓿为试验材料, 研究了苜蓿单作、苜蓿/玉米间作和苜蓿/燕麦草间作条件下苜蓿产量、叶片氮含量以及光合特性, 为探讨缓解苜蓿产量退化提供理论依据和方法。结果表明, 2 种间作模式下的苜蓿产量均显著高于单作苜蓿产量, 苜蓿/燕麦草间作模式下苜蓿产量最高。2 种间作模式均能显著提高苜蓿叶片氮含量, 有效提高光合能力。因此, 间作模式可以有效防止 5 年生苜蓿产量退化, 在农牧地区具有可行性。

关键词 苜蓿; 间作; 产量; 玉米

中图分类号 S344.2 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)13-0037-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.13.011



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Two Intercropping Models on Yield and Photosynthetic Characteristics of 5-year-old Alfalfa
LI Wei¹, LIU Peng², WANG Tao¹ et al (1. College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030; 2. Damun Subdistrict Public Service Center of Longsha District, Qiqihar, Heilongjiang 161000)

Abstract 5-year-old alfalfa was used as test material. Yield, leaf nitrogen content and photosynthetic characteristics of alfalfa in alfalfa monoculture, intercropping of alfalfa and maize, intercropping of alfalfa and oat were studied, so as to provide theoretical basis and method for effectively improving the productivity of degraded alfalfa. The results showed that the yields of alfalfa in two intercropping patterns was significantly higher than that in alfalfa monoculture. Yield of alfalfa in intercropping pattern of alfalfa and oat was the highest among them. Two intercropping patterns both significantly improve the leaf nitrogen content and photosynthetic capacity of alfalfa, and in conclusion, intercropping effectively prevent degradation of 5-year-old alfalfa. These intercropping patterns are feasible in farming-pastoral areas.

Key words Alfalfa; Intercropping; Yield; Maize

苜蓿(*Medicago sativa* L.)是一种多年生豆科植物^[1-4]。由于适口性好、蛋白含量高、产量高、抗逆性强等特点, 苜蓿成为种植面积大、分布广、利用率高的优良牧草, 素有“牧草之王”的美誉^[5-6]。由于蛋白饲料短缺, 我国对于苜蓿的需求量较大, 苜蓿在我国的种植面积逐年增加^[7]。一般情况下, 苜蓿可生长 20~25 年^[8]。但有研究表明, 紫花苜蓿的高产期在 2~4 年, 第 5 年苜蓿产量开始下降, 主要表现为株高降低、植被稀疏、分枝减少, 退化趋势明显^[9-10]。如何解决这一问题对于保障苜蓿可持续性生产以及节约苜蓿生产成本意义重大。

禾本科和豆科间作模式对于提高作物产量和增加光、水、热、空间等资源利用率有显著效果^[11-12]。目前, 对于禾本科和豆科间作增产增效机理已有很多深入报道^[13]。苜蓿和禾本科间作模式多种多样, 如苜蓿和玉米间作、苜蓿和小麦间作等^[14]。但是, 间作是否可以缓解多年生苜蓿退化还有待研究和探讨。鉴于此, 笔者以玉米/苜蓿、玉米/燕麦草 2 种间作模式为研究对象, 探讨这 2 种间作模式对 5 年生苜蓿产量、光合特性以及氮含量的影响, 旨在研究间作模式在减缓多年生苜蓿退化中的作用和效果, 为促进苜蓿生产以及提高土地使用效率提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验在哈尔滨成高子镇(45°44'N,

126°43'E)进行, 该地区属于温带大陆性气候, 冬季寒冷, 夏季高温多雨, 年平均温度为 3.5~4.5℃, >10℃有效积温为 2 600~2 700℃, 年平均降雨量为 400~600 mm, 60%~70%降水集中在 7—8 月, 无霜期为 135~145 d。

1.2 试验材料 供试苜蓿品种为越冬之星, 玉米品种为先玉 335, 燕麦草品种为白燕 2 号。

1.3 试验方法 以 5 年生苜蓿为试验材料, 设置 3 个处理: ①苜蓿单作。苜蓿单作播种方式为条播, 播种量为 45 kg/hm², 行距 60 cm; ②苜蓿-玉米间作。间作玉米在单作苜蓿垄间播种, 玉米株距 35 cm, 播种日期为 5 月初; ③苜蓿-燕麦草间作。间作燕麦草在单作苜蓿垄间播种, 播种量为 22.5 kg/hm², 播种时间为 4 月中旬。试验采用随机区组设计, 每个处理 3 次重复, 小区长 7 m, 宽 5 m, 面积为 35 m²。

1.4 测定指标及方法

1.4.1 苜蓿产量测定 苜蓿刈割 3 次, 刈割时间为 6 月 16 日、7 月 22 日、8 月 27 日。每次刈割后, 测定鲜草重量和含水率, 计算干草产量。

1.4.2 苜蓿光合测定 光合测定是在第 1 次刈割前测定, 选择晴朗天气, 采用 LI-6400 便携式光合仪(LI-COR, Lincoln, NE, USA)测定气体交换参数。光合-光强响应曲线(Pn-PFD, Pn-net photosynthetic rate, PFD-photon flux density)测定采用杨兴洪^[15]的方法, 测定时叶室 CO₂ 浓度为 350 μmol/mol, 利用低于 200 μmol/(m²·s) PFD 的光合速率值的直线回归方程的斜率求得表观光量子效率(AQY), 同时求得光补偿点。测定光合后, 叶片放入液氮中保存, 用于氮含量测定。

1.4.3 苜蓿植株叶片氮含量 采用凯氏定氮法测定。

基金项目 国家重点研发计划子课题“间套作作物地上和地下可塑性与资源高效利用研究”(2016YFD030020204); 东北农业大学“青年才俊”项目(17QC36)。

作者简介 李威(1982—), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 讲师, 博士, 从事作物生理生态及作物营养研究。*通信作者, 教授, 博士, 从事作物间套作研究。

收稿日期 2020-02-03; 修回日期 2020-03-06

1.4.4 苜蓿根瘤数测定。取单株苜蓿 0~20 cm 根系,查数得出其根瘤数量。

2 结果与分析

2.1 不同间作模式对苜蓿产量影响 由表 1 可知,间作模式下苜蓿产量均明显高于单作的苜蓿产量,苜蓿/玉米间作处理下苜蓿产量是 15 364. 80 kg/hm²,是苜蓿单作(12 400. 50 kg/hm²)的 1. 24 倍;苜蓿/燕麦草间作处理下苜蓿产量是 16 056. 60 kg/hm²,是苜蓿单作(12 400. 50 kg/hm²)的 1. 29 倍。统计分析结果表明,不同间作模式对苜蓿的含水率造成的影响均不显著,苜蓿单作处理下苜蓿产量与 2 种间作模式,即苜蓿/玉米间作和苜蓿/燕麦草间作的苜蓿产量均差异显著($P<0. 05$),而 2 种间作模式下苜蓿产量差异不显著。

表 1 不同间作模式对苜蓿产量的影响

Table 1 Effects of different intercropping patterns on alfalfa yield

序号 Code	处理 Treatment	小区产量 Plot yield kg/区	折合产量 Converted yield kg/hm ²	含水率 Moisture content//%
1	苜蓿单作	43. 38 a	12 400. 50	79. 21 a
2	苜蓿/玉米间作	53. 75 b	15 364. 80	80. 16 a
3	苜蓿/燕麦草间作	56. 17 b	16 056. 60	81. 33 a

注:同列不同小写字母表示在 0. 05 水平差异显著
Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0. 05 level

2.2 不同间作模式对苜蓿根瘤数和叶片氮含量的影响 3 种植模式除了对苜蓿的产量造成影响外,还对苜蓿的品质有影响(表 2),体现在根瘤数和叶片氮含量等方面。从表 2 可以看出,2 种间作模式下的苜蓿根瘤数和叶片氮含量均高于苜蓿单作处理。其中,苜蓿/燕麦草间作模式下苜蓿根瘤数为(25±3)个/株,苜蓿/玉米间作模式下苜蓿根瘤数为(23±4)个/株,均高于单作苜蓿的根瘤数(17±2)个/株;苜蓿/燕麦草间作下苜蓿的叶片氮含量为(2. 39±1. 11)%,苜蓿/玉米间作下苜蓿的叶片氮含量为(2. 13±0. 31)%,也都高于单作苜蓿的叶片氮含量(1. 86±0. 77)%。以上数据表明,与苜蓿单作相比,2 种间作模式对苜蓿根瘤数的增加作用均有显著差异($P<0. 05$),同时苜蓿叶片氮含量均有一定程度的提高,差异显著($P<0. 05$)。此外,苜蓿/燕麦草间作模式对于提高苜蓿根瘤数和叶片氮含量的效果优于苜蓿/玉米间作模式。

表 3 不同间作模式对苜蓿光合特征的影响

Table 3 Effects of different intercropping patterns on the photosynthetic characteristics of alfalfa

序号 Code	处理 Treatment	表观量子 效率 AQY mol/mol	饱和光强下的 光合速率 P_{n-max} $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	光补偿 点 LCP $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$	光饱和点 LSP $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$
1	单作苜蓿	0. 026±0. 002 a	10. 09±0. 2 a	45. 1±1. 1 a	1 000
2	苜蓿/玉米间作	0. 033±0. 006 b	12. 25±0. 4 b	32. 6±0. 7 b	1 000
3	苜蓿/燕麦草间作	0. 035±0. 005 b	13. 98±0. 5 b	37. 5±2. 1 b	1 000

注:同列不同小写字母表示在 0. 05 水平差异显著
Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0. 05 level

2.4 苜蓿叶片氮含量与光合速率的相关性 叶片氮含量对

表 2 不同间作模式对苜蓿根瘤数和叶片氮含量的影响

Table 2 Effects of different intercropping patterns on nodule number and nitrogen content of alfalfa

序号 Code	处理 Treatment	根瘤数 Root nodule 个/株	叶片氮含量 Leaf N content//%
1	苜蓿单作	17±2 a	1. 86±0. 77 a
2	苜蓿/玉米间作	23±4 b	2. 13±0. 31 a
3	苜蓿/燕麦草间作	25±3 b	2. 39±1. 11 b

注:同列不同小写字母表示在 0. 05 水平差异显著
Note: Different lowercases in the same column indicated significant differences at 0. 05 level

2.3 不同间作模式对苜蓿光合特性的影响 P_n -PPFD 响应曲线(图 1)表明,随着光强的增加,3 种植模式的苜蓿叶片光合速率也随之增加,当光强增加到 1 200 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 后,叶片光合速率不再升高,保持稳定。其中,苜蓿/燕麦草间作和苜蓿/玉米间作处理下苜蓿叶片的光合速率均明显高于苜蓿单作,差异显著($P<0. 05$),并且苜蓿/燕麦草间作模式优于苜蓿/玉米间作模式。

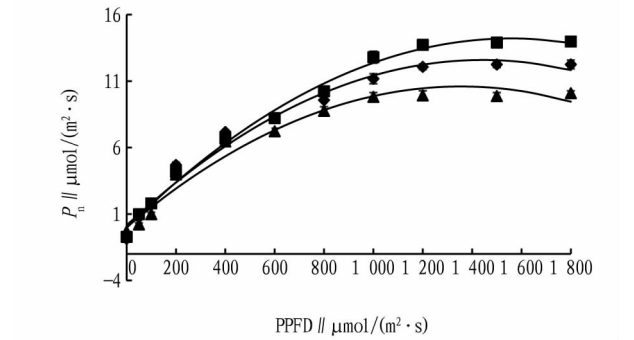


图 1 不同间作模式苜蓿叶片的 P_n -PFD 响应曲线

Fig. 1 Light response of photosynthesis in alfalfa leaves in different intercropping patterns

与单作苜蓿相比,2 种间作模式均显著($P<0. 05$)提高了苜蓿的表观量子效率(AQY)和饱和光强下的光合速率(P_{n-max}),且苜蓿/燕麦草间作模式的效果更显著。单作处理下苜蓿的光补偿点(LCP)为(45. 1±1. 1) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,显著高于苜蓿/玉米间作模式下光补偿点(32. 6±0. 7) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 和苜蓿/燕麦草间作模式下光补偿点(37. 5±2. 1) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ($P<0. 05$)。而 3 种处理下苜蓿的光饱和点(LSP)均为 1 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (表 3)。

叶片光合速率影响如图 2。从图 2 可以看出,随着苜蓿叶片

氮含量的增加,苜蓿叶片的光合速率也不断增加,二者具有正相关关系。

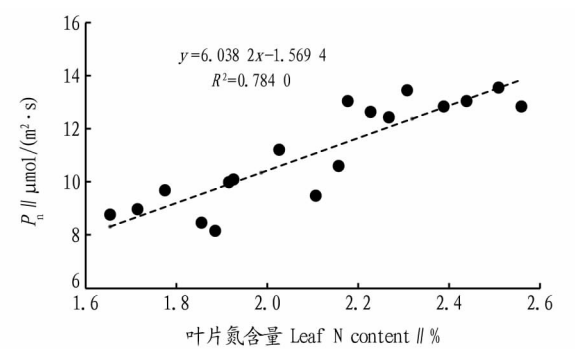


图2 苜蓿叶片氮含量和光合速率相关性

Fig. 2 Correlation between nitrogen and photosynthetic rate in alfalfa leaves

3 结论与讨论

苜蓿作为重要的牧草资源,对我国的畜牧业极为重要^[16]。生长5年以上的苜蓿会出现产量降低、牧草退化的现象。该试验结果表明,5年生苜蓿间作燕麦草或玉米可有效提高苜蓿产量、阻止苜蓿产量的降低。

苜蓿和燕麦草或玉米间作能够显著提高其根部的根瘤数量($P<0.05$),苜蓿和燕麦草间作处理的根瘤数增加最多。豆科植物共生根瘤是豆科植物获取氮的主要途径,能够有效地促进和帮助豆科植物对氮的吸收和利用^[17]。从试验结果可以看出,与单作相比,苜蓿与燕麦草或玉米间作后苜蓿叶片的氮含量显著提高($P<0.05$),这与根瘤数量关系密切。间作增加的根瘤数量有效提高了苜蓿叶片氮含量。

苜蓿与燕麦草或玉米间作还有效提高了苜蓿的光合能力。结果表明,与单作苜蓿相比,间作苜蓿光合速率显著提高($P<0.05$),这可能是间作苜蓿产量提高的原因之一。间作苜蓿的光合能力提高主要是因为其叶片氮含量增加,氮与植物叶片光合速率关系密切。有研究表明,植物叶片绝大多数氮都储存在叶绿体中,植物叶片氮的提高会明显增加光合速率^[18],该研究结果也证实了苜蓿叶片光合速率增加与氮含量关系。

综上所述,苜蓿与燕麦草或玉米间作主要提高了苜蓿叶片氮含量,进而提高了间作苜蓿光合能力,增加了苜蓿产量,这表明苜蓿和禾本科间作能够有效地阻止其产量退化,对提高苜蓿产量、节约牧草种植成本、提高土地利用效率意义重大。

参考文献

- [1] 曲根,刘建宇,郭志鹏,等. 苜蓿草粉和黄酮对断奶仔猪结肠微生物区系的影响[J]. 草业学报,2019,28(6):175-184.
- [2] 任敏,何金环. 自然干旱胁迫下紫花苜蓿叶片和根部 ABA 的代谢变化[J]. 安徽农业科学,2010,38(4):1771-1772.
- [3] 王晓龙,李红,米福贵,等. 不同休眠级苜蓿生产性能及越冬率评价[J]. 草业学报,2019,28(6):82-92.
- [4] WANG C Z, MA B L, YAN X B, et al. Yields of alfalfa varieties with different fall-dormancy levels in a temperate environment[J]. Agronomy journal, 2009, 101(5):1146-1152.
- [5] 王雪,李志萍,孙建军,等. 中国苜蓿品种的选育与研究[J]. 草业科学, 2014, 31(3):512-518.
- [6] BOUIZGAREN A, FARISSI M, GHOULAM C, et al. Assessment of summer drought tolerance variability in Mediterranean alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars under Moroccan fields conditions[J]. Archives of agronomy & soil science, 2013, 59(1):147-160.
- [7] 石自忠,王明利. 我国苜蓿生产技术效率测度:2011~2017年[J]. 中国草地学报,2019,41(3):100-106.
- [8] 耿华珠. 中国苜蓿[M]. 北京:中国农业出版社,1995.
- [9] 李裕元,邵明安,上官周平,等. 黄土高原北部紫花苜蓿草地退化过程与植被演替研究[J]. 草业学报,2006,15(2):85-92.
- [10] 李玉山. 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应[J]. 土壤学报,2002, 39(3):404-411.
- [11] DARCH T, GILES C D, BLACKWELL M S A, et al. Inter-and intra-species intercropping of barley cultivars and legume species, as affected by soil phosphorus availability[J]. Plant & soil, 2018, 427:125-138.
- [12] LIU Y X, ZHANG W P, SUN J H, et al. High morphological and physiological plasticity of wheat roots is conducive to higher competitive ability of wheat than maize in intercropping systems[J]. Plant soil, 2015, 397:387-399.
- [13] 李隆. 间套作强化农田生态系统服务功能的研究进展与应用展望[J]. 中国生态农业学报,2016,24(4):403-415.
- [14] 藺芳,刘晓静,童长春,等. 间作对不同类型饲料作物光能利用特征及生产能力的影响[J]. 应用生态学报,2019,30(10):3452-3462.
- [15] 杨兴洪,邹琦,赵世杰. 遮荫和全光下生长的棉花光合作用和叶绿素荧光特征[J]. 植物生态学报,2005,29(1):8-15.
- [16] 李妍. 紫花苜蓿的生物学特性及开发利用[J]. 安徽农业科学,2007,35(1):84-85,128.
- [17] 刘杰,汪恩涛,陈文新. 豆科植物根瘤内生细菌的发现及其研究进展[J]. 微生物学报,2011,51(8):1001-1006.
- [18] HIKOSAKA K, TERASHIMA I. A model of the acclimation of photosynthesis in the leaves of C_3 plants to sun and shade with respect to nitrogen use[J]. Plant cell & environment, 1995, 18(6):605-618.