

晚播对紫云英生长、养分积累和根际微生物的影响^①

周影¹, 王琳¹, 魏启舜¹, 管永祥², 陈震², 郭成宝¹, 赵荷娟^{1*}

(1 江苏丘陵地区南京农业科学研究所, 南京 210046; 2 江苏省农业技术推广总站, 南京 210036)

摘要: 大田条件下, 依据水稻收获时间设置 3 个晚播播期(10 月 30 日、11 月 10 日和 11 月 20 日)。对不同播期处理下紫云英生长状况、鲜草产量、养分积累量以及根际微生物等影响进行研究。结果表明, 播期显著影响紫云英的生长及物质养分积累。随着播期的推迟, 紫云英的株高、密度、单株复叶数、单株鲜重、单株干重均呈下降趋势。鲜草产量随播期推迟显著降低, 10 月 30 日播种的鲜草产量最高, 达 19 006.35 kg/hm²。不同播期植株地上部 C、N、P、K 含量差异不显著, 积累量则随播期的推迟而显著降低。播期显著影响紫云英根际土壤微生物量, 根际土壤中的细菌、真菌、放线菌数量均随播期的推迟而显著减少。本试验条件下, 11 月 10 日以后播种的紫云英鲜草产量、养分积累量等指标均显著低于 10 月 30 日播种的处理。晚播紫云英播期控制在 11 月之前可获得较高的产草量和养分积累, 取得较好的还田效果。

关键词: 紫云英; 播期; 产量; 养分积累量; 根际微生物

中图分类号: S-3 **文献标识码:** A

随着育种技术和作物栽培技术的不断发展, 中国粮食产量逐年增加。然而, 在最大限度挖掘土地资源潜力, 过量使用农药、化肥, 粮食产量不断突破的同时, 也使中国耕地资源环境面临着众多问题与挑战。科学推进耕地轮作休耕制度, 提升耕地综合生产能力, 是探索藏粮于地、藏粮于技的具体实现途径, 对推动中国农业绿色发展和保障国家粮食安全具有重要战略意义^[1]。近年来, 江苏省因地制宜, 在全省多地部署实施轮作休耕制度。水稻-绿肥轮作作为传统轮作模式, 在充分利用冬季水、热及土地等资源, 促进土壤养分循环与转化, 改善生态环境、节能减排等方面起着积极作用^[2]。而紫云英作为主要的稻田豆科绿肥作物^[3], 具有固氮能力强、生长发育快、能显著改善土壤和促进植物生长发育等特点, 被大量地应用于研究和实际应用中^[4-7]。作为绿肥种植的紫云英, 其播期主要受水稻收获时间的影响。近年来, 随着江苏水稻主导品种布局调整、优良食味晚粳水稻品种的选育^[8]以及农业气候资源总体变化等^[9]因素的影响, 使得晚稻及迟熟品种种植面积不断扩大, 水稻收获期推迟。从而致使轮作紫云英的播期随之延后, 对紫云英的生长及养分积累等产生影响。

本试验以江苏中部地区绿肥-水稻轮作方式为对象, 选取了主栽绿肥作物紫云英为试验品种进行研究。前人对紫云英的研究主要围绕播期对其生长及物质养分积累的影响, 而对紫云英根际微生物的影响鲜见报道。同时, 研究的播期多集中在 8—10 月份, 而对更迟播期的影响研究较少。本试验依据水稻收获时间设置了 3 个晚播播期, 研究了不同播期对轮作绿肥作物紫云英生长状况、鲜草产量、养分积累情况以及根际微生物等的影响, 以为江苏地区水稻种植制度下晚播紫云英播期的选择及增产栽培要点等提供一些指导意见。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于 2017—2018 年在江苏省句容市茅山风景区墓东村潘庄实施, 前茬水稻品种为南粳 5055。田间试验条件下, 根据水稻收获时间, 设播期 3 个: 10 月 30 日、11 月 10 日、11 月 20 日; 紫云英播种量为 75 kg/hm²。每小区面积为 20 m², 小区采用随机区组排列, 每处理 3 次重复。N、P₂O₅、K₂O 用量均为 45 kg/hm², 追施。紫云英生长期根据气候情况和

基金项目: 江苏省农业三新工程项目(SXGC (2017) 228)资助。

* 通讯作者(zhuzhao603@163.com)

作者简介: 周影(1983—), 女, 江苏铜山人, 硕士, 助理研究员, 主要从事农业废弃物资源化利用、土肥等方面研究。E-mail: JJDD010@126.com

土壤水分状况进行排灌管理。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 植株生长状况 于盛花期取样调查紫云英生长状况。每小区按 S 型曲线随机取 10 株调查各生长指标；每小区随机取 20 cm × 20 cm 的样方各 1 个调查株数；各处理随机取 3 个 1 m² 的样方称鲜重。

1.2.2 养分含量 植株全碳含量采用重铬酸钾容量法-外加加热法测定；样品经 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮，微量凯氏定氮法测定氮含量；钼锑抗比色法测定磷含量，火焰光度计法测定钾含量。养分积累量 = 干物质量 × 养分含量。

1.2.3 土壤微生物分析 采用稀释平板计数法进行，细菌采用牛肉膏蛋白胨培养基、真菌采用马丁氏培养基、放线菌采用改良高氏一号培养基进行培养^[10]。

1.3 数据分析

运用 Excel 和 SPSS 软件进行数据处理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 播期对紫云英植株生长状况的影响

对盛花期各处理植株的株高、根长、单株复叶数等指标进行分析，结果显示(表 1)，播期对紫云英的生长状况有一定的影响。不同播期下植株的根长无明显差异。而株高、单株复叶数、单株鲜重和单株干重均随播期的推迟而呈递减趋势，10 月 30 日播种的最高，11 月 20 日的最低。10 月 30 日播种的紫云英单株复叶数、单株鲜重和单株干重均显著高于 11 月份播种的 2 个处理。11 月份播种的处理间各生长指标差异不显著。

表 1 播期对紫云英植株生长状况的影响
Table 1 Effects of late sowing dates on growth of *Astragalus sinicus* L.

播期	株高(cm)	根长(cm)	单株复叶数	单株鲜重(g)	单株干重(g)
2017-10-30	56.87 ± 3.18 a	8.03 ± 0.62 a	28.66 ± 0.91 a	3.84 ± 0.72 a	0.77 ± 0.12 a
2017-11-10	49.96 ± 2.83 ab	8.07 ± 0.53 a	22.96 ± 2.45 b	2.26 ± 0.37 b	0.45 ± 0.04 b
2017-11-20	42.33 ± 4.47 b	7.35 ± 0.65 a	22.31 ± 1.13 b	2.23 ± 0.37 b	0.44 ± 0.05 b

注：表中数据为平均值 ± 标准差，同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平。

2.2 播期对紫云英株数和鲜草产量的影响

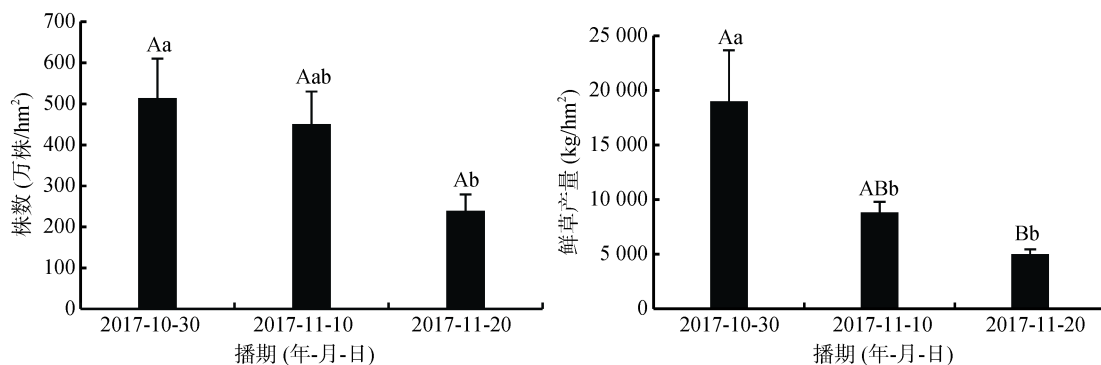
不同播期对紫云英单位面积株数和鲜草产量产生影响。试验结果显示(图 1)，随着播期的推迟，每公顷株数呈下降趋势。10 月 30 日播种的最多，达 513.77 万株/hm²，11 月 20 日最少，两者间相差 274.91 万株/hm²，差异达显著水平。而 10 月 30 日和 11 月 10 日播种的处理间株数差异不显著。

对紫云英鲜草产量的影响结果表明，播期显著影响紫云英的鲜草产量。10 月 30 日播种的处理鲜草产量显著高于 11 月份播种的 2 个处理，分别高出

115% 和 279%，处理间差异达显著水平，特别是 10 月 30 日与 11 月 20 日播种的处理间产量差异达极显著水平。

2.3 播期对紫云英养分积累的影响

本试验条件下，不同播期的紫云英地上部 C 和 N、P、K 含量均无显著差异，各处理间数值变幅较小。各养分积累量则随播期的推迟而显著降低，且与紫云英的干物质量呈正相关关系。其中，植株地上部 C 的积累量范围在 488.53 ~ 1 933.61 kg/hm² 之间，10 月 30 日播种的最高，11 月 20 日的最低。N、P、K



(图柱上方小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平，大写字母不同表示差异达到 $P < 0.01$ 显著水平，下图同)

图 1 播期对紫云英株数和鲜草产量的影响

Fig. 1 Effects of late sowing dates on numbers of seedlings and fresh yields of *Astragalus sinicus* L.

表 2 播期对紫云英地上部养分含量及积累量的影响
Table 2 Effects of late sowing dates on contents and accumulation of nutrients in *Astragalus sinicus* L.

项目	播期	C	N	P	K
养分含量 (g/kg)	2017-10-30	488.78 ± 10.93 aA	25.81 ± 1.59 aA	2.55 ± 0.16 aA	6.42 ± 0.58 aA
	2017-11-10	482.13 ± 7.13 aA	25.82 ± 3.39 aA	2.45 ± 0.04 aA	5.89 ± 0.73 aA
	2017-11-20	464.84 ± 13.23 aA	25.97 ± 2.57 aA	2.50 ± 0.22 aA	5.42 ± 1.02 aA
养分积累量 (kg/hm ²)	2017-10-30	1 933.61 ± 43.23 aA	102.08 ± 6.31 aA	10.07 ± 0.62 aA	25.39 ± 2.28 aA
	2017-11-10	977.78 ± 14.45 bB	59.09 ± 5.97 bB	4.98 ± 0.09 bB	11.94 ± 1.49 bB
	2017-11-20	488.53 ± 13.91 cC	27.30 ± 2.71 cC	2.63 ± 0.23 cC	5.70 ± 1.07 cB

注：表中数据为平均值 ± 标准差，同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平，大写字母不同表示差异达到 $P < 0.01$ 显著水平，下同。

积累量范围分别为 27.3 ~ 102.08、2.63 ~ 10.07、5.70 ~ 25.39 kg/hm²，均随播期推迟而显著降低。不同处理各养分积累量差异达极显著水平。

2.4 播期对紫云英根际微生物的影响

表 3 不同播期对紫云英根际土壤微生物量的影响结果显示，播期显著影响紫云英根际微生物数量，

根际土壤中细菌、真菌和放线菌量均随播期推迟而显著减少。10 月 30 日播种的处理 3 种菌的数量均显著多于 11 月份播种的 2 个处理，单位重量土壤中细菌、真菌和放线菌数量分别多出 65.3%、95.2% 和 50.5% 以上，差异达显著或极显著水平。11 月份播种的 2 个处理间差异不显著。

表 3 播期对紫云英根际土壤微生物量的影响
Table 3 Effects of late sowing dates on rhizosphere microbial biomass of *Astragalus sinicus* L.

播期	细菌($\times 10^6$ cfu/g)	真菌($\times 10^4$ cfu/g)	放线菌($\times 10^5$ cfu/g)
2017-10-30	2.48 ± 0.23 aA	4.10 ± 0.49 aA	4.65 ± 0.45 aA
2017-11-10	1.50 ± 0.33 bAB	1.98 ± 0.32 bB	3.09 ± 0.33 bB
2017-11-20	0.99 ± 0.19 bB	2.10 ± 0.30 bB	2.98 ± 0.26 bB

3 讨论

3.1 播期对紫云英生长及鲜草产量的影响

播种期是影响作物产量的最主要因素之一。播期不同，各生育期所处的气候条件各不相同，而气候条件中的光、温度、水和空气等环境因子对作物的生长发育、作物产量和质量的形成在各阶段所起的作用各不相同^[11]。播期作为种植技术的一个重要方面，显著影响作物出苗速率^[12]、生长指标^[13]、养分积累、产量和品质等各个方面^[14-15]。适时播种可满足作物对光、热、水等环境条件的需求，从而改善植株经济性状并获得高产。

本试验中，除了紫云英的根长差异不显著外，单株复叶数，单株鲜、干重均随播期的推迟而降低。10 月 30 日播种的处理显著高于 11 月份播种的 2 个处理。这是由于随着播期的推迟，气温降低，紫云英苗期易受低温影响而产生冻害，直接影响紫云英植株的生长。而早播的紫云英可以获得更多的积温和光照时间，积累更多干物质。适期早播有利于获得较高干物质积累量。

本试验播期下的单位面积株数和鲜草产量都显

著高于潘福霞等^[16]试验的相同或相近播期下的值，这除了有地域、气候、品种等的影响外，更主要的原因应该是播种量的差异。本试验的紫云英播种量为 75 kg/hm²，而潘福霞的为 37.5 kg/hm²，是其两倍。因此，适当增加播种量可一定程度上弥补播期推迟带来的产量影响。

3.2 播期对紫云英养分积累的影响

以翻压还田为目的的绿肥作物，获得较高的养分积累量是栽培的关键。本试验中，不同播期处理下紫云英植株 C 和 N、P、K 的积累量差距较大，且与紫云英的干物质量呈正相关关系。11 月份播种的处理紫云英植株 C 和 N、P、K 的积累量均显著低于 10 月 30 日播种的处理。说明 10 月份以后播种紫云英显著影响植株养分的积累。

紫云英植株中的绝大部分 C、N 和少量的 S 是从大气中获得的^[17]。紫云英除了可以固定 CO₂ 释放 O₂，还提高了对 SO₂、N₂O 和粉尘等主要空气污染物的净化功能^[18]。本试验中，10 月 30 日播种的处理植株 C 积累量为 1 933.61 kg/hm²、N 积累量为 102.08 kg/hm²，显著高于 11 月份播种的。翻压后可归还土壤的 C、N 量更大，对土壤有机质的积累和减少 N 肥的施用

具有积极作用，具备更好的生态效应。

3.3 不同播期对紫云英根际微生物的影响

作物根际土壤微生物是土壤生态系统中最活跃的组分，是土壤生态系统中物质循环和能量流动的主要参与者，担负着土壤中 C、N、P 和 S 循环的“推进器”和土壤养分植物有效性的“转换器”等多方面功能^[19]；也是土壤重金属生物有效性的主要影响因素之一^[20]。土壤中细菌数量的增加有利于土壤养分的转化，能为植物的生长提供良好的环境。真菌拥有强大的酶系统，直接参与纤维素、木质素等植物残体和土壤有机质的分解。丝状真菌数量的多少可反映土壤肥力及通气状况^[21]，而土壤中放线菌数量的增加不仅能促进土壤有机质转化，还能产生抗生素，对植物的土传病原菌起到一定的拮抗作用^[22]。研究表明，种植翻压绿肥能够通过改变土壤环境和为微生物生长繁殖提供碳源及氮源而影响土壤微生物的活性，并且能够改变微生物的群落组成和功能，增加土壤微生物多样性，影响微生物与土壤环境间的相互作用^[23-26]。本试验条件下，播期显著影响紫云英根际土壤中的微生物数量，10 月 30 日播种的处理根际土壤中细菌、真菌和放线菌均显著多于 11 月份播种的处理。11 月 10 日和 11 月 20 日播种的处理间差异不显著。说明适期早播有助于改善紫云英根际环境，增加根际微生物的数量，提高微生物的多样性和微生物种群的总体活性^[27]。

综上，本试验条件下，播种期显著影响晚播紫云英的生长状况、产草量、养分积累量及根际微生物量。10 月 30 日播种的处理各指标均优于 11 月份播种的处理。因此，迟播紫云英的播期选择应尽量在 11 月份之前完成。生产实际中，可根据水稻收获时间提前 20 d 左右完成套播播种，取得更好的还田肥田效果，达到“以小肥换大肥”的目的。

参考文献：

- [1] 赵其国, 滕应, 黄国勤. 中国探索实行耕地轮作休耕制度试点问题的战略思考[J]. 生态环境学报, 2017, 26(1): 1-5
- [2] 杨曾平, 徐明岗, 聂军, 等. 长期冬种绿肥对双季稻种植下红壤性水稻土质量的影响及其评价[J]. 水土保持学报, 2011, 25(3): 92-102
- [3] 焦彬, 顾荣申, 张学上, 等. 中国绿肥[M]. 北京: 农业出版社, 1986: 291-335
- [4] Dae J K, Dae S C, Sungchul C B, et al. Effects of soil selenium supplementation level on selenium contents of green tea leaves and milk vetch[J]. Journal of Food Science and Nutrition, 2007, 12(1): 35-39
- [5] Naomi A, Hideto U. Nitrogen dynamics in paddy soil applied with various 15 N-labelled green manures[J]. Plant and Soil, 2009, 10: 3-4
- [6] Nakayama H. Characteristics of rice (*Oryza sativa*) growth, yield and soil nitrogen by cultivating Chinese milk vetch (*Astragalus sinicus* L.) as green manure[J]. Tohoku Agricultural Research, 2005, 58: 35-36
- [7] 伍邵龙, 周志成, 单雪华, 等. 紫云英不同种植方式对植烟土壤的影响[J]. 浙江农业科学, 2017, 589(1): 33-36
- [8] 李杰, 杨洪建, 邓建平. 江苏水稻生产现状和新形势下绿色可持续发展的技术对策[J]. 中国稻米, 2017, 239(2): 41-44
- [9] 徐敏, 徐经纬, 徐乐, 等. 水稻农业气候资源变化特征及影响分析——以江苏稻区为例[J]. 中国农学通报, 2016, 32(18): 142-150
- [10] 林先贵. 土壤微生物研究原理与方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 362-364
- [11] 杨玉敏, 庞良玉, 张庆玉, 等. 川中丘陵区不同播期和播种量对光叶紫花苜蓿草生产的影响[J]. 西南农业学报, 2011, 24(3): 882-887
- [12] 武艳芍, 郝建平. 不同播期对玉米(强盛 49)出苗速率及生育期的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(4): 119-121
- [13] 唐光雷, 李存东, 孙传范, 等. 不同播期密度对超早熟短季抗虫棉群体性状的影响[J]. 河北农业大学学报, 2010, 33(1): 6-11
- [14] 曾庆飞, 孙兆敏, 贾志宽, 等. 不同播期对紫花苜蓿生长性状及越冬性的影响研究[J]. 西北植物学报, 2005, 25(5): 1007-1011
- [15] 李琪, 谢萍, 李剑萍, 等. 不同播期对宁夏粉用马铃薯生长和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(12): 220-226
- [16] 潘福霞, 李小坤, 鲁剑巍, 等. 不同播期对紫云英生长及物质养分积累的影响[J]. 土壤, 2012, 44(1): 67-72
- [17] 刘春增, 吕玉虎, 李本银, 等. 不同播期对紫云英“信紫 1 号”生长状况、产量及养分积累的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2018(1): 127-133
- [18] 周志明, 张立平, 曹卫东, 等. 冬绿肥-春玉米农田生态系统服务功能价值评估[J]. 生态环境学报, 2016, 25(4): 597-604
- [19] Preston M J, Boddy I, Randerson P F. Analysis of microbial community functional diversity using sole carbon-source utilization profiles a-critique[J]. FEMS Microbiol Ecology, 2002, 42: 1-14
- [20] 申为宝, 杨洪强. 蚯蚓和微生物对土壤养分和重金属的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(3): 760-765
- [21] Barea J M, Azcón R, Azcón-Aguilar C. Mycorrhizosphere interactions to improve plant fitness and soil quality[J]. Antonie Van Leeuwenhoek, 2002, 81(1/2/3/4): 343-351
- [22] 袁英英, 李敏清, 胡伟, 等. 生物有机肥对番茄青枯病的防效及对土壤微生物的影响[J]. 农业环境科学学报, 2011, 30(7): 1344-1350
- [23] Bernard E, Larkin R P, Tavatzis S, et al. Compost, rapeseed rotation, and biocontrol agents significantly impact soil microbial communities in organic and conventional potato

- production systems[J]. *Applied Soil Ecology*, 2012, 52: 29–41
- [24] Bowles T M, Acosta-Martinez V, Calderon F, et al. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2014, 68: 252–262
- [25] Ye X, Liu H, Li Z, et al. Effects of green manure continuous application on soil microbial biomass and enzyme activity[J]. *Journal of Plant Nutrition*, 2014, 37: 498–508
- [26] 杨滨娟, 黄国勤. 稻田冬种绿肥生态环境效应的研究进展[J]. *生态科学*, 2016, 35(5): 214–219
- [27] 倪才英, 曾珩, 黄玉源, 等. 紫云英根际微生物碳源利用多样性研究[J]. *广西植物*, 2009, 29(5): 614–620

Effects of Late Sowing on Growth, Nutrient Accumulation and Rhizosphere Microorganism of *Astragalus sinicus* L.

ZHOU Ying¹, WANG Lin¹, WEI Qishun¹, GUAN Yongxiang², CHEN Zhen²,
GUO Chengbao¹, ZHAO Hejuan^{1*}

(1 *Nanjing Institute of Agricultural Sciences in Jiangsu Hilly Area, Nanjing 210046, China;*
2 *Agricultural Technology Extension Station of Jiangsu Province, Nanjing 210036, China*)

Abstract: A field experiment was carried out to study the influence of different late sowing dates on growth, fresh yield, nutrient accumulation and rhizosphere microorganism of *Astragalus sinicus* L. Three sowing dates (Oct. 30th, Nov. 10th, and Nov. 20th) were designed according to the harvest time of rice. The results showed that late sowing date significantly influenced the growth and nutrition accumulation of astragalus, as the sowing date postponed, plant height and density, number of compound leaves per plant, fresh or dry weight per plant all decreased, fresh yield decreased significantly, highest (19 006.35 kg/hm²) on the late sowing date of Oct. 30th. No difference was found among C, N, P and K contents in the above-ground parts of astragalus on different late sowing dates, but the nutrient accumulation decreased significantly as the sowing date postponed. Late sowing date also had significant effects on population of soil rhizosphere microbes, the numbers of bacteria, fungus and actinomycetes decreased as the sowing date postponed. Fresh yield and nutrient accumulation of astragalus were lower on sowing date of Nov. 11th than that of Oct. 30th. Under the conditions of this experiment, the sowing date of astragalus should be controlled before November for higher biomass and nutrient accumulation and better effect of returning to field.

Key words: *Astragalus sinicus* L.; Sowing date; Yield; Nutrient accumulation; Rhizosphere microorganism