

杨滨娟, 黄国勤. 双季稻田冬种紫云英“双减双增”绿色高效循环农业模式[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(16): 51–56.
doi:10.15889/j.issn.1002–1302.2018.16.012

双季稻田冬种紫云英“双减双增” 绿色高效循环农业模式

杨滨娟, 黄国勤

(江西农业大学生态科学研究中心, 江西南昌 330045)

摘要:为了提高氮素利用率, 减少氮肥施用量, 缓解农田环境污染, 并适应水稻机械化生产的现状, 在总结现有研究成果的基础上, 构建了双季稻田冬种紫云英“双减双增”绿色高效循环农业模式。采用冬前控水、播期后移、覆盖过冬等新技术种植紫云英, 并通过以磷增氮、延迟翻压、氮肥前移等加速紫云英的翻压腐解, 释放出较多量的无机态氮, 减少氮肥施用, 减少温室气体排放, 以达到增加水稻产量、提高系统综合效益的目的。推广实施双季稻田冬种紫云英双减双增绿色高效循环农业模式, 能够同步实现提升水稻产量、改善稻田土壤肥力、降低温室气体排放、减少农田环境污染等多个目标, 对保障粮食生产安全、提高化肥利用率、提高稻田生产效益、增加农民收入具有重要的现实意义, 对构建资源节约型和环境友好型的双季稻种植模式和美丽乡村建设均具有重要意义。

关键词:紫云英; 种植模式; 双减; 双增; 稻田

中图分类号: S541⁺.304; S365; S511.06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002–1302(2018)16–0051–05

冬季绿肥是南方稻区一种重要的、养分完全的优质生物肥源^[1–2], 含有 15%~20% 的有机物, 翻压后腐解矿化快, 可促进土壤有机质的矿化分解和土壤养分的循环与转化^[3–9], 还能减少土壤侵蚀, 有利于水土保持, 对退化耕地的改良具有很好的效果^[10–12]。尤其是豆科绿肥能够从空气中固定氮素提供给后茬作物吸收利用^[4], 还可为土壤提供大量的碳源和养分^[2], 对于缓解化肥资源短缺及节约化肥投入成本、提高耕地质量从而保障农业可持续发展具有重要意义^[13]。双减双增就是利用豆科绿肥的固氮特性, 通过绿肥翻压还田以减少氮肥施用, 减少温室气体排放。紫云英(*Astragalus sinicus* L.) 又叫红花草, 豆科植物, 为 2 年生(越年生)草本植物, 是江西乃至南方稻区各省(区、市)主要的冬季绿肥兼牧草, 它具有适应性广、产量高、营养成分丰富, 容易种植、有利于提高复种指数及缓解冬季劳动力富余等优点, 具有固定碳素, 改善土壤物理性状、提高土壤养分含量、促进早稻优质高产等效果, 还能净化环境、坚持生态平衡, 现已成为南方稻区农田中的当家绿肥。双季稻田冬种紫云英双减双增绿色高效循环农业模式采用冬前控水、播期后移、覆盖过冬等技术种植紫云英, 并通过以磷增氮、延迟翻压、氮肥前移等加速紫云英的翻压腐解, 释放出较多量的无机态氮, 减少氮肥施用, 减少温室

气体排放, 以达到增加水稻产量、提高系统综合效益的目的。

1 双减双增技术模式的意义

2015 年我国粮食总产量实现“十二连增”, 2016 年突破 6 亿 t, 为稳定经济社会发展大局发挥了重要作用。水稻是我国第二大粮食作物, 种植面积 3 013.7 万 hm^2 , 总产量达 2.04 亿 t, 占我国粮食总产量的 1/3 以上^[14]。江西省水稻常年种植面积为 320 万 hm^2 , 约占全国水稻种植面积的 10%, 是我国双季稻种植比例最高的省份, 水稻总产 1 800 万 t, 居全国第 2 位, 人均稻谷占有量居全国第 1 位^[15]。因此, 水稻在确保江西粮食安全方面起到了决定性作用, 对维护国家粮食安全作出了重要贡献。但应看到粮食逐年增产, 农业环境承载力也不断增大。南方双季稻区普遍存在冬闲田面积大^[16]、种植结构单一、化肥过量与利用效率低^[13, 17–20]、光热资源潜力发挥不足等现实问题。不但造成光、热、水、温资源的浪费, 还导致土壤板结、酸化、病虫害(耐)药性上升、环境污染和生态平衡破坏等一系列问题, 严重威胁着我国农产品质量和农业生态环境安全^[3, 21–22]。因此, 在获得水稻高产的同时, 如何保护农田环境、维持可持续发展是一个亟需解决的问题。

众多研究表明, 绿肥和氮肥配施是提高氮肥利用效率的重要手段之一, 并可增加土壤有机质活性部分的比例^[23–25]。双季稻田冬种绿肥的稻田三熟制是南方传统的种植模式之一。我国南方稻区水、热资源丰富, 多数地区适宜复种冬季绿肥。绿肥是生态农业的重要组成部分, 是我国传统农业的精华。绿肥的栽培和施用在我国已有悠久的历史, 我国是世界上最早施用绿肥的国家之一, 曾对我国农业生产起到举足轻重的作用^[26–27]。其中, 紫云英是我国南方稻区主要的冬种绿肥作物之一, 它的根、茎、叶回归土地, 沤烂后不仅可以调节土地的酸碱度, 而且含有大量的有机物, 分解后既能源源不断提供作物所需的各种营养成分, 其腐殖质还能降低土壤黏度, 改

收稿日期: 2017–12–25

基金项目: 国家重点研发计划(编号: 2016YFD0300208); 江西省教育厅科学技术研究项目(编号: GJJ160395); 国家科技支撑计划(编号: 2012BAD14B14)。

作者简介: 杨滨娟(1985—), 女, 山东淄博人, 博士, 助理研究员, 主要从事耕作制度与农业生态研究。E-mail: yangbinjuan27@sina.com。

通信作者: 黄国勤, 博士, 教授, 主要从事作物学、生态学、农业发展与区域农业、资源环境与可持续发展等研究。E-mail: hguqjx@sina.com。

善土壤结构,提高土壤的保水保肥能力,是一种传统有效的有机肥料。众多研究表明,紫云英翻压后不仅能为后茬作物提供大量的养分,还能够增加土壤有机质含量,改善土壤结构和提高土壤肥力^[28-29];同等产量下,鲜紫云英翻压 15 000 ~ 22 500 kg/hm²,化肥用量可以减少 20% ~ 30%。因此,建立有冬季绿肥参与的水稻有机-无机肥料配合施用的施肥体系,对于降低农业生产成本、实现农业生产可持续发展具有十分重要的意义。

2 双减双增技术模式的理论基础

2.1 紫云英腐解速率高,并能释放出大量氮素

作物秸秆作为重要的有机肥资源,含有较丰富的养分和有机质,且施入土壤后在土壤微生物的作用下,能够腐解释放出植物生长发育所需的养分^[30-33]。了解绿肥的腐解矿化过程和养分释放规律是合理利用绿肥的基础。紫云英翻压 30 d 前可以通过腐解、分解转化,从而释放出较多量的无机态氮,并可被作物吸收利用,但只施用紫云英的话,在翻压前期(尤其是 10 d 前)及营养生长的关键时期不能提供充分的无机态氮,所以需要和化肥配施,使缓效氮和速效氮互相调剂^[7,34]。

关于紫云英腐解速率和养分释放规律的研究很多,但结果不尽相同。宋莉等研究表明,绿肥腐解过程和养分释放量呈现出翻压前 2 周分解速率最快,第 3 ~ 7 周分解速率中等,7 周以后较慢并逐渐趋于平稳的规律;翻压后各养分的释放快慢不同,表现为钾 > 磷 > 氮 > 碳,在翻压 90 d 时钾的累积释放率为 95.09% ~ 97.17%,磷的累积释放率为 62.65% ~ 87.14%,氮的累积释放率为 70.00% ~ 76.48%,碳的累积释放率为 39.53% ~ 64.69%^[35-36]。宁东峰等认为,绿肥翻压前 3 d 腐解速率最快,以后呈降低趋势并变缓^[37];赵娜等提出,前期腐解快、后期腐解慢,高峰均出现在最初的 1 个月内^[38]。马艳芹通过试验明确了紫云英腐解和氮素释放量主要是前 10 d,50 ~ 90 d 趋于稳定,而 40 ~ 90 d 之间水稻的群体吸氮量占整个生育期的 58.90% ~ 71.04%,建议水稻氮肥的运筹应集中在中后期,适当减少基肥(前 10 d)的施用量,增加分蘖肥和穗肥(第 40 ~ 90 d)的施用量^[39]。

2.2 紫云英翻压还田和减施氮肥可降低温室气体排放

全球气候变化是当今国际社会普遍关注的问题,其中气候变暖是人类面临的最为严峻的环境问题之一,温室气体(N₂O、CH₄、CO₂)等浓度增高是导致全球变暖的主要原因^[40]。大气中 CO₂、CH₄ 和 N₂O 等温室气体含量增加引起的全球变暖已经成为当今社会面临的重大挑战,它们对全球变暖的贡献率分别为 60%、15% 和 5%^[41]。农业是温室气体的主要排放源之一,农业生产对温室气体总排放量的贡献率大约是 20%。大气中每年有 5% ~ 20% 的 CO₂ 来源于土壤^[42]。农业土壤排放的 N₂O 约占人类活动 N₂O 总排放量的 52%^[42];稻田排放的 CH₄ 占全球人为 CH₄ 总排放量的 12% ~ 16%^[42],二者浓度也正以每年 3% 和 0.22% 的速率持续增长^[43]。准确合理地核算农业温室气体的排放量,可以为合理制定农业减排措施提供依据。我国稻田主要分布在亚热带地区,该区稻田占全国总面积的 31.4%^[44],本研究以江西中亚热带双季稻田作为对象,具有典型代表性。氮肥是植物生长发育必不可少的营养元素之一,我国拥有占世界 7% 的

耕地,却消耗了全球 35% 的氮肥,是全球氮肥使用大国。合理施用氮肥有助于提高水稻产量和稻米品质,因此确定氮肥合理用量成为当今水稻营养生理研究的热点之一^[45]。减少氮肥施用过程和施用后的氮素损失,成为田块区域和国家尺度控制氮肥用量、提高氮肥有效率和降低环境污染、减少温室气体排放的关键^[46-47]。此外,如何确定一个最佳施氮水平,在提高水稻产量同时又可减少稻田温室气体排放,也是水稻栽培过程中所急需解决的问题之一。

研究冬季绿肥翻压还田后稻田温室气体排放特征,对于合理利用冬闲田,发展冬季绿肥,以及科学评价不同种植模式具有重要意义。稻田冬季作物覆盖,可以充分利用冬春季光热资源,增加单位面积生物产量和土壤养分,增加碳氮蓄积,保障作物生产安全,同时也可能增加稻田有机物的投入,从而影响稻田温室气体的排放^[48]。因此,如何通过冬季种植覆盖作物,减少氮素流失,提高氮素利用率,从而达到减少温室气体排放的目的,是需要进一步探讨的问题。当前关于冬种紫云英还田后对稻田温室气体排放的影响结论并不一致,相关学者研究认为,豆科绿肥还田促进了稻田甲烷菌的生长及土壤的反硝化作用,对稻田土壤 CH₄ 和 N₂O 的排放有极大的促进效应^[49-54]。相关学者则认为,绿肥还田后可替代部分化肥,减少因施用化肥导致的温室气体排放^[55-57]。唐海明等研究表明,冬季覆盖作物残茬还田后,早、晚稻田 CH₄ 和 N₂O 排放量均明显高于冬闲-双季稻;翻耕稻草覆盖马铃薯-双季稻的稻田 CH₄ 和 N₂O 综合温室效应总和最高,冬季覆盖作物残茬还田明显提高稻田 CH₄ 和 N₂O 排放量^[48]。

2.3 紫云英翻压还田和减施氮肥可对水稻生产产生协同促进效应,实现节肥增产

施用绿肥能提高土壤养分特别是有机质、速效钾、速效磷和碱解氮,进而提高作物的产量和品质。徐昌旭等研究发现,水稻田翻压紫云英后,可以减少 20% ~ 40% 氮肥施用量,既增加土壤中有效养分含量,有利于水稻植株对养分的吸收,水稻又不出现减产^[58-59];而且翻压 22 500 kg/hm² 的紫云英后,与配施 100% 化肥(N, 50 kg/hm²)相比,减少 20% 化肥用量有利于水稻地上部对养分的吸收,促进茎秆和籽粒中干物质的累积^[60]。郭晓彦等研究发现,翻压 15 000 ~ 22 500 kg/hm² 的紫云英在减少 20% ~ 40% 的氮肥用量时能够保证水稻的正常生长^[61]。高菊生等通过对连续 27 年长期不同轮作制度定位试验的研究结果表明,与冬闲处理相比较,冬种绿肥能促进水稻增产^[62],且以冬种紫云英的增产幅度最大^[63]。相关研究表明,在紫云英翻压 22 500 kg/hm² 条件下,与紫云英配施 100% 化肥相比,施用 80% 化肥用量可有效促进早稻有效穗数、每穗粒数以及实粒数等产量构成,而且水稻产量并未出现减产,甚至有提高早稻产量的趋势^[64-65]。卢萍等研究表明,种植冬季绿肥还田能在一定程度上提高土壤供氮能力,减少无机氮肥的用量,不会对水稻产量产生影响^[66]。

3 双减双增技术模式的具体内容

(1) 冬前控水。在水稻收获前,保持水稻土壤含水量 ≤ 30%,控制土壤低水分含量,保持土壤一定的压缩性,提高稻田土壤的硬度和抗碾压能力,从而可减轻机械作业时对紫云英幼苗的损伤程度。(2) 播期后移。在晚稻收获前 10 d 播

种,避开了紫云英生长发育的关键期与水稻收获时机械作业对稻田碾压的重叠期,减少对紫云英种子的破坏程度,提高紫云英的出苗和生长发育能力。(3)覆盖过冬。晚稻收获后,撒一薄层稻草(以能透光为度)遮盖幼苗,冬季可以遮阳保湿、防霜防冻,有利于紫云英稻田保墒、越冬和正常生长,提高其产量。(4)以磷增氮。在紫云英冬季生长和分枝高峰期,重施冬肥,撒施钙镁磷肥 $225 \sim 300 \text{ kg/hm}^2$,有条件可加施草木灰 $750 \sim 1\,500 \text{ kg/hm}^2$ 保暖越冬。磷肥、钾肥可促进分枝,提高抗寒能力,过磷酸钙和氯化钾提倡分次施用,以延长肥

效,避免徒长。(5)延期翻压。在早稻移栽前 $5 \sim 7 \text{ d}$ 翻压紫云英,紫云英翻压与早稻移栽间隔时间较短有利于水稻产量的提高,这主要与紫云英腐解和养分释放规律有关。(6)氮肥前移,加速腐解。在翻压紫云英的同时配施氮肥,使缓效氮和速效氮互相调剂,进一步加速腐解,从而释放出较多的无机态氮被水稻吸收利用。(7)减施氮肥。紫云英全量还田条件下,可以有效补充土壤中的有效氮,减少常规施氮量 150 kg/hm^2 的 40% ,即早、晚稻分别施氮 90 kg/hm^2 。

双减双增技术模式的流程见图 1。

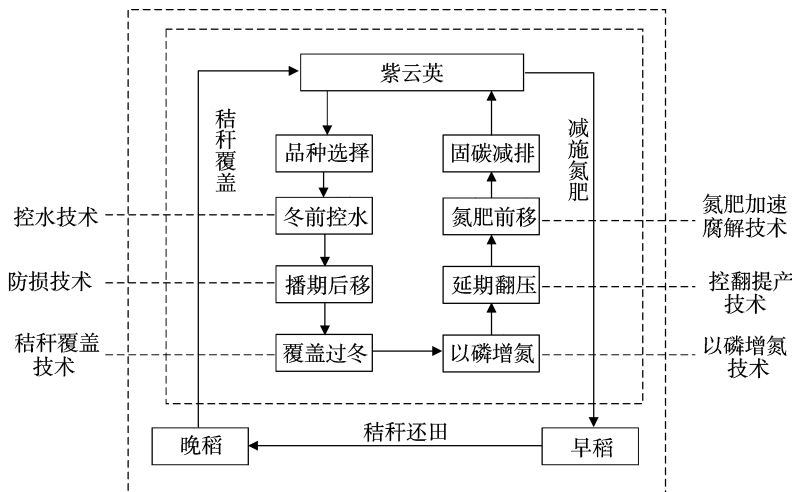


图1 双减双增技术模式示范流程

4 双减双增技术模式规程

4.1 冬种紫云英栽培技术

4.1.1 选用良种,拌肥播种 紫云英品种选用余江大叶籽。播前选晴好天气晒种 $4 \sim 5 \text{ h}$,按照 $2:1$ 的比例将细沙与种子混合,洒水湿润后,装在布袋里反复揉搓摩擦,磨去蜡质层(种子量较大时用碾米机磨去蜡质层),然后用 $2\% \sim 3\%$ 盐水选种,清除病粒和空秕率,用 0.2% 钼酸铵溶液浸种 24 h ,捞出晾干,随后用 75 kg/hm^2 钙镁磷肥与 $300 \sim 375 \text{ kg/hm}^2$ 土杂肥混合均匀,再与晾干的种子充分拌匀,拌后即播。

4.1.2 适时播种,培育壮苗 紫云英在晚稻收获 10 d 前播种,避开紫云英生长发育的关键期与水稻收获时机械作业对稻田碾压的重叠期,减少对紫云英种子的破坏程度,以利于水稻成熟和紫云英出苗、生长。紫云英播种量为 37.5 kg/hm^2 ,播种时按田定量、分畦匀播,落籽均匀。

4.1.3 冬前控水,抗旱防渍 在晚稻分蘖末期结合晒田开出三沟轮廓,大田一般要开十字沟、厢沟、田边沟或中心排水沟。播种紫云英时,应保持土壤湿润或有 $1 \sim 2 \text{ cm}$ 薄水层,以便种子吸水发芽。在水稻收获前,保持水稻土壤含水量 $\leq 30\%$,控制土壤低水分含量,保持土壤一定的压缩性,提高稻田土壤的硬度和抗碾压能力,从而可减轻机收晚稻时对紫云英幼苗的损伤程度。

4.1.4 稻草覆盖,保墒防冻 晚稻收获后,趁田土湿润时撒一薄层稻草(以能透光为度)遮盖幼苗,并将多余的稻草清出田间或集中在稻田一角堆沤,严禁在紫云英田焚烧稻草,以免烧死或灼伤幼苗。覆盖稻草冬季可以遮阳保湿、防霜防冻,有利于紫云英稻田保墒、越冬和正常生长,有利于提高其产量。

4.1.5 重施冬肥,促发分枝 10 月中下旬是紫云英冬季生长和分枝高峰期,施肥时间掌握在割稻后 15 d 内完成,一般撒施钙镁磷肥 $225 \sim 300 \text{ kg/hm}^2$,有条件可加施草木灰 $750 \sim 1\,500 \text{ kg/hm}^2$ 保暖越冬。在苗期和初花期各喷施硼、钼等微量元素各 1 次,可起到保花保荚、防止早衰和提高结实率的作用。

4.1.6 追施春肥,助推高产 春季是紫云英的旺长期,一般立春过后,天气回暖,紫云英茎叶生长快,需肥量加大,此时要及时追施肥料。追肥时间以 2 月下旬至 3 月初为宜,施尿素 $37.5 \sim 45.0 \text{ kg/hm}^2$ 、氯化钾 $45 \sim 60 \text{ kg/hm}^2$,达到以小肥换大肥、以无机肥换有机肥的目的。

4.1.7 适时翻压,培肥地力 在早稻移栽前 $5 \sim 7 \text{ d}$ 犁翻压青,紫云英翻压与早稻移栽间隔时间较短有利于水稻产量提高,压青时结合撒石灰 $225 \sim 300 \text{ kg/hm}^2$,使其充分腐烂,中和酸性,紫云英翻压量以 $22\,500 \sim 30\,000 \text{ kg/hm}^2$ 为宜,多出的部分可以割走翻入其他田块。结合耕翻将紫云英翻入土层,深度掌握在耕层范围内,要求压严、压实,与土壤密合无空隙。耕翻后及时上水,保持水层 20 d ,以加快紫云英腐解。在翻压紫云英的同时配施氮肥 45 kg/hm^2 ,使缓效氮和速效氮互相调剂,进一步加速腐解,从而释放出较多的无机态氮被水稻吸收利用。

4.2 水稻栽培技术

4.2.1 准备秧田,选种备种 选择无污染、地势平坦、排水良好、水源方便、土质肥沃的中性旱地做秧田,秧田长期固定,连年培肥、消灭杂草。在 3 月下旬选晴天翻耕秧田。选用适合本地生产条件,优质、丰产、抗(耐)病虫性强、商品性好的水稻品种,种子质量符合 GB/4404.1—1999 的规定。按照“增

加半斤种,增产一担谷”行动要求适当增加用种量,备种 37.5 kg/hm^2 。

4.2.2 浸种催芽,精量匀播 浸种前将种子摊晒 2~3 d,浸种时先用清水选种,去掉杂质和病粒。将选好的种子用强氯精兑水浸种 12 h,捞出用清水洗净沥干后催芽,催芽露白即可播种。采用湿播早育方式,早稻在 3 月 25 日前后播种,晚稻在 6 月底播种。早稻秧龄 25~30 d,晚稻秧龄 30~35 d。具体的播期、播量因品种及茬口而定。双季晚稻要确保 9 月下旬前齐穗。

4.2.3 秧田管理,培育壮苗 播种后做到沟中有水,畦田无水。秧苗 1 叶 1 心期喷施敌磺钠,防止秧苗发生绵腐病和立枯病;2 叶期后,采用沟灌,烈日“跑马水”,晴天平沟水,阴天半沟水,雨天排干水,2 叶 1 心期后,水可以上厢面;2~3 叶期注意以水调温,以水护苗,外界气温稳定在 18°C 左右,能揭农膜时,及时揭掉农膜,降温炼苗,防止高温伤苗,防秧苗徒长,有利于增强秧苗素质和培育带蘖壮秧。揭膜时,先灌水上厢面,防止秧苗失水发生青枯死苗。2 叶期秧田施 37.5 kg/hm^2 尿素,促进秧苗健壮生长。插秧前 4~5 d 施 $60\sim 75 \text{ kg/hm}^2$ 尿素和 37.5 kg/hm^2 钾肥,促发新根,防病防虫。

4.2.4 适时移栽,宽行密植 插秧前 2~3 d 精细平整大田,待大田沉实后栽插。早稻移栽在 4 月中下旬,晚稻在 7 月中下旬,早稻行距为 20 cm,株距为 14 cm;晚稻行距为 20 cm,株距为 17 cm。

4.2.5 重施基肥,早施追肥 施足基肥,增施磷肥、钾肥。早稻、晚稻所用化肥为尿素($\text{N } 46\%$)、钙镁磷肥(P_2O_5 12%)、氯化钾($\text{K}_2\text{O } 60\%$),周年常规用量为 N 、 P_2O_5 、 K_2O 为 150、90、120 kg/hm^2 ,紫云英翻压后,氮肥施用量减至 90 kg/hm^2 。氮肥早稻按基肥:分蘖肥:穗肥=6:3:1 施用,晚稻按基肥:分蘖肥:穗肥=5:3:2 施用。磷肥全部作基肥,一次性施入,钾肥按分蘖肥:穗肥=7:3 施用。氮、磷基肥在插秧前 1 d 施下,分蘖肥在水稻移栽后 5~7 d 时施用,穗肥在主茎幼穗长 1~2 cm 时施用。

4.2.6 好气灌溉,科学管水 在整个水稻生育期间,除施肥、病虫草害防治以及抽穗扬花需要保持浅水层以外,主要采用间歇灌溉为主,使土壤处于富氧状态,促进根系生长,增强根系活力。当茎蘖数达穗数苗的 90% 左右开始多次搁田,以控制高峰苗。生育后期采用干湿交替灌溉,有水抽穗,干湿壮籽,成熟前 5~7 d 断水,以协调根系对水、气的需求,直至成熟。

4.2.7 病虫草害,综合防治 始终坚持“预防为主,综合防治”的方针。秧田期间重点防治稻蓟马,在秧苗移栽前 3~5 d 喷施 1 次长效农药,带药下田。其他时间的病虫防治,根据本地区的病虫预测预报和大田病虫发生情况,选用高效、长效、环保农药,使用先进施药机械打药防治,以提高防治效果和农药利用率。

4.2.8 及时收割,清洁贮存 在水稻齐穗后 25~30 d,成熟度达 90% 左右时及时收割。做到雨后叶片未干不收获,叶面有露水不收获。切忌长时间堆垛在公路上打场暴晒,以防污染和品质下降。贮运时注意单收单贮单运,仓库要消毒、除虫、灭鼠,进仓后注意检查温度和湿度,防霉、防鼠害,运输时不与其他物质混载。

5 结论

密切结合南方双季稻区冬季绿肥生产实际,致力于解决江西双季稻区冬闲田逐年增加、冬季稻田生产力低下、资源利用效率低、无机肥料大量施用而导致的耕地土壤理化性状变差、养分管理不合理、环境污染等瓶颈问题,以绿色、高效、循环为研究思路,从农业资源内部循环、冬季资源高效利用、化肥减量投入着手,提出了主攻冬季作物,优化冬作-双季稻作物高产种植制度的思路,对冬种紫云英的用地养地效应与资源高效利用效应、冬种紫云英的增产潜力和生态效应、冬种紫云英条件下紫云英腐解与养分释放规律、稻田温室气体排放规律、全球增温潜势等进行科技攻关,获得了冬前控水、播期后移、覆盖过冬等种植技术,研发了以磷增氮、延迟翻压、氮肥前移等腐解技术,集成了冬种紫云英双减双增绿色高效循环农业模式,并进行了大面积的推广应用。建立了江西省万年县农业科学研究所、余江县农业科学研究所、余江县邓家埠水稻原种场、江西农业大学科技园试验田 4 个实验基地。在万年县、余江县累计建立核心区 1 667.67 hm^2 ,在万年县、余江县、新建区、安义县、永修县建立示范区 2 万 hm^2 ,技术辐射区 22.32 万 hm^2 。

鉴于冬种紫云英资源高效利用循环农业模式在南方三熟区的突出影响,促进了双减双增绿色高效循环农业模式在鄱阳湖生态经济区的转化应用,并取得了以下显著的经济、社会和生态效益:2012—2016 年,紫云英茎叶量 147.70 万 t,提高光能利用效率幅度达到 31.52%,温室气体减排量 966.02 万 t,固碳量 240.8 万 t。相对于常规模式施肥(150 kg/hm^2)减少了 60 kg/hm^2 ,可节约生产成本 3 486.15 元/ hm^2 。项目实施 5 年以来,可新增收入 1.97 亿元。

参考文献:

- [1] 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): 92-97,102.
- [2] 王鹤桥. 绿肥对黑土土壤有机质的影响及其相关因素[J]. 土壤肥料,1988(1):31-58.
- [3] 高菊生,曹卫东,李本荣,等. 充分利用冬闲稻田大力发展绿肥生产[J]. 耕作与栽培,2009(2):1-2.
- [4] 李正,刘国顺,叶协锋,等. 绿肥翻压年限对植烟土壤微生物量 C、N 和土壤 C、N 的影响[J]. 江西农业学报,2010,22(4):62-65,68.
- [5] 苏全平,李建国,范芳,等. 稻田套播紫云英高产栽培技术[J]. 江西农业科技,2004(8):8-10.
- [6] 杨曾平,高菊生,郑圣先,等. 长期冬种绿肥对红壤性水稻土微生物特性及酶活性的影响[J]. 土壤,2011,43(4):576-583.
- [7] 潘福霞,鲁剑巍,刘威,等. 三种不同绿肥的腐解和养分释放特征研究[J]. 植物营养与肥料学报,2011,17(1):216-223.
- [8] 俞益武,徐秋芳. 天然林改为经济林后土壤微生物量的变化[J]. 水土保持学报,2003,17(5):103-105,113.
- [9] 周开芳,何炎. 豆科冬绿肥翻压对土壤肥力和杂交玉米产量及品质的影响[J]. 贵州农业科学,2003,31(增刊1):42-43.
- [10] 刘晓冰,宋春雨,Stephen J H,等. 覆盖作物的生态效应[J]. 应用生态学报,2002,13(3):365-368.

- [11] 唐海明, 汤文光, 肖小平, 等. 冬季覆盖作物对南方稻田水稻生理生化及生长特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(6): 1176–1182.
- [12] 袁晓明, 沈庆雷, 杜 斌, 等. 不同绿肥还田后减氮对水稻产量的影响[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(4): 455–457.
- [13] 林忠辉, 陈同斌, 周立祥. 中国不同区域化肥资源利用特征与合理配置[J]. 资源科学, 1998, 20(5): 29–34.
- [14] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 2013[M]. 北京: 中国统计出版社, 2013.
- [15] 欧阳林娟, 陈小荣, 傅军如, 等. 关于发展江西水稻种子企业的对策与建议[J]. 中国稻米, 2011, 17(6): 28–30.
- [16] 聂 军, 廖育林, 彭科林, 等. 湖南省绿肥作物生产现状与展望[J]. 湖南农业科学, 2009(2): 77–80.
- [17] 马文奇, 张福锁, 张卫锋. 关乎我国资源、环境、粮食安全和可持续发展的化肥产业[J]. 资源科学, 2005, 27(3): 33–40.
- [18] 张维理, 武淑霞, 冀宏杰, 等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策 I. 21 世纪初期中国农业面源污染的形势估计[J]. 中国农业科学, 2004, 37(7): 1008–1017.
- [19] 吴建富, 施 翔, 肖青亮, 等. 我国肥料利用现状及发展对策[J]. 江西农业大学学报, 2003, 25(5): 725–727.
- [20] 吕家珑, 张一平, 王旭东, 等. 长期单施化肥对土壤性状及作物产量的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12(4): 569–572.
- [21] 徐祥玉, 王海明, 袁家富, 等. 不同绿肥对土壤肥力质量及其烟叶产质量的影响[J]. 中国农学通报, 2009, 25(13): 58–61.
- [22] 侯方舟, 屠乃美, 何 康, 等. 南方双季稻区冬种绿肥对土壤质量的影响研究进展[J]. 作物研究, 2015, 29(6): 682–686.
- [23] 朱菜红, 董彩霞, 沈其荣, 等. 配施有机肥提高化肥氮利用效率的微生物作用机制研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(2): 282–288.
- [24] 薛 峰, 颜廷梅, 杨林章, 等. 施用有机肥对土壤生物性状影响的研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(6): 1372–1377.
- [25] 张 璐, 张文菊, 徐明岗, 等. 长期施肥对中国 3 种典型农田土壤活性有机碳库变化的影响[J]. 中国农业科学, 2009, 42(5): 1646–1655.
- [26] 曹卫东, 徐昌旭. 中国主要农区绿肥作物生产与利用技术规程[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2010: 150–160.
- [27] 杨春燕, 赵双进, 张孟臣. 高蛋白大豆新品种冀豆 15 号的选育[J]. 河北农业科学, 2005, 9(2): 60–62.
- [28] 林多胡, 顾荣申. 中国紫云英[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2000: 69–84.
- [29] 刘 英, 王允青, 张祥明, 等. 种植紫云英对土壤肥力和水稻产量的影响[J]. 安徽农学通报, 2007, 13(1): 98–99, 189.
- [30] 劳秀荣, 孙伟红, 王 真, 等. 秸秆还田与化肥配合施用对土壤肥力的影响[J]. 土壤学报, 2003, 40(4): 618–623.
- [31] 夏 炎. 高产稻麦两熟制条件下秸秆还田效应的研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2010: 20–35.
- [32] 王振忠, 李庆康, 吴敬民, 等. 稻麦秸秆全量直接还田技术对土壤的培肥效应[J]. 江苏农业科学, 2000(4): 47–49.
- [33] 李逢雨, 孙锡发, 冯文强, 等. 麦秆、油菜秆还田腐解速率及养分释放规律研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(2): 374–380.
- [34] 唐 杉, 王允青, 曹卫东, 等. 不同还田条件下稻田紫云英氮素释放规律及效应[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(7): 2945–2947.
- [35] 宋 莉, 韩 上, 鲁剑巍, 等. 油菜秸秆、紫云英绿肥及其不同比例配施还田的腐解及养分释放规律研究[J]. 中国土壤与肥料, 2015(3): 100–104.
- [36] 邓小华, 罗 伟, 周米良, 等. 绿肥在湘西烟田中的腐解和养分释放动态[J]. 烟草科技, 2015, 48(6): 13–18.
- [37] 宁东峰, 马卫萍, 孙文彦, 等. 华北地区棉田翻压冬绿肥腐解及养分释放规律研究[J]. 华北农学报, 2011, 26(6): 164–167.
- [38] 赵 娜, 赵护兵, 鱼昌为, 等. 旱地豆科绿肥腐解及养分释放动态研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(5): 1179–1187.
- [39] 马艳芹. 紫云英还田配施氮肥对水稻产量、土壤环境及生态服务功能价值的影响[D]. 南昌: 江西农业大学, 2017: 16–27.
- [40] 廖婷婷, 王忠波, 张忠学, 等. 稻田温室气体排放研究综述[J]. 农机化研究, 2014(10): 6–11.
- [41] Wgiii I. Climate change 2007 – mitigation of climate change: working group III contribution to the fourth assessment report of the IPCC[J]. Computational Geometry, 2007, 18(2): 95–123.
- [42] 张若玉, 何金海, 张 华. 温室气体全球增温潜能的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(28): 17416–17419, 17422.
- [43] Ghosh S, Majumdar D, Jain M C. Methane and nitrous oxide emissions from an irrigated rice of North India[J]. Chemosphere, 2003, 51(3): 181–195.
- [44] Wu J. Carbon accumulation in paddy ecosystems in subtropical China: evidence from landscape studies[J]. European Journal of Soil Science, 2011, 62(1): 29–34.
- [45] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 783–795.
- [46] 巨晓棠. 氮肥有效率的观念及意义——兼论对传统氮肥利用率的理解误区[J]. 土壤学报, 2014, 51(5): 921–933.
- [47] Zhu Z L, Chen D L. Nitrogen fertilizer use in China – contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2002, 63(2/3): 117–127.
- [48] 唐海明, 肖小平, 汤文光, 等. 双季稻区冬季覆盖作物残茬还田对稻田甲烷和氧化亚氮排放的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(9): 1666–1675.
- [49] Aulakh M S, Doran J W, Walters D T, et al. Crop residue type and placement effects on nitrification and internalization[J]. Soil Science Society of America Journal, 1991, 55(4): 1020–1025.
- [50] Aulakh M S, Khara T S, Doran J W, et al. Nitrification, N_2O and CO_2 fluxes in rice – wheat cropping system as affected by crop residues, fertilizer N and legume manure[J]. Biology and Fertility of Soils, 2001, 34(6): 375–389.
- [51] Mckenney D J, Wang S W. Denitrification and mineralization in soil amended with legume, grass, and corn residues[J]. Soil Science Society of America Journal, 1993, 57(4): 1013–1020.
- [52] Galbally I E, Fraser P J, Meyer C P, et al. Biosphere – atmosphere exchange of trace gases over Australia[A]//Australia's renewable resources: sustainability and global change International Geosphere Biosphere Programme Australia Planning Workshop No 14, 1992: 117–149.
- [53] O'Hara G W, Daniel R M. Rhizobial denitrification: a review. [J]. Soil Biology & Biochemistry, 1985, 17(1): 1–9.
- [54] 胡立峰, 李 琳, 陈 阜, 等. 不同耕作制度对南方稻田甲烷排放的影响[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1216–1219.
- [55] 朱 波, 易丽霞, 胡跃高, 等. 黑麦草鲜草翻压还田对双季稻田肥料氮循环的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(13): 2764–2770.

陈银竹,丁伟,刘胜男,等. 草甘膦对转基因抗草甘膦大豆的安全性研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(16):56-59.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.16.013

草甘膦对转基因抗草甘膦大豆的安全性研究

陈银竹¹, 丁伟¹, 刘胜男¹, Muhammad Shahid khan^{1,2}

(1. 东北农业大学农学院, 黑龙江哈尔滨 150000; 2. 白沙瓦农业大学, 巴基斯坦白沙瓦 1599107)

摘要:采用草甘膦种子和茎叶处理研究转基因抗草甘膦大豆的安全性,为减少草甘膦用量和转基因抗草甘膦大豆的安全应用提供理论依据。以转基因抗草甘膦大豆为试材,采用田间随机区组设计方法,测定转基因大豆的生理指标和杂草防除效果。结果表明,562.5 g a.i./hm² 草甘膦种子处理和 1 125 g a.i./hm² 草甘膦茎叶处理后,除莽草酸含量不受影响,转基因大豆的株高、鲜质量、干质量、叶绿素含量以及光合速率各项生理指标均在施药初期受到抑制,茎叶处理后 28 d、种子处理播种后 61 d 时各生理指标均可恢复正常;草甘膦茎叶处理对杂草具有显著的防除效果,草甘膦施用后 7 d,杂草防效为 94.67%,28 d,杂草防效为 72.33%,且对大豆安全。草甘膦种子和茎叶处理对转基因抗草甘膦大豆均具有较好的安全性,且茎叶处理能有效控制杂草。

关键词:草甘膦;转基因抗草甘膦大豆;安全性;杂草防除效果;生理生化

中图分类号:S451.22⁺4 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2018)16-0056-04

近年来,基因工程技术发展势头迅猛,种植业中以转基因抗草甘膦大豆的发展最为迅速。而大豆为我国重要的粮食作物,杂草防除一直是大豆种植过程中的重点问题。化学除草是大豆田防除杂草的重要手段,近几年大豆田化学除草面积已达其播种面积的 90% 以上^[1]。转基因抗草甘膦大豆的出现便为人们提供了一种能有效控制杂草的新途径,不仅大大降低了除草成本和劳动强度,并且有效延缓了大豆田抗性杂草的出现,除草剂药害的发生也明显降低,已成为美洲地区大

豆田杂草防除的重要方法之一。草甘膦由美国孟山都公司研制开发,目前是世界上除草剂使用量最大的品种之一^[2]。草甘膦通过抑制莽草酸途径中的 5-烯醇式丙酮莽草酸-3-磷酸合成酶(EPSPS),使微生物和植物不能合成生存必需的芳香族氨基酸而导致死亡^[3-4]。其特点是杀草谱广、传导性好、残效低,在转基因抗草甘膦大豆整个生育期都可以使用。国内外普遍将草甘膦应用于茎叶处理,而对应用草甘膦进行种子处理的安全性和杂草防除效果鲜有研究。本试验通过草甘膦种子处理和茎叶处理研究草甘膦的安全性,为减少草甘膦的用量和我国当前自主研发的转基因抗草甘膦大豆的安全应用提供理论依据。

已有的研究表明,一定浓度的草甘膦会造成转基因大豆叶片的叶绿素含量降低、叶绿体结构变化和光合速率下降,叶绿素恢复过程需要 2 周左右,莽草酸含量几乎没有变化^[5-11]。Bellaoui 等研究表明,草甘膦会影响转基因抗草甘膦大豆的碳代谢和氮代谢^[12]。种子用草甘膦溶液浸泡后播于土壤中,敏感的大豆种子浸泡 4 h 后不能发芽,而转基因种

收稿日期:2017-03-07

基金项目:国家转基因生物新品种培育重大专项(编号:2015ZX08011-003);黑龙江省留学归国人员基金(编号:LC2011C01)。

作者简介:陈银竹(1992—),男,黑龙江哈尔滨人,硕士研究生,主要从事杂草生物学与转基因作物安全评价研究。E-mail:940081822@qq.com。

通信作者:丁伟,博士,教授,研究方向为农药生态安全与转基因作物安全评价。E-mail:dingwei@neau.edu.cn。

[56] Xu H, Cai Z C, Jia Z J, et al. Effect of land management in winter crop season on CH₄ emission during the following flooded and rice-growing period[J]. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 2000, 58 (1/2/3): 327-332.

[57] 熊正琴,邢光熹,鹤田治雄,等. 豆科绿肥和化肥氮对双季稻田氧化亚氮排放贡献的研究[J]. 土壤学报,2003,40(5):704-710.

[58] 徐昌旭,谢志坚,曹卫东,等. 翻压绿肥后不同施肥方法对水稻养分吸收及产量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2011(3):35-39.

[59] 黄晶,高菊生,刘淑军,等. 冬种紫云英对水稻产量及其养分吸收的影响[J]. 中国土壤与肥料,2013(1):88-92.

[60] 徐昌旭,谢志坚,许政良,等. 等量紫云英条件下化肥用量对早稻养分吸收和干物质积累的影响[J]. 江西农业学报,2010,22 (10):13-14,23.

[61] 郭晓彦,宋晓华,刘春增,等. 紫云英翻压量和化肥用量对水稻生长、产量及经济效益的影响[J]. 山地农业生物学报,2014,33 (5):7-12.

[62] 高菊生,曹卫东,董春华,等. 长期稻-稻-绿肥轮作对水稻产量的影响[J]. 中国水稻科学,2010,24(6):672-676.

[63] 曾庆利,龚春华,徐永士,等. 紫云英不同翻压量对水稻产量和产值的影响[J]. 湖南农业科学,2009(6):76-77,88.

[64] 谢志坚,徐昌旭,许政良,等. 翻压等量紫云英条件下不同化肥用量对土壤养分有效性及水稻产量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2011(4):79-82.

[65] 李双来,李登荣,胡诚,等. 减施化肥条件下翻压不同量紫云英对双季稻生长和产量的影响[J]. 中国土壤与肥料,2012(1):69-73.

[66] 卢萍,杨林章,单玉华,等. 绿肥和秸秆还田对稻田土壤供氮能力及产量的影响[J]. 土壤通报,2007,38(1):39-42.