秸秆还田地不同水氮条件对水稻产量及土壤肥力的影响

王 伟[1]，朱利群[2]，王文博[2]，胡乃娟[2]，张政文[2]，卞新民[1,2]

(1. 南京农业大学 资源与环境科学学院，江苏 南京 210095；2. 南京农业大学 农学院，江苏 南京 210095)

摘 要：[目的] 研究秸秆还田地不同水氮管理对水稻产量、土壤养分以及土壤酶活性的影响，为发展优质、高效生态农业提供理论支持。[方法] 通过田间小区试验，设计了 3 种灌溉方式共 9 个处理，并设置 3 个麦秆不还田处理为对照。[结果] 施氮量为 225 kg/hm^2 时，浅湿调控灌溉模式有利于控制水稻茎蘖量，降低水稻株高，形成合理的群体结构；不同水氮管理对水稻产量构成因素中的每穗总粒数、结实率无显著影响，水稻有效穗数受灌溉措施及施氮量的影响较大，浅湿调控灌溉可以显著提高水稻有效穗数和千粒重，从而提高水稻产量；施氮量为 225 kg/hm^2 时，浅湿调控灌溉可以有效提高土壤有机质、全氮、有效磷、有效钾的含量。秸秆还田可以显著提高土壤蔗糖酶活性，降低土壤脲酶活性，而对土壤过氧化氢酶活性无显著影响。秸秆还田地施氮量为 225 kg/hm^2 时，浅湿调控灌溉对土壤蔗糖酶活性的提高最为显著，而不同水氮条件对土壤脲酶活性的影响并不显著。[结论] 在秸秆还田地，当施氮量为 225 kg/hm^2 时，浅湿调控灌溉可以有效提高水稻产量及土壤肥力。

关键词：秸秆还田；水肥耦合；水稻产量；土壤养分；土壤酶活性

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2015)04-0043-06 **中图分类号**：S158.2

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2015.04.010

Effects of Different Treatments of Fertilization and Irrigation on Rice Yield and Soil Fertility and Enzyme Activity in Wheat Straw Amendment Field

WANG Wei[1], ZHU Liqun[2], WANG Wenbo[2], HU Naijuan[2], ZHANG Zhengwen[2], BIAN Xinmin[1,2]

(1. *College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu* 210095, *China*; 2. *College of Agriculture, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu* 210095, *China*)

Abstract: [Objective] Field experiments were conducted to study effects of different treatments of fertilization and irrigation on rice yield, soil nutrient and enzyme activity under straw amendment, and to provide theoretical support for the development of high quality, highly effective ecoagriculture. [Methods] Through field experiment, we designed three kinds of irrigation patterns and three nitrogen levels, total of nine experimental treatments, and set up three no straw treatments as a control. [Results] The application rate of nitrogen fertilizer was 225 kg/hm^2, the shallow wetland regulation irrigation mode can help control the tiller, reduce plant height, form a reasonable population structure. Different treatments of fertilization and irrigation had no significant effect on rice per panicle, seed setting rate, shallow wetlands regulation irrigation mode can effectively improve rice panicles and grain weight, thus improving rice yield. The rate of fertilizer was 225 kg/hm^2, the shallow wetlands regulation irrigation mode can effectively improve the amount of SOM (soil organic matter), TN(tatl N), AP(availale P), AK(available K). Straw amendment can significantly improve soil invertase activity, reduce soil urease activity, while the soil catalase activity had no significant change. In straw amendment field, rate of nitrogen fertilizer was 225 kg/hm^2, the shallow wetlands regulation irrigation mode improved the most signifycantly on soil invertase activity, but different treatments of fertilization and irrigation did not significantly reduce the soil urease activity. [Conclusion] In straw amendment field, when the rate of fertilizer was 225 kg/hm^2, shallow wetlands regulation irrigation mode can effectively improve rice yield and soil fertility.

Keywords: straw amendment; different treatments of fertilization and irrigation; rice yield; soil nutrient; enzyme activity

收稿日期:2014-04-12 **修回日期**:2014-05-30

资助项目:公益性行业(农业)科研专项“麦—稻两熟区高效环保农作模式与配套技术研究与示范”(201103001)

第一作者:王伟(1988—),男(汉族),江苏省东台市人,硕士研究生,研究方向为农业生态。E-mail:13451870716@163.com。

通信作者:卞新民(1952—),男(汉族),江苏省东台市人,博士,教授,主要从事农业生态环境研究。E-mail:bjxlml@163.com。

中国作为世界 13 个贫水国之一，水资源日趋匮乏且分布不均，同时又是世界第一大氮肥消费国。水稻作为中国重要的粮食作物，耗水量居各作物之首，水分和肥料是影响其生长发育的主要限制因子[1-2]。在传统稻作生产中的水肥管理模式，不仅造成了水资源的严重浪费，而且引起了一系列的环境污染[3-4]。研究[5-8]表明，农作物秸秆中含有丰富的养分元素，是重要的有机肥源。秸秆还田具有改善土壤理化性状，提高土壤肥力，增加作物产量等作用。秸秆直接还田，既可充分利用秸秆资源，又可以减轻焚烧秸秆对生态环境的负面影响。因此，研究在秸秆还田条件下不同水氮管理对水稻产量性状以及土壤肥力状况的影响意义重大。以往研究主要集中在分别研究秸秆还田和水肥耦合对水稻产量及土壤氮素的影响，但将二者结合起来的研究相对较少。本试验通过研究在秸秆还田条件下，不同水氮条件对水稻生长动态和产量、土壤养分以及土壤酶活性的影响，旨在充分发挥水肥对水稻产量、品质的协同作用，在获得最大经济效益的同时可减少对环境的污染，有利于发展优质、高效、生态农业。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2012 年 6 月至 2012 年 11 月在江苏省南京市江宁区青龙村定位试验田进行。试验地区属亚热带季风气候，年均气温 15.4 ℃，降水量 1 200 mm 左右，日照时间 2 135 h，常年降水时间 116.3 d。试验田种植模式为稻麦轮作，耕作方式为旋耕。试验田前茬作物为小麦，秸秆还田小区前季作物秸秆通过收割机粉碎，长度大约为 5～10 cm，全量还田；秸秆不还田小区，秸秆未打碎，全部清出。供试水稻品种为南粳 5 055。试验前耕层(0—20 cm)基础土样养分状况为：有机质 29.81 g/kg，碱解氮 194.02 mg/kg，速效磷 13.60 mg/kg，速效钾 51.45 mg/kg，pH 值为 7.34。

1.2 试验设计与管理

在秸秆还田小区设不同灌溉方式和施氮量两个因素，试验采用裂区设计，灌溉方式为主区(表 1)，分为：(1) 淹水灌溉(Y)。水稻移栽后田面一直保持 1～3 cm 水层，收获前 7 d 自然落干；(2) 浅湿调控灌溉(Q)。“湿、晒、浅、间”灌溉：湿润灌溉(移栽至孕穗前)＋浅水灌溉(孕穗期)＋干湿交替灌溉(抽穗至成熟期)，浅水(1 cm 左右)栽秧，移栽后 5～7 d 田间保持 2 cm 水层确保秧苗返青成活，之后至孕穗前田面不保持水层，土壤含水量为饱和含水量的 70%～80%，无效分蘖期够苗晒田；孕穗期土表保持 1～3 cm 水层；抽穗至成熟期采用灌透水、自然落干；(3) 常规灌溉(C)。采用大田淹水灌溉方式，在移栽后 35 d 左右烤田 4～5 d，其它生育期除搁田期外始终保持 5～10 cm 水层。施氮量为副区，施氮量分别为 180 kg/hm²(低量施肥，D)，225 kg/hm²(中量施肥，Z)，270 kg/hm²(高量施肥，G)，并以相应灌溉方式的秸秆不还田处理为空白对照，施氮量以 225 kg/hm²(Z)为准。每个处理 3 次重复，共 36 个小区，小区面积 25 m²(5 m×5 m)，小区间筑埂(40 cm)并用塑料薄膜包裹，以防串水串肥，其他田间管理按大面积生产田进行。所有处理氮肥按基肥、分蘖肥、穗肥用量比为 6∶2∶2 施用，分蘖肥在移栽后 7 d 施用，孕穗肥在穗分化期(枝梗分化期)施用。P_2O_5 135 kg/hm² 和 K_2O 210 kg/hm²，全部作基肥施用。2012 年季水稻的插秧时间为 2012 年 7 月 3 日，收获时间为 2012 年 11 月 20 日；栽插密度为 2.55×10^5 穴/hm²，每穴 3～4 苗。

表 1 试验设计方案

处理	灌溉处理	还田方式	施肥处理/(kg·hm⁻²)	
YHG	淹水灌溉(Y)	秸秆还田(H)	高施肥量(G)	270
YHZ			中施肥量(Z)	225
YHD			低施肥量(D)	180
YBZ		秸秆不还田(B)	中施肥量(Z)	225
QHG	浅湿调控灌溉(Q)	秸秆还田(H)	高施肥量(G)	270
QHZ			中施肥量(Z)	225
QHD			低施肥量(D)	180
QBZ		秸秆不还田(B)	中施肥量(Z)	225
CHG	常规灌溉(C)	秸秆还田(H)	高施肥量(G)	270
CHZ			中施肥量(Z)	225
CHD			低施肥量(D)	180
CBZ		秸秆不还田(B)	中施肥量(Z)	225

注：磷、钾肥均作为基肥以复合肥的形式施入，复合肥中 N∶P∶K 为 15∶15∶15；化肥用量均以纯 N 计。12 个处理英文缩写由不同灌溉处理、还田方式和施肥处理的英文缩写组合。

1.3 样品采集与测定方法

1.3.1 样品采集 于水稻收获前(2012 年 11 月 19 日)，在各小区内按对角线选取 3 个 1 m² 样方，分别测定有效穗数、每穗粒数、千粒重，按小区单收计实际产量；同时按照五点取样法在各试验小区取土壤样品，取样深度为 20 cm。

1.3.2 测定方法与数据分析 土壤有机质(SOM)采用重铬酸钾外加热法[9]；土壤全氮(TN)采用半微量开氏法测定[9]；土壤有效磷(AP)采用钼锑抗比色法测定[9]；土壤速效钾(AK)采用火焰光度计比色法测

定[9];脲酶采用靛酚比色法[10];过氧化氢酶采用高锰酸钾滴定法[11];蔗糖酶采用二硝基水杨酸比色法[10]。

采用 Excel 进行初步整理、分析和绘制图表,用 SPSS 16.0 进行方差分析和相关性分析。

2　结果与分析

2.1　茎蘖和株高动态

2.1.1　茎蘖动态　由观测数据分析可知,所有处理下水稻全生育期茎蘖动态变化规律完全一致,均表现出前期快速升高、分蘖期后逐渐减小的趋势,但在水稻生育期的大部分时间内,浅湿调控灌溉处理的水稻茎蘖量低于淹水灌溉处理和常规灌溉处理。在移栽后 40 d 左右,所有处理的茎蘖量达到峰值,YHZ 处理的茎蘖量最高,为 552.31 万株/hm^2,QHD 处理最低,为 492.92 万株/hm^2。在相同的灌溉措施下,茎蘖量随着氮肥施用量的减少而下降,但过量的施氮条件下,总茎蘖量不升反降。

2.1.2　株高动态　由各处理的观测数据分析可知,所有处理的水稻生育前期的株高无明显差异。进入生殖生长期,特别是孕穗、抽穗期后,控制灌溉下水稻株高增幅开始小于常规灌溉处理,降低了其茎秆生长对水肥的需要,导致生育末期控制灌溉处理下水稻株高略低。灌浆期后,调控灌溉下水稻最终株高平均比淹水灌溉处理降低约 4.19 cm,降幅达 4.36%,比常规灌溉处理降低约 2.33 cm,降幅达 2.47%。相比秸秆还田与不还田,3 种灌溉方式下,前期水稻株高基本无差异,调控灌溉中 QBZ 甚至小幅超过 QHZ,而在拔节期以后,秸秆还田处理均超过不还田处理,在相同的灌溉措施下,不同施氮水平下水稻株高的差异性不显著。

2.2　水稻产量及产量构成因素

由表 2 分析可得,在相同的施氮水平下,QHZ 处理的有效穗数较 CHZ 增幅为 4.5%($p>0.5$),而较 YHZ 增幅则高达 11.7%($p<0.05$),调控灌溉有效提高了水稻的有效穗数,说明在合理的施氮水平下,一定程度的水分胁迫有利于水稻最终有效穗数的增加,对最终水稻产量的提高具有积极的意义,而相比 3 种灌溉方式下,秸秆还田处理与不还田处理,有效穗数差异皆不显著。不同灌溉方式、秸秆是否还田,对于每穗粒数的影响不显著,而不同施氮水平下,可以看出降低施氮水平会减少每穗粒数。秸秆还田条件下,除 QHD 处理,调控灌溉下的千粒重高于其他两种灌溉处理,其中 QHZ 处理与 YHZ,CHZ 均达到显著性差异($p<0.05$)。在相同水氮条件下,秸秆还田处理的千粒重高于秸秆不还田处理,其中 YHZ 与 YBZ 差异不显著,而 QHZ 与 QBZ,CHZ 与 CBZ 差异达到显著水平($p<0.05$),分别高出 8.7%,9.5%。

相同灌溉方式下,降低或者提高施氮量均会使水稻产量呈现下降趋势,除 YHZ 与 YHD 达到显著差异($p<0.05$),其他均未达到显著差异。同一施氮水平下,调控灌溉处理产量高于常规和淹水两种灌溉处理,在低和中施氮水平,差异均达到显著性水平($p<0.05$),QHZ 较 YHZ,CHZ 分别增加了 7.9%和7.2%,QHD 较 YHD,CHD 分别增加了 9.9%和6.5%,而高施氮水平则不显著。3 种灌溉方式下,秸秆还田处理产量均高于秸秆不还田处理,平均增幅为 3.9%。

表 2　不同处理对水稻产量及产量构成的影响

处理	有效穗数/(10^6 hm^2)	每穗粒数/粒	结实率/%	千粒重/g	理论产量/(t·hm^{-2})	实际产量/(t·hm^{-2})
YHD	2.79^{c}	126.45^{bcd}	86.46^{a}	26.47^{bc}	8.08	7.56^{c}
YHZ	2.90^{bc}	132.03^{ab}	84.96^{a}	26.49^{bc}	8.63	8.06^{b}
YHG	2.97^{bc}	129.87^{abc}	87.79^{a}	26.55^{bc}	8.99	8.18^{ab}
YBZ	2.95^{bc}	128.00^{bcd}	87.59^{a}	25.45^{c}	8.42	7.87^{bc}
QHD	3.08^{ab}	125.68^{bcd}	88.59^{a}	25.36^{c}	8.70	8.31^{ab}
QHZ	3.24^{a}	131.58^{ab}	86.16^{a}	29.09^{a}	10.69	8.70^{a}
QHG	3.27^{a}	131.07^{ab}	86.94^{a}	27.45^{b}	10.24	8.59^{a}
QBZ	3.11^{ab}	124.48^{cd}	84.38^{a}	26.75^{bc}	8.75	8.24^{ab}
CHD	3.09^{ab}	123.33^{d}	83.54^{a}	25.29^{c}	8.07	7.80^{bc}
CHZ	3.10^{ab}	131.33^{ab}	85.91^{a}	27.52^{b}	9.62	8.11^{b}
CHG	2.95^{bc}	135.88^{a}	83.94^{a}	26.06^{bc}	8.77	8.10^{b}
CBZ	3.10^{ab}	130.83^{ab}	85.75^{a}	25.13^{c}	8.73	7.83^{bc}

注:同一列不同小写字母表示在 0.05 水平差异显著。下同。

2.3 土壤养分

由表 3 可以看出，调控灌溉处理下，有机质含量高于其他两种灌溉处理。其中，中量施肥(Z)、高量施肥(G)施肥量水平差异达到显著性水平($p<0.05$)，但低量施肥(Z)施肥量水平下差异则不显著。相比较秸秆还田处理与秸秆不还田处理，秸秆还田处理有机质含量显著高于不还田处理，YHZ，QHZ，CHZ 较 YBZ，QBZ，CBZ 分别高出 7.5%，17.5%，12.3%。调控灌溉处理的全氮含量高于其他两种灌溉处理，与淹水灌溉处理差异显著($p<0.05$)，秸秆还田处理显著高于秸秆不还田处理($p<0.05$)。不同处理下有效磷差异不显著($p>0.05$)。秸秆不还田条件下，调控灌溉有效磷显著高于其他两种灌溉方式($p<0.05$)。秸秆还田条件下，中等施肥量下的调控灌溉处理的速效钾高于其他两种灌溉方式。相比秸秆还田与不还田处理，除 QHZ 速效钾含量显著高于 QBZ($p<0.05$)，YHZ 与 YBZ，CHZ 与 CBZ 无显著差异。

表 3 不同处理对土壤养分的影响

处理	有机质/(g·kg^{-1})	全氮/(g·kg^{-1})	有效磷/(mg·kg^{-1})	速效钾/(mg·kg^{-1})
YHD	24.32^{b}	1.30^{cd}	7.90^{ab}	105.29^{c}
YHZ	23.39^{b}	1.38^{bc}	8.70^{a}	107.95^{bc}
YHG	22.92^{bc}	1.37^{bc}	8.92^{a}	106.73^{c}
YBZ	21.76^{c}	1.25^{d}	7.36^{b}	107.27^{bc}
QHD	24.92^{b}	1.54^{a}	8.32^{a}	108.62^{bc}
QHZ	28.76^{a}	1.60^{a}	8.85^{a}	114.16^{a}
QHG	27.99^{a}	1.59^{a}	8.14^{a}	112.50^{ab}
QBZ	24.47^{b}	1.30^{cd}	8.09^{a}	110.71^{b}
CHD	23.39^{bc}	1.42^{b}	8.30^{a}	106.40^{c}
CHZ	26.64^{a}	1.57^{a}	7.98^{b}	111.61^{b}
CHG	24.35^{b}	1.45^{b}	8.35^{a}	108.95^{bc}
CBZ	23.73^{bc}	1.21^{d}	7.20^{b}	107.16^{bc}

2.4 土壤酶活性

2.4.1 蔗糖酶活性 由图 1 可以看出，在相同施肥水平下，浅湿调控灌溉处理的蔗糖酶活性显著高于其他两种灌溉处理($p<0.05$)，除低施肥量水平下常规淹水灌溉处理蔗糖酶活性显著高于淹水灌溉处理($p<0.05$)，其他施肥量水平下均无显著差异($p>0.05$)。相比秸秆还田处理与不还田处理，除 YHD 与 YBZ 差异不显著($p>0.05$)，秸秆还田处理蔗糖酶活性显著高于不还田处理($p<0.05$)。相同灌溉处理下，不同施肥量对蔗糖酶活性的影响除部分处理达到显著差异，总体趋势是差异不显著。

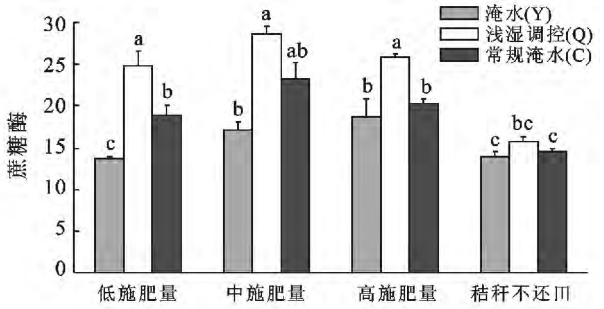


图 1 不同处理对蔗糖酶活性的影响

2.4.2 过氧化氢酶活性 由图 2 可以看出，同一施氮量水平下，浅湿调控处理下的过氧化氢酶活性高于其他两种灌溉方式，其中与常规淹水灌溉处理差异不显著($p>0.05$)，与淹水灌溉处理差异显著($p<0.05$)，YHD 除外。相比秸秆还田与秸秆不还田处理，不同处理之间无显著差异($p>0.05$)。

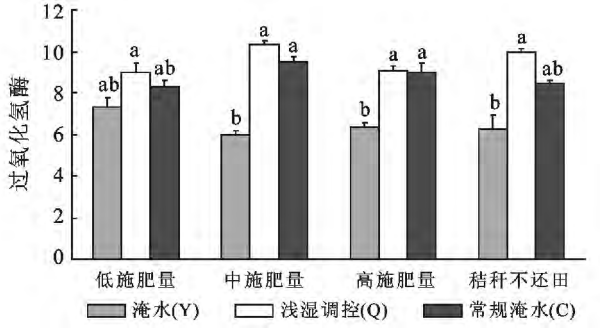


图 2 不同处理对过氧化氢酶活性的影响

2.4.3 脲酶活性 由图 3 可以看出，秸秆还田处理脲酶活性显著高于秸秆不还田处理($p<0.05$)。秸秆还田条件下，除 QHZ 脲酶活性显著低于 YHZ 和 CHZ($p<0.05$)，其他处理间脲酶活性均无显著性差异($p>0.05$)。

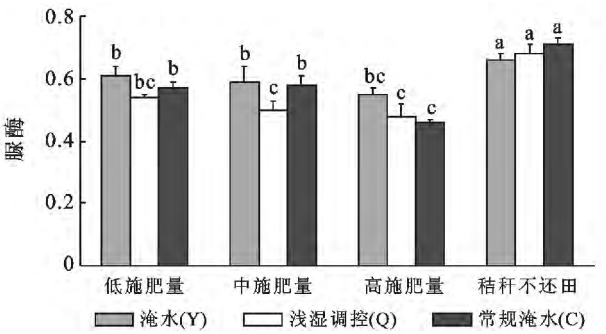


图 3 不同处理对脲酶活性的影响

2.5 水稻产量、土壤养分以及土壤酶活性的相关性

由表 4 可以看出，水稻产量与土壤有机质、全氮、速效钾以及蔗糖酶活性均呈显著相关。土壤有机质

含量与全氮、速效钾、脲酶活性、蔗糖酶活性、过氧化氢酶活性均呈显著相关,其中与脲酶活性呈负相关,与其他因子呈正相关。

表 4　水稻产量、土壤养分以及土壤酶活性的相关性分析

指 标	实际产量	有机质	全氮	有效磷	有效钾	脲酶	过氧化氢酶	蔗糖酶
实际产量	1							
有机质	0.728**	1						
全氮	0.734**	0.871**	1					
有效磷	0.527	0.361	0.55	1				
有效钾	0.870**	0.833**	0.718**	0.270	1			
脲酶	−0.299	−0.588*	−0.768**	−0.314	−0.327	1		
过氧化氢酶	0.533	0.660*	0.535	0.032	0.727**	−0.230	1	
蔗糖酶	0.842**	0.874**	0.959**	0.530	0.777**	−0.633*	0.596*	1

注:* 表示在 0.05 水平上相关性显著(n=22);** 表示在 0.01 水平上相关性显著(n=22)。

3　结论与讨论

本研究结果表明,在相同的灌溉措施下,茎蘖量随着氮肥施用量的减少而下降,但过量的施氮条件下,总茎蘖量不升反降,可见适当减少氮肥的施用量,也有利于水稻形成合理的群体结构[11]。相同施肥量水平下,在持续的水分胁迫条件下,水稻生育前期的分蘖受到抑制,而由于后期的补偿效应,使生育后期分蘖数并没有显著的降低,各处理间差异不大,最终水分胁迫并没有影响到水稻分蘖的发生,这与陆建飞[12]等的研究结果一致。但也有报道认为,在节水灌溉条件下,水稻分蘖旺盛,持续时间更长且单株分蘖数多[13-14]。浅湿调控灌溉条件下有利于水稻株高的降低,这在一定程度上减少了茎秆生长对氮肥的消耗,使更多养分供给稻穗生长,同时株高的降低提高了水稻植株抽穗后的抗倒伏性,更符合高产型水稻的生长特性。而不同施氮水平对株高影响差异不显著,秸秆还田可以增加株高,对于淹水处理尤为显著。

水稻产量的形成是由多方面的因素所决定的,其中最主要的因素包括有效穗、每穗总粒数、结实率、千粒重等[15]。在秸秆还田条件下,不同水氮条件对水稻产量构成因素中的每穗总粒数、结实率无显著影响。水稻有效穗数受灌溉措施及施氮量的影响较大,浅湿调控灌溉可以有效提高水稻有效穗数。适度的水分胁迫能使千粒重不同程度的上升。合理的灌溉和施肥管理措施会发挥水肥耦合效应的最大影响,起到水肥相济的正面效果。在控制灌溉条件下,由于稻田土壤的水分和氧气条件得到改善,有利于控制无效分蘖的发生及增加有效穗数,水稻的群体结构得到优化,最终表现为水稻产量的提高。有关不同水氮条件对水稻产量构成因素的研究结论不一,尤小涛等[16]、史鸿儒等[17]学者认为,随氮肥施用量的增加水稻结实率及千粒重均有不同程度的降低,而陈新红等[18]则认为增施氮肥可以增加水稻的有效穗数、结实率及千粒重。

本研究结果发现,秸秆还田可以有效提高土壤养分含量。在秸秆还田条件下,相同施肥量水平下,相比其他两种灌溉方式,浅湿调控灌溉处理可以有效提高土壤有机质、全氮、有效磷、有效钾的含量,分析产生的原因可能是在浅湿调控灌溉模式下,土壤处于干湿的交替过程中,土壤的通气状况良好,土壤温度提升较快,这些因素都有利于土壤微生物和酶活性的提高,稻秆与土壤接触更为充分,有利于土壤中微生物对稻秆的分解活动,从而促进了稻杆的腐解,进一步增加了土壤中氮磷钾素的含量,这与刘世平等[19]研究的结果相似。而相同灌溉方式下,总体呈现出土壤养分随着施肥量水平的提高而增加,过高的施肥量反而造成土壤养分的降低,但是差异并不显著,这可能是因为施肥量梯度设置的过小。

土壤酶活性可以作为土壤肥力、土壤质量及土壤健康的重要指标。本研究结果发现,秸秆还田可以有效提高蔗糖酶活性,转化酶活性强弱反映了土壤熟化程度和肥力水平,对增加土壤中营养物质起重要作用,转化酶活性高,说明土壤生物活性好,土壤肥力高,土壤状况良好;还发现秸秆还田会降低脲酶活性,从而延迟尿素的释放,为作物的后期生长提供必要的氮源,这与闫超等[20]的研究结果一致;而对氧化氢酶的活性影响不明显。在秸秆还田条件下,浅湿调控灌溉处理显著提高了蔗糖酶活性,而对脲酶活性的降低并不显著,分析产生的原因可能是由于土壤酶活性与土壤有机质含量、肥力状况、土壤质地、pH 值、及气候条件都有关系,浅湿调控灌溉式下,土壤的通气状况、温度、pH 值等良好,从而有利于土壤酶活性的提高。而王波等[21]则认为节水稻作模式可以显著提高脲酶

活性，而对土壤蔗糖酶活性影响不显著。最后，由相关性分析也可以看出，土壤养分状况影响着土壤的酶活性，而土壤酶活性的高低又反过来影响着土壤的养分状况，它们相互作用，相互影响，最终影响着水稻的产量状况。

[参 考 文 献]

[1] 陈传友，陈智立，姚治君. 我国水资源形势分析及对策[J]. 水利水电科技进展，2006，26(1)：1-5.

[2] 黄建国. 植物营养学[M]. 北京：中国林业出版社，2003.

[3] 谭周进，李倩，李建国，等. 稻草还田量对晚稻土微生物数量及活度的动态影响[J]农业环境科学学报，2006，25(3)：670-673.

[4] 吴家旺，朱小梅，薛良鹏，等. 秸秆还田对稻麦产量的影响研究进展[J]. 现代农业科技，2011，23：92.

[5] 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.

[6] 王凯荣，刘鑫，周卫军，等. 稻田系统养分循环利用对土壤肥力和可持续生产力的影响[J]. 农业环境科学学报，2004，23(6)：1041-1045.

[7] 王玄德，石孝均，宋光煜. 长期稻草还田对紫色水稻土肥力和生产力的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2005，11(3)：302-307.

[8] 胡红青，王清洲，李淼泉，等. 荆门市小麦地稻草覆盖增产作用及机理[J]. 土壤肥料，2004，(5)：30-32.

[9] 鲍士旦. 土壤农化分析 [M]. 3 版. 北京：中国农业出版社，2000：30-34.

[10] 许光辉，郑洪元. 土壤微生物分析方法手册[M]. 北京：农业出版社，1986.

[11] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京：农业出版社，1986：274-328.

[12] 陆建飞，黄丕生，丁艳锋，等. 持续土壤水分胁迫对水稻物质积累和运转的影响[J]. 江苏农业学报，1998，14(3)：135-140.

[13] 吴文革，陈周前，沈绪波. 水稻旱作栽培技术及其节本效益探讨[J]. 安徽农业科学，1998，26(1)：8-9.

[14] 王占乔，欧康泉，杜同兴，等. 水稻覆膜旱作分蘖期耐旱能力初步研究[J]. 安徽农学通报，2000，6(3)：33-35.

[15] 何军，崔远来，张大鹏，等. 不同水肥耦合条件下水稻干物质积累与分配特征[J]. 灌溉排水报，2010，29(5)：1-5.

[16] 尤小涛，荆奇，姜东，等. 节水灌溉条件下氮肥对粳稻稻米产量和品质及氮素利用的影响[J]. 中国水稻科学，2006，20(2)：199-204.

[17] 史鸿儒，张文忠，解文孝，等. 不同氮肥施用模式下北方粳型超级稻物质生产特性分析[J]. 作物学报，2008，34(11)：1985-1993.

[18] 陈新红，刘凯，徐国伟，等. 氮素与土壤水分对水稻养分吸收和稻米品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报：自然科学版，2004，32(3)：15-21.

[19] 刘世平，陈后庆，聂新涛，等. 稻麦两熟制不同耕作方式与秸秆还田土壤肥力的综合评价[J]. 农业工程学报，2008，24(5)：51-56.

[20] 闫超，刁晓玲，葛慧玲，等. 水稻秸秆还田对土壤溶液养分与酶活性的影响[J]. 土壤通报，2012，45(5)：1235-1236.

[21] 王波，邓艳萍，肖新，等. 不同节水稻作模式对土壤理化特性和土壤酶活性影响研究[J]. 水土保持学报，2009，23(5)：219-222.

(上接第 42 页)

[参 考 文 献]

[1] 柳小妮，孙九林，张德罡，等. 东祁连山不同退化阶段高寒草甸群落结构与植物多样性特征研究[J]. 草业学报，2008，17(4)：1-11.

[2] 赵成章，樊胜岳，殷翠琴. 祁连山区天然草原退化原因分析与可持续利用对策[J]. 中国沙漠，2004，24(2)：207-210.

[3] 马兴祥，尹东. 祁连山草原气候和草地资源开发利用[J]. 草原与草坪，2000，90(3)：37-40.

[4] 孙涛，赵景学，田莉华，等. 草地蝗虫发生原因及可持续管理对策[J]. 草业学报，2010，19(3)：220-227.

[5] 高英志，韩兴国，汪诗平. 放牧对草原土壤的影响[J]. 生态学报，2004，24(4)：790-797.

[6] 曹静娟，尚占环，郭瑞英，等. 甘肃臭草入侵对亚高山草地土壤碳氮库的影响[J]. 草原与草坪，2010，30(5)：11-15.

[7] 赵锦梅，高超，张德罡. 祁连山东段不同退化高寒草甸土壤有机碳密度研究[J]. 草地学报，2010，18(1)：21-25.

[8] 丁玲玲，祁彪，尚占环，等. 东祁连山不同高寒草地型土壤微生物数量分布特征研究[J]. 农业环境科学学报，2007，26(6)：2104-2111.

[9] 黄德青，于兰，张耀生，等. 祁连山北坡天然草地地上生物量及其与土壤水分关系的比较研究[J]. 草业学报，2011，20(3)：20.

[10] Wu Gaolin, Liu Zhenheng, Zhang Lei, et al. Effects of artificial grassland establishment on soil nutrients and carbon properties in a black-soil-type degraded grassland[J]. Plant and Soil, 2010, 333(1/2): 469-479.

[11] Dong Shikui, Liu Wen, Li Yuanyuan, et al. Soil-quality effects of grassland degradation and restoration on the Qinghai—Tibetan Plateau[J]. Soil Science Society of America Journal, 2012, 76(6):2256-2264.