

水稻少免耕栽培研究进展^①

吴文革¹, 张玉海^{1,2}, 汪新国³, 杨惠成³, 郑乐娅¹, 闫川¹

(1 安徽省农科院水稻研究所所长江中下游稻作技术创新中心, 合肥 230031; 2 安徽农业大学农学院, 合肥 230006;

3 安徽省农业技术推广总站, 合肥 230001)

摘要: 本文综述了水稻免耕栽培的研究进展, 综合介绍少免耕对稻田土壤理化性状、土壤微生物以及稻田杂草环境变化的影响, 重点分析了少免耕水稻生长发育及产量形成等方面的研究进展, 提出了今后水稻免耕栽培技术的研究重点和发展方向, 提出了需重点加强研究解决的技术对策。

关键词: 水稻; 免耕直播; 免耕抛秧; 土壤质量; 生育特性

中图分类号: S34; S157.42

目前, 免耕、少耕技术已在世界上 30 多个国家开展研究和应用, 面积达到 0.5 亿 hm^2 , 但绝大多数为旱地作物覆盖免耕^[1-2]。美国是世界上采用免耕栽培面积最大的国家^[3]; 英国比较成功的免耕栽培作物是冬小麦和油菜; 加拿大、澳大利亚、德国、俄罗斯等国家在旱地进行了少耕和免耕^[4-5]; 水田少免耕栽培正在包括中国在内的东南亚国家研究示范^[6]。

旱地免耕在我国始于 20 世纪 50 年代后期, 开始主要在农垦系统试验示范, 直到 70 年代以后, 黑龙江省研究推广了深松技术, 免耕法就逐步发展起来^[7]。中国农科院土肥所在晋东南地区进行了休闲期不同耕作法的研究, 同时北方各地注意了免耕、秸秆覆盖技术的研究和开发, 出现了一年两作夏玉米免耕覆盖, 麦田套种夏玉米苗期覆盖等形式。近来, 山西农科院土肥所在黄土高原进行了整秸覆盖免耕的培肥试验^[8], 山东农业大学对免耕土壤的养分行为进行了研究^[9]。多数研究者和学者认为免耕覆盖等措施能增加土壤水分、减少地面蒸发、改善土壤结构、降低耕层盐分、增强生物活性, 增产幅度一般在 10% 以上^[10-12]。

我国稻田免耕的试验研究始于 20 世纪 60 年代, 到 80 年代稻田免耕在南方稻区得到迅猛的发展。江苏农科院为解决土壤泡水时间过长、旋耕过多, 产生次生潜育化等问题, 在太湖地区进行了免耕稻茬麦、麦茬免耕稻的研究^[13-19]。1982—1989 年西南农业大学和四川农科院分别在川西平原和川东丘陵区, 采取开沟起垄, 垄上种植免耕稻, 垄沟养鱼或养萍, 冬季种小麦 (或油菜) 形成立体开发, 连续利用的开发模式。许

多研究者认为, 稻田免耕可提高作物产量, 改变土壤的理化特性和稻田生境, 提高土地的产出率, 具有省工、省肥、省水、高产等优点^[20-23]。1988 年仅四川省推广的稻田垄作免耕面积就达 29 万 hm^2 , 增加水稻产量 200 万 t。近年来江苏、浙江、安徽、云南、贵州、湖南、湖北等省份也相继开展了稻田免耕的研究^[24]。

1 少免耕水稻的生育与生理特性

1.1 少免耕栽培水稻的生长发育

免耕直播水稻秧苗单株营养面积大、根系活力强、个体发育好; 分蘖发生早、分蘖节位低、有效分蘖终止期早、成穗率高、有效穗数多; 全生育期较短、个体与群体发育协调、光能利用率高, 有利于形成高产。免耕直播稻同样具有翻耕直播稻的营养生长、物质生产和产量优势。陈友荣等^[25]研究认为免耕直播有利于分蘖分生, 且具有低位分蘖及成穗优势, 生育后期功能叶片和根系的生理活性强, 比翻耕移栽增产 1.4% ~ 6.5%, 降低生产成本 22% ~ 44%。顾掌根等^[26]研究认为免耕直播稻具有分蘖节位低、够苗期早、有效分蘖穗多、根系发达、根系活力强、以群体与个体协调、光合效率高等特点, 因而稳产增产。张洪程等^[27]和王鹤云等^[28]研究了麦茬水稻的生育特性, 发现直播稻比移栽稻干物质积累尤其是抽穗后的干物质积累迅速, 抽穗后净同化量增加。一是由于中期群体质量高, 促进拔节后叶面积指数稳步增加, 到始穗期达到最高值, 上三叶的叶面积占总叶面积的 61.7%, 有利于颖花发育和防止颖花退化; 二是抽穗后根系活力强、叶

①基金项目: 国家支撑计划项目 (2007BAD89B10)、国家支撑计划粮丰技工程项目 (2006BAD02A06) 和安徽省科技攻关计划 (08010302160) 资助。

作者简介: 吴文革 (1967—), 男, 安徽安庆人, 博士, 研究员, 主要从事水稻生理生态研究。E-mail: wuwenge@vip.sina.com

面积下降平稳, 20 天后仍保持 5.1 的叶面积指数, 成熟期仍保持 2 片绿叶, 有利于后期光合生产。

1.2 少免耕栽培水稻的产量形成

少免耕稻作往往可以促蘖增穗和提高谷粒饱满度。张勇等^[29]研究表明, 免耕直播有利于水稻分蘖增多, 成穗率提高, 据其测定免耕直播田早稻单株分蘖数为 5.4 个, 单株成穗数为 2.6 个, 而翻耕移栽水稻单株分蘖数仅为 3.0 个, 单株成穗数为 1.7 个。据杜金泉^[30]报道, 少耕、免耕与翻耕稻相比, 少耕、免耕稻的有效穗提高 1 万左右, 结实率和千粒重略有提高。邵达三和黄细喜^[23]对苏南地区少免耕水稻茎蘖动态调查表明: 分蘖前期免少耕水稻茎蘖数高于常规耕作区, 而到分蘖末期, 由于常规耕区的旺发势头大, 茎蘖数超过免少耕区, 但免少耕区的有效穗和成穗率比常规耕区高。他们认为常规耕区形成大群体、弱个体的群体结构, 而免少耕区群体适中, 株型紧凑, 形成小群体、壮个体的构型。

1.3 少免耕栽培水稻的产量

免耕一般比常耕对水稻有增产作用。据杜金泉^[30]报道, 就微观 (控制性小区试验) 而言, 免耕比常耕增产 5.4%, 达 5% 显著水平。就宏观而言, 同田对比试验田, 免耕平均产量 $7527 \pm 594 \text{ kg/hm}^2$, 比对照 (常耕) 增产 4.5%, 达 5% 的显著水平; 典型田块, 免耕平均产量 $7818 \pm 405 \text{ kg/hm}^2$, 比对照增产 6.7%, 同样达 5% 的显著水平。大面积生产示范, 采用免耕措施并未使水稻产量下降。另外黄锦法等^[31]、赵诚斋^[32]、罗永进等^[33]、黄东迈和朱培立^[13]、彭祖厚^[34]进行了长期多点对比试验和长期定位试验, 结果表明, 免少耕的水稻产量和常规耕作相比, 无显著增减产, 基本上近乎持平。重庆市 1990 年推广水稻自然免耕多熟作 4.28 hm^2 , 一年三熟产量 13291.5 kg/hm^2 , 其中小麦 2943.0 kg/hm^2 , 中稻 8575.5 kg/hm^2 , 再生稻 1773.0 kg/hm^2 , 分别比全市大面积常规种植的小麦、中稻和再生稻增加 378.0, 850.5, 663.0 kg/hm^2 , 充分显示了水稻自然免耕的巨大增产潜力^[34-35]。

1.4 少免耕栽培水稻的肥料吸收利用

茅国芳和褚金海^[36]对麦茬免耕和浅耕直播稻进行了比较研究, 发现浅耕土壤水稻茎秆和籽粒中的 N、 P_2O_5 吸收量均大于免耕水稻植株中的含量。相反, 免耕水稻茎秆和叶片的 K_2O 吸收量则大于浅耕水稻。廖兆熊等^[37]研究了水稻免耕直播 2 年不同 N 肥用量, 试验表明, 在免耕栽培水稻产量构成中, 有效穗数变幅较大, 施 N 区比无肥区高 15.38% ~ 48.52%; 单株干物重、株高均随 N 肥用量的增加而增大; 分蘖

~ 孕穗期植株 N 素养分干基含量占累计吸 N 总量的比例, 无肥区为 63.91%, 不同施 N 肥区为 65.75% ~ 80.14%; 籽粒含 N 量占植株的吸 N 总量, 无肥区为 67.42%, 不同施 N 肥区为 60.51% ~ 66.37%, 且随 N 肥用量的递增而降低; 稻株吸自化肥 N 量占植株总 N 量的比例, 不同施 N 肥区为 10.81% ~ 32.49%; 无肥区平均产量可达施 N 肥区平均产量的 74.62% ~ 84.35%。

王永锐和李小林^[38]报道, 免耕水稻威优 64 和陆青早 1 号分蘖期、拔节期和抽穗期³²P 吸收总量和从根系输出率均比翻耕的高, 而且根系在上述 3 个生育期所能吸收的³²P 分配到各个器官的百分率, 以根系的比翻耕的多; 免少耕威优 64 和陆青早 1 号从孕穗期、抽穗期、乳熟期到成熟期, 根系活力也比翻耕强。岳文元^[39]采用³²P 示踪试验对水稻 4 个生育期³²P 的积累和分配测定结果指出, 免耕³²P 总积累量高于常规耕作, 分蘖盛期、孕穗期、灌浆期和黄熟期, 免耕分别比常规耕作高 38.4%, 52.0% 和 40.5%; 从³²P 的分配情况看, 在孕穗期之前主要积累在叶、鞘等器官中, 随着生殖生长的进行, 越到后期³²P 在穗中的积累比例就越大, 穗中积累的³²P 量仍然表现为免耕大于常规耕作。

1.5 少免耕栽培水稻的光合作用与物质生长

关于少免耕对水稻物质生长及光合作用的影响, 目前报道还不多。据杜金泉等^[22,30]报道, 最高分蘖期, 免耕干物质重比常规耕作高 19.5%, 叶面积系数高 2.1%; 孕穗末期免耕干物质重高 59%, 叶面积系数高 2.9%; 乳熟期免耕干物质重高 33.7%; 叶面积系数高 4.2%。最高分蘖期至孕穗期的光合势免耕高 35.5%, 孕穗末期至乳熟期的光合势, 免耕高 47.8%。冯跃华等^[40]对垄作免耕稻田水稻光合作用及光能利用率进行了研究, 表明在一日之内, 水稻的光合作用随气温和光照强度的变化而变化, 在高温、强日照条件下, 光合作用较强, 垄作免耕栽培的水稻显著高于常规栽培的水稻; 在低温、弱日照条件下, 光合作用亦较弱, 两种耕作栽培的水稻差异不明显, 垄作免耕水稻提高 0.14% ~ 0.25%。在黄熟期免耕稻功能叶叶绿素含量比翻耕高 21.4% ~ 61.7%; 叶片老化指数高 12.8% ~ 25.8%。垄作免耕稻田水稻在孕穗期的叶面积指数比常规耕作高 15.2%。

1.6 少免耕栽培水稻的根系分布及活力

邵达三和黄细喜^[23]通过 3 年对江苏黄勃土和砂壤土实行免少耕栽培水稻的根系田间观察表明, 免少耕水稻根粗、多、分布较深、颜色白, 到收获期, 大多数根的末端仍然保持新鲜, 色白, 而常规耕作区恰好

相反;稻田垄作免耕水稻各生育期的白根数比常规耕作高。

据黄锦法等^[31]报道,免耕直播田水稻根系密集于表层 0~5 cm 土层中,而移栽翻耕的水稻根量则较集中于 5 cm 左右,但在 15~20 cm 土层中,免耕的水稻根量比移栽水稻增加了近 4 倍;20 cm 以下土层中,则两者基本相同。总计 0~25 cm 土层中,免耕直播稻根系总量比移栽水稻增加 38.3%,这为地上部分健壮生长奠定了扎实的基础。

张勇勇等^[29]研究表明,免耕直播稻伤流量为 36.14 mg/(株·h),而免耕移栽稻伤流量为 28.65 mg/(株·h)。稻田垄作免耕水稻的根系总面积、活性吸收表面比常规耕作多 8.9% 和 5.9%。

2 少免耕水稻的生态特点

2.1 少免耕稻田的土壤理化特性

少免耕稻田通透性明显高于翻耕土壤,氧化还原电位提高、土壤中含氧量高、亚铁反应弱,有利于提高根系活力;熟土层逐年增厚,有利于改善和提高土壤肥力。

少免耕土壤团聚体的增加,表明土壤供储养分的能力增强,同时土壤体积质量降低,有利于土壤水分和土壤空气的消长平衡,增大土壤对环境水、热变化的缓冲能力,为植物、微生物的生命活动创造良好的生态环境。刘世平等^[41]通过对江苏省 5 大农区 5 个点连续免耕两年后土壤体积质量收缩率性能和破碎强度的测定,发现免耕能改善土壤结构和土壤排水通气状况,土壤体积质量收缩率与土壤 <0.01 mm 物理性黏粒以及 <0.001 mm 黏粒含量密切相关,常耕与免耕破碎强度的差值也与黏粒含量有一定的相关,因此土壤黏粒含量较高的土壤更不能烂耕烂种和过多水耕水耙。

自然免耕土壤为毛管水浸润,兼具有干田、旱地和冬水田的物相结构、土壤三相容积组成比例适当。高明等^[42]研究了垄作免耕下稻田团聚体和水热状况的变化,发现垄作免耕下的稻田土壤 ≤0.01 mm 土粒团聚度有增大的趋势。土壤水、热状况处于新的协调状态,促进了土壤潜在肥力的发挥。张勇勇等^[29]发现免耕早播比翻耕移栽土壤通气孔隙增加 1.03~5.03 个百分点, <0.01 mm 微团聚体差别不大,0.05 和 0.25 mm 粗微团聚体增加 20.5 和 8.3 个百分点。谢德体和曾觉廷^[43]在紫色土类的灰棕紫泥、红棕紫泥和紫色新积土田研究了自然免耕土壤孔隙状况,发现水田自然免耕土壤兼具有淹水平作和水旱轮作的物相结构,

长期为毛管水浸润,认为土壤固、液、气三相相对稳定,无论是种小麦或是水稻,土壤既有充足的毛管孔隙保持水分,满足作物生理生态需水,又有适当的非毛管孔隙通道排水,达到了“以水调气”的效果。免耕直播稻田土壤孔隙内的气流和热流能与外界自由交换、保持稳定的热量平衡^[23,43-44]。

土壤耕性质量是土壤松紧状况的度量,实行少免耕后是否会引起土壤板结而影响作物生长,是普遍关注的问题。邵达三和黄细喜^[23]和庄恒扬等^[44]在南方水田少免耕栽培研究中发现,少免耕法不翻乱土层,保持了土体的原状稳态结构,增加了抗逆外来不良环境的能力,有助于稳定和协调土壤肥力,可促进水稻早发、稳长。黄细喜^[46]在黄黏土、砂壤土实行少免耕试验发现,土壤自身对体积质量、养分、土壤微生物和孔隙度均有自调能力。自然土壤的结构和孔隙呈有序分布,少免耕有利于维护和发展这一特性,有利于作物生长。但是,耕作方式对土壤物理特性影响可能与土壤质地有关。严少华和黄东迈^[46]对太湖地区 5 种类型的水稻土研究发现,黏粒含量高的水稻土壤,免耕处理使土壤通气孔隙增加,而毛管孔隙则减少。免耕处理下,比较黏的栗子土壤通气孔隙增加 2.2 倍,黄泥土壤增加 30%,而沙黄泥土则无明显差异。茅国芳和褚金海^[36]连续 3 年对麦后免耕直播水稻进行研究,发现黄泥头田夹沙泥水稻土无论是免耕或浅耕,土壤体积质量 3 年基本保持一致,土壤各级微团聚体占土体和微团体的百分率无明显差异,即耕作对稻田土壤微团聚体短期不会产生影响。刘世平等^[47]连续 11 年测定了少免耕稻田土壤的体积质量和孔隙度,发现土壤体积质量在水稻生育前期略有增加,后期各处理间差异变小;并且土壤体积质量并非随少免耕年限的延长而递增;少免耕的土壤表层(0~7 cm)和第三层(14~21 cm)体积质量与传统翻耕差异不大,而第二层(7~14 cm)稍有变紧的趋势。土壤经翻耕以后,可以改善土壤的孔隙状况,增加稻田土壤前期的通透性,但烤田后大孔隙逐渐变成小孔隙,收获时毛管孔隙却以翻耕最低。长期轮作与免耕有利于土壤化学过程向肥力提高的方向发展,免耕、少耕法推广应用以后,土壤表层 0~5 cm 的养分和有机质富集,提高了微生物的活性,并影响近地表层的酸度和氧化还原状况。Mcconkey 等^[48]的试验结果表明,土壤亚铁(Fe⁺⁺)的形成与土壤耕作强度、稻草还田及灌水深度密切相关,稻草还田用量、耕作强度增加了 Fe⁺⁺ 浓度,在淹水后 8 天,Fe⁺⁺ 迅速增加,甚至在集约耕作不施用稻草的条件下,Fe⁺⁺ 浓度随淹水深度而增加。当种子播种在土表时,淹水对

出苗没有影响,但播种在泥土中时,则出苗受淹水的影响,出苗率下降^[49]。张强^[50]发现免耕条件下麦棉两熟土壤碱解氮含量在作物各生育期与常规耕作下的土壤碱解氮相持平,能够保证 N 的供应水平,速效 P 和速效 K 则有明显的提高,一般提高 17%~40%,因不同的作物类别和生长期而异。茅国芳和诸金海^[36]进行了连续 3 年麦后免耕和浅耕对比试验,发现土壤表层(0~10 cm)和亚耕层(10~20 cm)有机质、全 K 含量变化很小,全 N 和全 P 互有增减。采用半旱式免耕法能迅速提高土壤肥力水平的原因可能是因为每年冬季作物的秸秆被埋入土中,4—9 月在沟内进行分解,沟的两侧栽种水稻,水稻收割后,沟内土壤已分解的有机质被再次覆盖到垄或畦土,栽培冬作作物。刘世平等^[47]连续 11 年的长期定位试验表明:①连续 11 年免耕,不论是施肥区还是不施肥区,土壤耕层的养分含量并未明显减少,表层有机质、全 N 含量反而有所增加;②不施肥区碱解 N 的变化趋势是移栽期(即苗期)免耕较低,分蘖期到拔节期与翻耕差异不大,施肥区碱解 N 与无肥区变化趋势一致。耕层土壤碱解 N 的平均含量少免耕比翻耕高 2.3~11.7 mg/kg;③不同耕作的耕层土壤速效 K 变化趋势一致,但少免耕平均比翻耕高 11.6%,分蘖末期不同耕作差异很小,拔节后仍以少免耕高。这与顾掌根^[26]、谢德体和曾觅廷^[51]有关自然免耕土壤肥力特性的研究结果类似。少免耕不扰乱土层、保持土壤原状结构及肥力分布梯度、节本省工,是土壤耕作的一大进步,但随着少免耕年限的延续,土壤养分、作物根系、微生物种群、杂草种子都趋向表层富集,导致土壤库容小、供肥能力差、草害严重,作物易出现早衰、倒伏等现象^[25,44,46]。因此,生产上应避免长期的免耕耕作和连年的传统多耕多耙耕作,实行土壤轮耕。

连续种植植被和连续免耕,使得土壤(0~7.5 cm)长期以毛管水浸润,水热状况稳定,土壤微生物较少受到外界因子的影响,这是免耕土壤肥力提高的重要原因之一。张磊等^[52]连续 10 年对中稻-油菜轮作采用半旱式免耕(垄作免耕和厢作免耕)与传统翻耕(中稻-休闲)的比较研究,发现水稻土壤中的微生物以细菌数量为多,而细菌数量的变化有一定的季节性,一般春季较高、夏季较低、立秋后又有所回升。与传统耕作和水旱轮作相比,实行聚土垄作的细菌数在整个生长季节数量较高,且变化不大。实行半旱式免耕的土壤 0~7.5 cm、7.5~15 cm 土层的细菌数量差异不明显,甚至出现下层细菌数高于上层的情况。这与免耕 10 年后“上、中、下”土层的基本肥力特征差异

不明显的结果相似,说明微生物的数量或活动与土壤有机质及养分分布有密切关系。免耕直播水稻土壤的微生物数量与前作作物类型有关,茅国芳和诸金海^[36]连续 3 年对麦后免耕与浅耕直播水稻的研究结果表明,土壤微生物的组成比例相同,均为细菌>放线菌>真菌,但是浅耕土壤的微生物总量是免耕土壤的 1.16~1.91 倍。因此,免耕稻田应及时清理沟系,保持农田排灌系统的畅通,以提高土壤内排水能力,改善免耕土壤的水、气、热环境,增加有机肥的投入,逐步提高土壤微团聚体营养物质的储量,促进土壤良好的团粒结构的形成和土壤肥力增加。高云超等^[53]连续 11 年研究了秸秆覆盖免耕土壤微生物生物量的变化,发现 0~7 cm 土层比翻耕处理平均增加 51.7%,但翻耕能增加土壤活跃微生物的生物量,0~30 cm 土层比免耕高 25.3%。

2.2 少免耕稻田杂草发生的特点

由于免耕和直播,草害种类多、密度大、危害重,因此水稻免耕直播首先要解决杂草防除的问题,尤其是前期稍有疏忽就会形成草比苗多、草比苗大的草荒现象。

据吴余良等^[54]报道,直播中稻田出草时间长,有两个明显出草高峰。由于直播从一开始播种水稻就与杂草建立起共生期,它与移栽大田相比,稻、草的共生期要长 30 天左右。第 1 峰出现在播后 10~20 天,出草量占总草量的 60%,是形成草害的主体;第 2 峰在播后 25~40 天,出草量占总草量的 30%~40%。第 1 个高峰是以禾本科和莎草科的稗草、千金子、异型莎草等为主,出草的草种子深度较浅,离土表层 5 mm 以内;第 2 个高峰是以阔叶类杂草为主,出草的草种子深度在 5~15 mm,该期一般大多在够苗后烤田期。杂草发生量大、种类多、草相复杂。危害直播稻田的杂草种类主要有:禾本科的稗草、千金子、双穗雀稗;莎草科的扁秆蔗草、异型莎草、野荸荠;阔叶类的鸭舌草、水蓼、矮慈姑、四叶萍、眼子菜等。

虞轶俊等^[55]报道直播晚稻田杂草萌发有 3 个高峰。第 1 峰在播后 10~20 天,以禾本科、莎草科杂草为主;第 2 峰在播后 30~50 天,以阔叶杂草为主;第 3 峰播后 60~75 天,以藻类为主。第 1、2 峰对水稻生长影响较大。

根据杂草的生物学特性,在实施免耕栽培的过程中,要合理使用除草剂防治草害,同时重视利用接茬、倒茬等关键时节,利用机械除草手段,抑制和防治草害,降低免耕栽培草害的风险。

3 展望

在新的历史条件下,一方面为了提高市场竞争力,水稻栽培技术开始向低成本、优质、高效方向转变,水稻抛秧、直播等简化栽培技术越来越受到重视;另一方面,为了可持续发展、保护环境、实现人与自然的和谐,水稻栽培必须改变现代农业投入大量化肥农药和机械动力的弊端,向节能、生态、安全的方向转变。

近年来,水稻免耕栽培在我国水稻各产区得到了一定的推广和应用,但生产快于研究。水稻免耕栽培的一些基本机理和生产技术问题仍亟待研究,如免耕的连作障碍(不同土壤类型、不同茬口长期免耕允许年限);免耕栽培肥料不能深施、因此要多次分施,其简便高效的施肥方式;以及免耕稻田的杂草防除和倒伏问题等;还有免耕栽培不可避免地增加了化学除草剂的施用、增加了农田化学污染的风险。这些问题无疑会困扰和影响水稻免耕的稳产性和综合效益技术。

为了实现水稻免耕抛栽、直播技术的省工、节本、高产和高效的有机结合,还必须加强免耕抛栽、直播水稻的立苗技术、根系的生长分布规律、肥料的吸收与利用规律及高产群体的生理生态指标的研究,加强免耕栽培对土壤理化性状影响以及免耕保护性耕作农田 N、P 迁移规律的研究。同时针对当前大量的秸秆收获后就地焚烧,严重污染环境,而农田有机肥匮乏、化肥农药等投入逐年增加、耕地质量下降、抗御灾害能力不强等问题,将秸秆直接还田与免耕轻简栽培相结合,研究秸秆铺覆还田和留茬还田可操作的技术途径、适宜数量;筛选秸秆快速腐殖化的辅助化学生物制剂并开发相关技术物化产品;秸秆还田腐殖过程对土壤理化性状、肥力(基础产量)的影响和对作物生长发育及产量品质形成的影响。

通过关键技术突破与技术集成创新,建立“秸秆覆盖/还田-免(少)耕-轻简栽培”的保护性耕作技术体系,在大幅降低劳动用工和生产成本,提高种田效益的同时,实现秸秆还田,改善稻田土壤质量,持续提高稻田生产力,减少环境污染,稳定提高产量,促进水稻可持续发展,确保国家粮食安全尤其是稻米食品安全。

参考文献:

- [1] Derpsch R. Historical review of no-tillage cultivation of crops. JIRCAS Working Rep., 1998, 13: 1-18
- [2] John EM. 美国保护性耕作的过去和未来 // 牛盾. 面向二十

一世纪的机械化旱作节水农业. 北京:中国农业大学出版社, 2000: 35-37

- [3] 邹应斌. 国外作物免耕栽培的研究与应用. 作物研究, 2004 (3): 127-132
- [4] Derpsch R, Moriya K. Implications of no-tillage versus soil preparation on sustainability of agricultural production. Advances in Geoecology, 1998, 31: 1179-1186
- [5] Ekboir JM. Research and technology policies in innovation systems: Zero tillage in Brazil. Research Policy, 2003, 32: 573-586
- [6] 侯光炯, 谢德体. 水稻自然免耕可获高产. 农业科技通讯, 1986 (11): 2-4
- [7] 张志尧. 少耕法在我国旱区的应用及机具选型. 干旱地区农业研究, 1985 (1): 6
- [8] 白大鹏, 赵建强, 陈明昌, 王宏庭, 曼克多夫 FR. 整秸覆盖免耕条件下黄土高原旱地的养分消长研究. 土壤学报, 1997, 34 (1): 103-106
- [9] 李新举, 张志国, 赵美兰, 赵维亮, 杨运臣, 时培盈. 免耕对土壤养分的影响. 土壤通报, 2000, 31(6): 267-269
- [10] 杜金泉, 方树安, 蒋泽芳. 水稻少免耕技术研究 I. 稻作少免耕类型、生产效应及前景的探讨. 西南农业学报, 1990, 3 (4): 26-32
- [11] 朱文珊, 曹明奎. 秸秆覆盖免耕法的节水培肥增产效益及应用前景. 干旱地区农业研究, 1988 (4): 1-2
- [12] 李永山, 柴永峰, 董孟雄, 范志杰. 旱地小麦留高茬覆盖少耕浅耕技术. 山西农业科学, 1992(1): 12-14
- [13] 黄东迈, 朱培立. 免(少)耕土壤的肥力与推荐施肥. 土壤, 1990, 22 (5): 234-236
- [14] 徐箐, 戴子林, 姜玲若. 太湖地区稻田耕作方法研究. II. 免耕灭茬对三熟制早稻田土壤结构与供肥的影响. 江苏农业科学, 1983 (1): 29-31, 28
- [15] 徐箐, 姜玲若. 太湖地区稻田耕作方法研究. III. 免耕稻田土层中磷的活性. 江苏农业科学, 1984 (1): 25-27
- [16] 徐箐, 姜玲若. 太湖地区稻田耕作方法研究. V. 免耕稻田供钾能力. 江苏农业科学, 1984 (12): 28-29
- [17] 许学前, 潘遵谱, 董百舒. 稻麦轮作中免耕效果的研究. I. 麦茬免耕种植前季稻. 江苏农业科学, 1982 (4): 11-14
- [18] 潘遵谱, 许学前, 吴敬民. 灭茬免耕法在太湖地区多熟制水稻土上的应用. 江苏农业科学, 1983 (10): 37-40
- [19] 许学前, 吴敬民, 余月梅, 潘遵谱. 稻麦轮作中免耕效果的研究. III. 对土壤养分和供肥能力的影响. 江苏农业科学, 1984 (2): 27-31, 41
- [20] 全国明, 杨运英. 我国水稻免耕技术研究进展. 耕作与栽培, 2005 (3): 8-11
- [21] 陈冬林, 屠乃美, 关广晟, 邓小华. 水稻免耕栽培技术的研究及应用. 湖南农业大学学报 (自然科学版), 2006, 32(5):

- 567-574
- [22] 杜金泉, 胡开树, 高德伟, 刘全丰. 水稻少免耕技术研究. II. 高产的系列配套技术. 西南农业学报, 1992, 5 (3): 18-22
- [23] 邵达三, 黄细喜. 南方水田少 (免) 耕法研究报告. 土壤学报, 1985, 22 (4): 305-309
- [24] 张海林, 高旺盛, 陈阜, 朱文珊. 保护性耕作研究现状、发展趋势及对策. 中国农业大学学报, 2005, 10 (1): 16-20
- [25] 陈友荣, 侯任昭, 范仕容. 水稻免耕法及其生理生态效应的研究. 华南农业大学学报, 1993, 10(2): 10-17
- [26] 顾掌根, 程旺大, 陆建贤. 水稻免耕旱直播高产机理及其配套技术研究初报. 中国稻米, 1995(6): 11-13
- [27] 张洪程, 黄以澄, 戴其根, 苏祖芳. 麦茬机械少免耕旱直播产量形成特性及高产栽培技术的研究. 江苏农学院学报, 1988, 9(4): 21-26
- [28] 王鹤云, 李义楼, 钮志华. 麦茬水直播稻高产群体优化栽培技术 // 高佩文, 谈松. 水稻高产理论与实践. 北京: 中国农业出版社, 1994: 167-170
- [29] 张勇勇, 顾克章, 张顺泉. 水稻免耕旱播耕作法的效益及其对土壤理化性状的影响. 浙江农业科学, 1997 (3): 118-120
- [30] 杜金泉. 少免耕稻作高产的原理及技术对策研究. 耕作与栽培, 1991 (4): 1-6
- [31] 黄锦法, 俞建明, 陆建贤, 张顺泉, 姚叙才. 稻田免耕直播对土壤肥力性状与水稻生长的影响. 浙江农业科学, 1997 (5): 226-228
- [32] 赵诚斋. 太湖地区水稻土的物理特性与少免耕法的关系. 土壤学报, 1989, 26(2): 101-108
- [33] 罗永进, 林义成, 李伯均. 红壤新辟稻田轮种秋旱作及早作限耕的增收改土研究. 浙江农业科学, 1986 (4): 151-154
- [34] 彭祖厚. 少耕免耕法研究进展与展望. 陕西农业科学, 1988 (2): 9-12
- [35] 谢德体, 魏朝富, 陈绍兰, 扬剑虹, 曾觉廷. 水田自然免耕对稻麦生长和产量的影响. 西南农业学报, 1993, 6(1): 47-54
- [36] 茅国芳, 褚金海. 麦后免耕直播稻田的生态环境演变与对策. 上海农业学报, 1997, 13(2): 39-50
- [37] 廖兆熊, 汪羞德, 林金元. 水稻免耕栽培氮肥用量与施肥技术. 上海农业学报, 1993, 9(3): 48-52
- [38] 王永锐, 李小林. 免少耕水稻的根系活力和叶片衰老研究. 耕作与栽培, 1992 (4): 31-34
- [39] 岳文元. 秧田茬免耕种植水稻的产量效应及生理基础研究. 四川农业大学学报, 1994, 12 (3): 396-401
- [40] 冯跃华, 邹应斌, Buresh RJ, 许桂玲, 敖和军, 王淑红. 免耕直播对一季晚稻田土壤特性和杂交水稻生长及产量形成的影响. 作物学报, 2006, 32(11): 1728-1736
- [41] 刘世平, 庄恒杨, 陆建飞, 沈新平, 陈后庆, 黄细喜. 免耕法对土壤结构影响的研究. 土壤学报, 1998, 35(1): 33-37
- [42] 高明, 李阳兵, 魏朝富, 谢德体. 稻田长期垄作免耕对土壤肥力性状的影响研究. 水土保持学报, 2005, 19(3): 29-33
- [43] 谢德体, 曾觉廷. 水田自然免耕土壤孔隙状况研究. 西南农业大学学报, 1990, 12(4): 394-397
- [44] 庄恒扬, 刘世平, 沈新平, 陈后庆, 陆建飞. 长期少免耕对稻麦产量及土壤有机质与容重的影响. 中国农业科学, 1991, 24(1): 73-79
- [45] 黄细喜. 土壤自调性与少免耕法. 土壤通报, 1987, 18(3): 111-114
- [46] 严少华, 黄东迈. 免耕对水稻土持水特征的影响. 土壤通报, 1995, 26 (5): 198-199
- [47] 刘世平, 沈新平, 黄细喜. 长期少免耕土壤供肥特征与水稻吸肥规律的研究. 土壤通报, 1996, 27 (3): 133-135
- [48] Mcconkey MC, Liang BC, Campbell CA. Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian Prairie soils. Soil and Tillage Research, 2003, 74 (1): 81-90
- [49] Hill JE, Mortimer AM, Namuco OS, Janiya JD. Water and weed management in direct-seeded rice: Are we headed in the right direction // Peng S, Mardy B. Rice Research for Food Security and Poverty Alleviation. Manila: IRRI, 2001: 491-510
- [50] 张强. 麦棉两熟田免耕对土壤速效养分的影响. 耕作与栽培, 1990 (6): 1-2
- [51] 谢德体, 曾觉廷. 水稻自然免耕土壤肥力特性研究. 中国农业科学, 1990, 23 (1): 37-44
- [52] 张磊, 肖剑英, 谢德体, 魏朝富. 长期免耕水稻田土壤的生物特征研究. 水土保持学报, 2002, 16 (2): 111-114
- [53] 高云超, 朱文珊, 陈文新. 秸秆覆盖免耕土壤微生物生物量与养分转化的研究. 中国农业科学, 1994, 27 (6): 41-49
- [54] 吴余良, 沈睿, 吴常年, 花立莲, 丁荷芳, 杜建锋, 周建平, 邹利军, 汤露萍, 周益民. 直播稻田杂草的生态特点和控制技术研究. 上海农业科技, 2004 (3): 30-32
- [55] 虞轶俊, 王植杏, 张继群, 许兆镇. 直播稻田杂草萌发规律的调查. 植物保护, 1997, 23 (4): 18-19

Research Advances in Rice No-tillage and Minimum Tillage Culture

WU Wen-ge¹, ZHANG Yu-hai^{1,2}, WANG Xin-guo³, YANG Hui-cheng³, ZHENG Le-ya¹, YAN Chuan¹

(1 *Rice Cultivation Technology Innovation Center in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River, Ministry of Agriculture, Institute of Rice Science, Anhui Agriculture Academy, Hefei 230031, China;* 2 *Agronomy Department, Anhui Agriculture University, Hefei 230006, China;*

3 *Anhui Agricultural Technology Service Station, Hefei 230001, China*)

Abstract: In this paper, the advances in rice culture techniques of no-tillage (NT) and minimum-tillage (MT) were reviewed, the rice growth and field-formation under NT and MT were analyzed emphatically, the effects of NT and MT on soil physical and chemical properties, soil organisms and weed community were introduced, the key research fields, the development orientation, and the key technology strategies of NT and MT techniques were proposed.

Key words: Rice, No-tilling direct sowing, No-tilling seedling-broadcast, Soil quality, Growth characters