

doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.20051

不同土壤背景下秸秆还田量对水稻产量构成及氮吸收利用的影响

解文孝¹, 李建国¹, 刘 军¹, 吕 军¹, 梁传斌¹, 潘争艳¹, 李蒙杉², 史鸿儒³

(1. 辽宁省水稻研究所, 辽宁 沈阳 110101; 2. 辽宁职业学院, 辽宁 铁岭 112000;

3. 辽宁省农业发展服务中心, 辽宁 沈阳 110034)

摘 要:以辽宁省新审定的北方粳稻(辽粳 2501)为材料,在总施氮量为 $N\ 200\ kg/hm^2$ 、基-蘖-穗氮肥比例 50-30-20 条件下,采用盆栽试验,研究不同土壤类型(砂质荒漠土、壤质滨海盐土、粘质棕壤土)及秸秆还田量(0、30%、50%、70%)对水稻产量构成及氮吸收利用的影响。结果表明,荒漠土和滨海盐土稻田均以 50% 秸秆还田产量最高,分别比对照(无秸秆)还田处理增加 9.09% 和 9.55%,而棕壤土稻田 70% 秸秆还田量产量最高,比对照增加 7.87%。不同土壤间秸秆还田均抑制了拔节期以前的干物质积累量,降幅为 4.48% ~ 28.30%,但能促进荒漠土和棕壤土的后期干物质积累。秸秆还田均能提高土壤间农学利用率和氮肥偏生产力,砂壤稻田土以 50% 还田量最高,分别比对照增加 33.39% 和 9.20%;棕壤土稻田以 70% 秸秆还田量最高,分别比对照增加 44.54% 和 7.86%;滨海盐土稻田以 50% 还田量最高,分别比对照增加 25.00% 和 9.55%。秸秆还田增加了荒漠土和棕壤土的氮肥表观利用率,分别以 50% 和 70% 还田量处理最高,比对照增加 32.07% 和 18.66%,但降低了滨海盐土的氮肥表观利用率。综合水稻产量和氮吸收利用效率,辽宁省中晚熟荒漠土、滨海盐土和棕壤土稻区,秸秆还田量以 50%、50% 和 70% 较为适宜。

关键词: 秸秆还田; 土壤类型; 产量构成; 氮肥利用率

我国氮肥用量占全球氮肥用量的 30%,成为世界第一大氮肥消费国。水稻种植面积约占世界水稻种植面积的 20%,而中国水稻氮肥用量占全球水稻氮肥总量的 37% 左右^[1]。然而随着产量逐年提升,氮肥的投入不断加大,过量氮肥会造成水稻对氮的奢侈吸收,因而氮肥的生理利用率、农学效率及吸收效率均将急剧下降。张绍林等^[2]在太湖地区的研究结果表明,当稻田施氮量由 $46\ kg/hm^2$ 增加到 $230\ kg/hm^2$ 时,氮肥的生理利用率由 $N\ 45.0\ kg/kg$ 下降至 $22.7\ kg/kg$ 。中国稻田单位面积氮肥用量是日本的 2 倍,但两者水稻产量却相当^[3]。氮肥利用率低和大量的氮素损失将导致一系列环境问题。施入土壤的氮素大多随降水和灌溉水淋溶到土壤深层或随径流进入地表水,或经氨挥发、硝化-反硝化作用以气体形态进入大气,造成环境污染^[4-7]。水稻秸秆中富含有机质以及氮、磷、钾、钙、镁和硫等多种养分,是一种多用途的可再生资源。每公顷还

田秸秆 7500 kg,相当于施用土杂肥 37500 kg、碳铵 175.5 kg、过磷酸钙 93 kg、硫酸钾 71.25 kg,一年后土壤有机质相对提高 0.05% ~ 0.23%^[8]。秸秆还田作为合理利用生物资源和促进农业可持续发展的一种有效方式,不仅能够减少因秸秆焚烧带来的环境污染和资源浪费,还可以优化农田生态环境和提高作物产量^[9-12]。但由于北方冬季漫长、温度偏低,秸秆还田技术的推广和普及程度明显低于南方,大量研究都集中在南方双季稻区全量秸秆还田条件下,虽然北方也有少量报道但都基于单一土壤背景下,而有关北方不同土壤背景下的秸秆还田量对产量构成及氮肥利用效率的研究较少。本文针对辽宁省主栽稻区的 3 种土壤类型,研究讨论了水稻秸秆还田量对北方粳稻辽粳 2501 生长特性、产量结构及氮肥利用效率的影响,以期为我国北方稻区因地制宜合理施用秸秆提供理论依据。

1 材料与方法

试验于 2019 年在辽宁省水稻研究所试验基地($123^{\circ}38' E$, $41^{\circ}8' N$)进行。属于温带半湿润大陆性气候,四季分明,降雨充沛,主要集中在 6 ~ 9 月,年平均气温 $6.2 \sim 9.7^{\circ}C$,全年平均降水量 $600 \sim 800\ mm$ 。全年无霜期 172 ~ 180 d,有效积温 $3100^{\circ}C$ 。

收稿日期: 2020-02-04; 录用日期: 2020-05-13

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFD0300304) — 05。

作者简介: 解文孝(1982-),男,辽宁本溪人,助理研究员,硕士,从事粳型超级稻高产生理栽培方面研究工作。E-mail: 252802294@qq.com。

1.1 供试材料与土样采集

供试品种为辽粳 2501, 种子由辽宁省水稻研究所选育并提供。辽宁稻区土壤类型主要分为辽宁南部滨海盐土、辽宁中部棕壤土和辽宁西部丘陵荒漠土, 本试验土壤采自代表 3 种土壤类型的典型地区, 分别位于辽宁南部营口市水源镇、辽宁中部沈

阳市苏家屯区和辽宁西部阜新市彰武县大冷乡, 试验前将其风干并捡去其中较大颗粒、作物根系等残留杂质。经测定 3 类供试土壤的初始性状详见表 1。供试秸秆均来自辽宁省水稻研究所试验田上茬水稻, 试验前将收集到的秸秆经人工剪成约 2 cm, 混合均匀、风干、密封储存备用。

表 1 土壤理化性质对比

土壤类型	土壤容重 (g/cm^3)	有机质 (g/kg)	全氮 (g/kg)	碱解氮 (mg/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	pH 值
荒漠土	1.49	11.7	0.86	107.5	32.4	31.5	7.4
棕壤土	1.45	22.8	1.62	137.0	58.6	239.6	7.0
滨海盐土	1.44	26.1	1.71	170.3	71.0	283.3	8.2

1.2 试验设计

试验采用盆栽方式, 设 0、30%、50%、70% 水稻秸秆还田处理, 无秸秆还田为 CK1 (对照)、无氮和根茬还田为 CK2 (对照), 共 15 个处理 (表 2)。每处理 12 盆, 成熟期按平均有效穗数取 3 盆测定产量及穗部性状, 为避免边行效应带来的试验误差, 每处理盆栽间距 5 cm, 最外侧两处理分别设保护行, 并在测定时剔除首尾两盆 (边行效应)。每处理的施肥量为尿素 1.98 g、磷酸二铵

0.8 g、硫酸钾 0.6 g, 即按照当地本田常规施肥量尿素 $375 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 、磷酸二铵 $150 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 、硫酸钾 $112.5 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 折算。水稻秸秆全量还田为 44.7 g (按照 $9000 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 折算)。氮肥按照基肥: 蘖肥: 穗肥为 5:3:2 施用。磷肥、钾肥和秸秆在移栽前以基肥形式一次性全层施入, 待秸秆浸泡一周后插秧。栽培盆为普通塑料桶, 规格为: 上口内径 30 cm, 底直径 22 cm, 高 25 cm, 装风干土 6.5 kg, 每盆呈三角形分布种植 3 株。

表 2 试验处理秸秆还田量

处理	土壤类型	秸秆量 (g)	处理	土壤类型	秸秆量 (g)	处理	土壤类型	秸秆量 (g)
HS0 (CK1)	荒漠土	0	YS0 (CK1)	滨海盐土	0	ZS0 (CK1)	棕壤土	0
HS30	荒漠土	13.41	YS30	滨海盐土	13.41	ZS30	棕壤土	13.41
HS50	荒漠土	22.35	YS50	滨海盐土	22.35	ZS50	棕壤土	22.35
HS70	荒漠土	31.29	YS70	滨海盐土	31.29	ZS70	棕壤土	31.29
HS (CK2)	荒漠土	0+0N	YS (CK2)	滨海盐土	0+0N	ZS (CK2)	棕壤土	0+0N

1.3 测定项目与分析方法

1.3.1 干物质

于拔节期、齐穗期每处理取 3 盆能代表平均分蘖数植株。剪去根后按茎叶、穗分类, 在 105°C 杀青 30 min, 转至 70°C 烘干至恒重, 测定干物质量。

1.3.2 产量及其构成

于成熟期, 每处理按平均数取 3 盆长势均匀一致植株, 风干后考种, 测定样本稻草、实粒、秕粒的干重。计算理论产量, 折算成 14% 含水量。

1.3.3 分析方法

土壤容重采用环刀法每盆呈三角型取 3 点, 采集土壤样品均匀混合, 风干后过筛待测。土壤有机质采用重铬酸钾-浓硫酸氧化外加热法测定^[13]。土壤全氮测定采用半微量凯氏定氮法^[14]。碱解氮采用

碱解扩散法, 有效磷采用 NaHCO_3 浸提-钼锑抗比色法, 速效钾采用 NH_4OAc 浸提-火焰光度法。

1.4 氮素吸收和利用效率的计算

参考文献 [15-18], 计算氮素吸收量和氮素利用效率:

氮素积累总量 = 成熟期单位面积全株地上部秸秆和籽粒氮素吸收量之和, 即秸秆干重 (W) $\times$ 秸秆含氮量 + 籽粒干重 $\times$ 籽粒含氮量。

氮素收获指数 (%) = 成熟期植株穗部氮积累量 / 植株氮素积累总量 $\times 100$ 。

氮素农学效率 (kg/kg) = (施氮肥处理稻谷产量 - 不施氮肥处理稻谷产量) / 总施氮量。

氮肥利用率 (%) = (施氮处理植株氮素积累量 - 不施氮处理植株氮素积累量) / 施氮量 $\times 100$ 。

氮肥生理利用率 (kg/kg) = (施氮肥处理稻谷产量 - 不施氮肥处理稻谷产量) / (施氮处理总吸氮量 - 不施氮肥处理总吸氮量)。

氮肥偏生产力 (kg/kg) = 单位面积稻谷产量 / 单位面积施氮量。

1.5 数据分析

试验数据统计分析采用 Excel 2007 和 SPSS 20.0 软件进行处理和作图。

2 结果与分析

2.1 秸秆还田量对水稻产量及构成因素的影响

由表 3 可知, 秸秆还田对水稻平均产量的影响在土壤间表现为荒漠土 > 棕壤土 > 滨海盐土。土壤内秸秆还田量对产量的影响不尽相同, 在荒漠土、

滨海盐土和棕壤土背景下以 50%、50% 和 70% 秸秆还田量增产幅度最大, 分别比对照 (CK1) 增加 9.09%、9.55% 和 7.87%。这说明土壤间最佳秸秆还田量不完全一致, 秸秆还田量并不与产量成正比。从产量构成因素上来看, 秸秆还田能增加荒漠土和棕壤土的有效穗数, 却降低了滨海盐土的有效穗数, 但均未达到显著水平。土壤间秸秆还田均能增加每穗颖花数, 且在荒漠土、滨海盐土和棕壤土中秸秆还田量分别为 50%、50% 和 70% 时达到最大颖花数。秸秆还田对结实率的影响在土壤间表现为: 滨海盐土结实率随着秸秆还田量的增加而增加且达到了显著差异水平, 而在荒漠土中差异不显著, 棕壤土结实率随着秸秆还田量的增加而降低且达到显著差异水平。

表 3 秸秆还田量对产量及其构成因素的影响

处理	有效穗数 (穗/盆)	颖花数 (朵/穗)	结实率 (%)	千粒重 (g)	产量 (t/hm^2)
HS0	35.12 ± 3.75c	145.49 ± 15.42abc	0.91 ± 0.04ab	24.17 ± 0.06c	9.35 ± 0.10d
HS30	35.45 ± 3.12c	156.61 ± 16.12ab	0.92 ± 0.02a	23.43 ± 0.08e	9.87 ± 0.12ab
HS50	35.71 ± 2.93c	161.64 ± 18.57a	0.89 ± 0.03abc	23.57 ± 0.07de	10.20 ± 0.09a
HS70	34.47 ± 2.62c	157.25 ± 17.62ab	0.88 ± 0.02bcd	23.47 ± 0.06de	9.53 ± 0.08cd
平均	35.34	155.25	0.90	23.66	9.74
YS0	29.76 ± 3.21d	121.64 ± 12.78cd	0.83 ± 0.03d	24.77 ± 0.05b	6.18 ± 0.08f
YS30	28.83 ± 3.04d	125.56 ± 11.69cd	0.90 ± 0.04abc	24.91 ± 0.06ab	6.64 ± 0.09e
YS50	27.56 ± 2.85d	132.92 ± 13.54bcd	0.89 ± 0.03abc	25.02 ± 0.05a	6.77 ± 0.11e
YS70	26.63 ± 2.82d	124.67 ± 13.25cd	0.89 ± 0.02abc	25.07 ± 0.07a	6.14 ± 0.07f
平均	28.20	123.70	0.87	24.77	6.44
ZS0	40.12 ± 5.78ab	132.88 ± 14.98bcd	0.91 ± 0.03ab	23.66 ± 0.07d	9.53 ± 0.13cd
ZS30	41.32 ± 5.29a	138.99 ± 16.12abcd	0.86 ± 0.04cd	23.67 ± 0.06d	9.73 ± 0.12bc
ZS50	42.65 ± 4.67a	138.89 ± 15.95abcd	0.88 ± 0.03bcd	23.57 ± 0.06de	10.15 ± 0.14a
ZS70	42.39 ± 4.62a	140.53 ± 16.32abc	0.84 ± 0.02d	23.40 ± 0.05de	10.28 ± 0.11a
平均	41.62	137.82	0.88	23.57	9.92

注: 表中数据为平均值 ± 标准差。数据后不同小写字母表示处理间差异达 5% 显著水平。下同。

2.2 秸秆还田量对水稻干物质累积的影响

由图 1 可知, 不同土壤背景下氮肥和秸秆互作对干物质积累量的影响, 在移栽至拔节期表现为随着秸秆还田量的增加而降低, 土壤间降低幅度为 4.48% ~ 28.30%, 以滨海盐土降幅最为明显。荒漠土齐穗期和成熟期干物质累积量变化趋势相近, 均随着秸秆还田量的增加表现为先增加后降低的趋势, 当秸秆还田量达到 50% 时干物质累积量最高, 分别比 CK1 (无秸秆) 处理增加 7.88% 和 6.83%; 滨海盐土背景下齐穗期和成熟期的干物质累积量均

随着秸秆还田量的增加而降低, 与 CK1 处理相比降低了 44.83% 和 21.30%; 棕壤土背景下齐穗期和成熟期的干物质累积量随着秸秆还田量的增加而显著增加, 比 CK1 处理增加了 10.28% 和 12.29%。

2.3 秸秆还田量对氮素累积的影响

由表 4 可知, 相同处理下齐穗期和成熟期植株氮素积累量在土壤间差异显著, 且表现为棕壤土 > 荒漠土 > 滨海盐土。各处理齐穗期与成熟期氮素总积累量差异不显著, 但成熟期茎秆和叶片氮素积累量显著降低, 其中荒漠土、滨海盐土和棕壤土齐穗期的

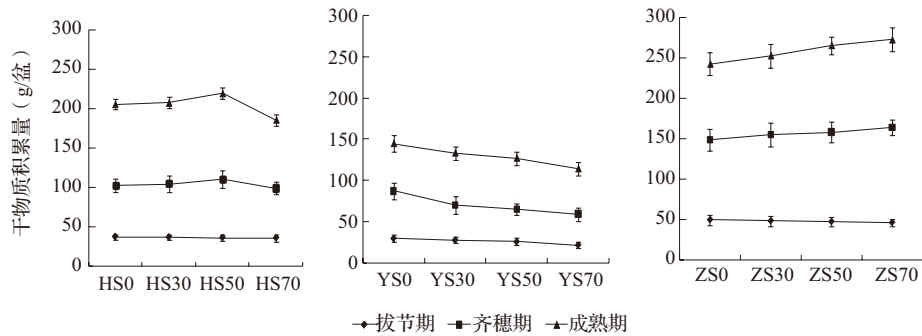


图1 秸秆还田比例对各时期干物质积累特征的影响

表4 秸秆还田量对齐穗期和成熟期氮素累积的影响

(mg/g)

处理	齐穗期氮素吸收量			成熟期氮素吸收量			
	茎秆	叶片	全株 (不含根系)	茎秆	叶片	籽粒	全株 (不含根系)
HS0	0.91 ± 0.011e	0.95 ± 0.019c	1.86 ± 0.029d	0.38 ± 0.011e	0.15 ± 0.006c	1.38 ± 0.023c	1.90 ± 0.013e
HS30	0.96 ± 0.018d	1.01 ± 0.020bc	1.96 ± 0.044c	0.44 ± 0.029d	0.13 ± 0.004cd	1.46 ± 0.023ab	2.03 ± 0.057d
HS50	1.01 ± 0.043c	1.05 ± 0.045b	2.06 ± 0.081b	0.47 ± 0.021c	0.13 ± 0.010c	1.48 ± 0.032a	2.08 ± 0.061c
HS70	0.93 ± 0.015e	0.96 ± 0.030c	1.91 ± 0.049d	0.43 ± 0.015e	0.11 ± 0.005e	1.42 ± 0.035b	1.93 ± 0.055d
平均	0.95	0.99	1.95	0.43	0.13	1.44	1.99
YS0	0.62 ± 0.034f	0.71 ± 0.016d	1.33 ± 0.045e	0.39 ± 0.011e	0.16 ± 0.003b	0.92 ± 0.018de	1.47 ± 0.031f
YS30	0.59 ± 0.035g	0.69 ± 0.011e	1.27 ± 0.042f	0.33 ± 0.017f	0.12 ± 0.002d	0.92 ± 0.019de	1.37 ± 0.035g
YS50	0.64 ± 0.024f	0.67 ± 0.017e	1.34 ± 0.030f	0.26 ± 0.019g	0.09 ± 0.004e	0.96 ± 0.022d	1.32 ± 0.020g
YS70	0.46 ± 0.019h	0.57 ± 0.015f	0.97 ± 0.032g	0.22 ± 0.022h	0.07 ± 0.002e	0.85 ± 0.017e	1.15 ± 0.040h
平均	0.58	0.66	1.23	0.3	0.11	0.91	1.33
ZS0	1.36 ± 0.016a	1.29 ± 0.016a	2.65 ± 0.031a	0.62 ± 0.013b	0.31 ± 0.005a	1.40 ± 0.010b	2.34 ± 0.022b
ZS30	1.41 ± 0.016b	1.41 ± 0.012a	2.82 ± 0.029a	0.62 ± 0.015b	0.32 ± 0.004a	1.41 ± 0.019b	2.35 ± 0.034b
ZS50	1.43 ± 0.017b	1.32 ± 0.021a	2.75 ± 0.038a	0.64 ± 0.011b	0.32 ± 0.004a	1.45 ± 0.018ab	2.41 ± 0.028ab
ZS70	1.44 ± 0.020b	1.36 ± 0.013a	2.80 ± 0.033a	0.66 ± 0.019a	0.32 ± 0.003a	1.46 ± 0.019ab	2.44 ± 0.040a
平均	1.41	1.35	2.76	0.64	0.32	1.43	2.39

平均氮素转化率分别为 71.79%、66.43% 和 64.84%，说明成熟期籽粒的氮素积累大部分源于齐穗期茎叶的氮素转化。相关分析（表 5）表明：不同土壤背景下籽粒氮素积累量与灌浆期叶片氮素转移量均表现为极显著正相关，相关系数土壤间表现为荒漠土 > 滨海盐土 > 棕壤土，而籽粒氮素积累量与灌浆期茎秆氮素转移量相关性在各土壤间表现不一，仅滨海盐土中表现为显著正相关，而其他土壤中相关不显著。表明对籽粒氮素积累的贡献率，灌浆期叶片氮素转移量大于茎秆。

由表 4 可知，相同土壤背景下秸秆还田量对植株氮素积累表现不一，荒漠土成熟期总氮素积累量随着秸秆还田量的增加呈增加趋势，各处理与对照（CK1）均达到了显著水平差异，且 50% 秸秆还田量最高，比对照增加 8.95%；滨海盐土成熟期总氮素积累量随着秸秆还田量的增加而降低，与对照（CK1）相比各处理均达到显著水平差异，其中

70% 秸秆还田量处理比对照降低 21.38%；棕壤土成熟期总氮素积累量随着秸秆还田量增加而增加，当 70% 秸秆还田量处理时达到显著差异水平，比无秸秆还田增加 4.01%。

表5 灌浆期茎秆、叶片氮素转移量与籽粒氮素积累相关分析

土壤类型	N 值	茎秆氮素转移量	叶片氮素转移量
荒漠土	12	0.31	0.82**
滨海盐土	12	0.65*	0.72**
棕壤土	12	0.51	0.71**

注：*， $P < 0.05$ ；**， $P < 0.01$ 。

2.4 秸秆还田对氮素吸收利用率的影响

由表 6 可知，不同土壤背景下的秸秆还田量对氮肥利用效率均产生显著影响，荒漠土和棕壤土秸秆还田均能增加氮肥利用效率，当分别达到 50% 和 70% 还田量时最高，比对照（CK1）增加 32.07% 和 18.66%。而滨海盐土的氮肥利用效

率随着秸秆还田量增加而降低, 70% 还田量比对照 (CK1) 降低 41.90%。土壤间的秸秆还田量仅在 50% 和 70% 还田量的滨海盐土背景下显著增加氮素收获指数和收获指数, 其他处理均未产生显著影响。在荒漠土、滨海盐土 (30%、50% 还田量) 和棕壤土背景下秸秆还田均能增加氮肥农学利用率, 分别以 50%、50% 和 70% 还田量时最高, 比对照增加了 33.39%、25.00% 和 44.44%, 而 70% 秸秆

还田却降低了滨海盐土的氮肥农学利用率。在等量秸秆处理下土壤间氮肥生理利用率表现为荒漠土 > 滨海盐土 > 棕壤土, 滨海盐土和棕壤土的氮肥生理利用率随秸秆还田量增加呈增加趋势, 而荒漠土与其相反。秸秆还田均可增加氮肥偏生产力, 荒漠土和滨海盐土以 50% 还田量处理增幅最大, 分别比对照 (CK1) 增加 9.20% 和 9.55%, 棕壤土在 70% 还田量处理增幅最大, 比对照增加 7.86%。

表 6 秸秆还田对水稻氮素利用效率的影响

处理	氮肥利用效率 (%)	氮素收获指数 (%)	收获指数 (%)	氮肥农学 利用率 (kg/kg)	氮肥生理 利用率 (kg/kg)	氮肥偏生产力 (kg/kg)
HS0	31.93 ± 2.62g	72.63 ± 2.52a	54.52 ± 2.31a	18.60 ± 2.18de	58.28 ± 4.27a	67.53 ± 1.62a
HS30	37.95 ± 2.25de	73.00 ± 3.02a	57.62 ± 3.65a	22.37 ± 2.47b	58.95 ± 3.58a	71.30 ± 2.15a
HS50	42.17 ± 2.78b	71.02 ± 3.78a	56.33 ± 3.11a	24.81 ± 3.35a	53.51 ± 3.76b	73.74 ± 2.22a
HS70	36.75 ± 2.39def	74.75 ± 2.69a	57.03 ± 3.05a	19.93 ± 2.07cd	54.25 ± 2.71b	68.86 ± 2.13a
YS0	44.58 ± 3.12a	62.07 ± 2.66b	45.98 ± 2.48b	17.08 ± 1.49e	26.58 ± 3.52e	44.68 ± 1.98b
YS30	37.35 ± 2.98def	66.92 ± 3.01b	48.91 ± 2.67b	20.57 ± 2.37bcd	41.05 ± 2.18d	48.16 ± 2.53b
YS50	34.34 ± 2.46fg	75.00 ± 2.95a	55.31 ± 3.25a	21.35 ± 2.48bc	46.93 ± 3.67e	48.94 ± 2.05b
YS70	25.90 ± 2.17h	74.56 ± 3.26a	55.92 ± 3.52a	16.79 ± 2.24e	44.61 ± 3.51e	44.38 ± 1.78b
ZS0	35.54 ± 2.52ef	65.69 ± 2.73b	47.00 ± 2.68b	12.15 ± 1.44f	15.44 ± 2.32g	68.86 ± 2.44a
ZS30	35.54 ± 2.78ef	65.69 ± 2.45b	45.92 ± 3.17b	13.57 ± 1.89f	19.46 ± 2.68f	70.29 ± 3.12a
ZS50	39.16 ± 3.14c	65.36 ± 1.67b	45.43 ± 2.76b	16.62 ± 2.45e	25.45 ± 3.15e	73.34 ± 3.37a
ZS70	42.17 ± 3.36b	63.16 ± 2.48b	43.81 ± 1.84b	17.55 ± 2.73e	25.84 ± 2.98e	74.27 ± 3.21a

3 讨论

3.1 秸秆还田量对产量及构成的影响

关于不同土壤背景下秸秆还田对下茬水稻产量的影响, 前人进行了大量研究, 但结果不尽一致。孙扬等^[19]认为盐渍化水田秸秆还田量 30% ~ 50% 能增加产量 4.0% ~ 9.4%。李录久等^[20]认为, 华中低产白土稻田秸秆还田和氮肥合理配施, 可增加水稻产量 12.9%。陈海飞等^[21]认为, 南方中低产黄泥田秸秆全量还田并以氮肥基、蘖、穗肥配比 40-30-30 可增加产量 8.6% ~ 15.9%。Xu 等^[22]、Zhao 等^[23]认为秸秆还田第一年未对产量产生显著影响。本试验表明在辽宁稻区氮肥基、蘖、追肥配比为 5:3:2 的条件下, 棕壤土稻田 70% 秸秆还田量增产作用最为显著, 而荒漠土和滨海盐土稻田 50% 秸秆还田量为宜。秸秆的氮素利用状况既与

秸秆本身物质结构有关, 也与土壤类型等环境条件有关, 秸秆还田前期由于秸秆中 C/N 较高, 微生物在分解过程中会吸收大量氮素, 存在与作物争养分等现象, 会造成前期生长量不足和脱肥现象, 且随着秸秆还田量的增加这种现象将更为明显。而后期缓慢释放的氮素为水稻幼穗分化提供营养, 最终促进二次枝梗粒数的增加, 有利于籽粒灌浆, 增加产量^[24-25]。另外, 滨海盐土稻田分蘖期的秸秆快速腐解不仅造成了与水稻争肥争氧现象, 同时也改变了土壤微生物群落且加剧了盐碱胁迫。Sun 等^[26]研究认为, 土壤 pH 值是影响微生物群落结构最重要的因素之一, 李鹏等^[27]研究认为秸秆还田土壤 pH 值呈逐渐升高的趋势, 在 360 d 时 pH 值达到最大。而荒漠土有机质含量低、微生物群落少、土壤固持能力较差、秸秆腐解速率慢, 因此都应严格控制秸秆还田比例。

3.2 秸秆还田量对干物质累积量的影响

李晓峰等^[28]、朱斌等^[29]研究表明, 秸秆还田降低了水稻前期群体干物质累积量, 但对于中后期水稻生长有促进作用。孙扬等^[19]研究也表明, 在盐渍化水田秸秆还田量的增加对水稻前期生长影响较小, 50% 秸秆还田对水稻中后期生长具有显著促进作用, 而还田量达到 70% 时呈下降趋势, 这应与土壤环境对秸秆腐解规律的影响有关。大量学者研究均认为作物秸秆腐解速率均为“前快后慢”的趋势, 秸秆还田后 30 d 内腐解速率最快, 因此该阶段水稻争肥现象明显, 造成对水稻生育前期干物质积累的抑制^[24, 30-31]。本研究结果表明土壤间秸秆还田量对各时期的水稻干物质积累影响不同。水稻拔节期干物质累积量均随着秸秆还田量的增加而降低, 这可能主要与秸秆前期快速腐解吸收大量氮素而抑制干物质的积累有关。在抽穗期和成熟期干物质累积量中荒漠土和棕壤土均表现为 50% 和 70% 秸秆还田量最高, 而滨海盐土随着秸秆还田量增加而降低, 这可能与秸秆在不同土壤环境中固持氮素和后期释放氮素能力以及矿化后的速效氮素水平差异有关。

3.3 不同土壤背景下秸秆还田量对氮素吸收利用的影响

秸秆还田通过自身的氮素分解固氮与增加外源氮素的固定, 从而增加氮肥的利用率, 李晓峰等^[28]研究认为在长江中下游黏土条件下, 氮素吸收利用率的变化幅度及显著性差异与氮肥运筹密切相关, 在氮肥运筹 7:3 情况下, 秸秆还田处理的氮素积累总量、氮肥表观利用率、氮肥农学利用率、氮肥偏生产力提高幅度最大。李录久等^[20]和胡雅杰等^[32]研究认为小麦秸秆还田下水稻氮素农学利用率和氮素生理利用率比无秸秆覆盖处理下有所提高。本试验结果显示, 秸秆还田均能提高在荒漠土和棕壤土背景下总氮素累积量, 却降低了滨海盐土背景下总氮素累积量, 土壤间总氮素累积量表现为棕壤土 > 荒漠土 > 滨海盐土。不同土壤背景下的秸秆还田均能提高氮肥利用率、氮肥农学利用率和氮肥偏生产力, 这与前人研究结果基本一致, 但随着秸秆还田量的增加荒漠土和滨海盐土表现为先增加后降低的趋势。这可能与不同土壤生态效应下秸秆的腐解及固氮机制比较复杂, 土壤有机质含量、理化性质和土壤微生物群落差异有关系。荒漠土有机质含量低、土壤团粒结构差、土壤微生物总群数量

低。当秸秆还田量增大时, 秸秆腐解与大量微生物的繁殖消耗土壤中大量氮素, 同时促进水中氧气消耗以及硫化氢气体的释放, 直接影响水稻特别是根系的生长及植株前期的氮素累积, 植株对氮的吸收以及茎叶、籽粒之间的运移能力下降, 最终导致产量下降。而滨海盐土对氮肥的吸附能力强, 总养分含量多, 但难以被作物吸收, 土壤长期处于还原条件, 使得土壤质量差, 好气型微生物活性受到抑制, 有机质分解缓慢, 当秸秆还田量增大时, 秸秆腐解不仅与水稻争氮、争氧且产生还原性物质并释放大量氨气, 加剧土壤环境恶化, 造成水稻僵苗、烂根等问题^[33], 严重抑制了植株前期的氮素累积量。

4 结论

不同土壤背景下的秸秆还田量和氮肥耦合对水稻产量和氮肥吸收利用具有显著影响。本试验在总施氮量为 200 kg/hm²、基-蘖-穗氮肥用量 50-30-20 处理条件下, 荒漠土和滨海盐土稻田均为 50% 秸秆还田产量最高, 而棕壤土稻田为 70% 秸秆还田产量最高, 秸秆还田抑制了分蘖期至拔节期的干物质和氮素积累, 但促进了拔节期至齐穗期和齐穗期至成熟期阶段的积累量。秸秆还田均能提高荒漠土、滨海盐土和棕壤土稻田的氮肥利用效率、农学利用率和氮肥偏生产力, 其中分别以 50%、50% 和 70% 秸秆还田量最高。本试验为盆栽处理, 与大田环境存在一定差异, 文中数据仅为特定环境的相对值比较, 并不能完全代表大田结果, 关于大田试验还有待日后进一步验证。

参考文献:

- [1] 彭少兵, 黄见良, 钟旭华, 等. 提高中国稻田氮肥利用率的研究策略 [J]. 中国农业科学, 2002, 35 (9): 1095-1103.
- [2] 张绍林, 朱兆良, 徐银华, 等. 关于太湖地区稻麦上氮肥的适宜用量 [J]. 土壤, 1988 (1): 5-9, 4.
- [3] 徐富贤, 张林, 熊洪, 等. 水田杂交中稻氮肥运筹对稻米品质的影响 [J]. 中国稻米, 2014, 20 (4): 51-53.
- [4] Xiao M L, Zang H D, Ge T, et al. Effect of nitrogen fertilizer on rice photosynthate allocation and carbon input in paddy soil [J]. European Journal of Soil Science, 2019, 70 (4): 786-795.
- [5] Naher N A, Choudhury A T M A, Biswas J C, et al. Prospects of using leguminous green manuring crop *Sesbania rostrata* for supplementing fertilizer nitrogen in rice production and control of environmental pollution [J]. Journal of Plant Nutrition, 2020, 43 (2): 285-296.

- [6] Liu Y, Tang H Y, Aamer M, et al. The effects of Chinese milk vetch returning with nitrogen fertilizer on rice yield and greenhouse gas emissions [J]. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, 2019, 9 (4): 743–753.
- [7] Zhao X, Cai S Y, Pittelkow C M, et al. Winter legume–rice rotations can reduce nitrogen pollution and carbon footprint while maintaining net ecosystem economic benefits [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 195 (10): 289–300.
- [8] 张明秋, 王金武. 水稻秸秆还田研究现状 [C]// 中国农业工程学会 2007 年学术年会论文集. 北京: 中国农业工程学会, 2007.
- [9] 冯伟, 张利群, 庞中伟, 等. 中国秸秆废弃焚烧与资源化利用的经济与环境分析 [J]. *中国农学通报*, 2011, 27 (6): 350–354.
- [10] Eagle A J, Bird J A, Horwath W R, et al. Rice yield and nitrogen utilization efficiency under alternative straw management practices [J]. *Agronomy Journal*, 2000, 92 (6): 1096–1103.
- [11] Ju J, Cai Y X, Zuo W G, et al. Effects of nitrogen management on soil nitrogen content and rice grain yield in double cropping rice production area with continuous full amount of straw returning [J]. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2019, 50 (20): 2655–2668.
- [12] Yang H S, Xu M M, Roger T K, et al. Effects of ditch–buried straw return on water percolation, nitrogen leaching and crop yields in a rice–wheat rotation system [J]. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 2016, 96 (4): 1141–1149.
- [13] 鲍士旦. 土壤农化分析 (第 3 版) [M]. 北京: 中国农业出版社, 2010. 25–114.
- [14] 朱兆良, 文启孝. 中国土壤中的氮 [M]. 南京: 江苏科技出版社, 1992. 3–26.
- [15] 周江明, 赵琳, 董越勇, 等. 氮肥和栽植密度对水稻产量及氮肥利用率的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16 (2): 274–281.
- [16] 樊红柱, 曾祥忠, 张冀, 等. 移栽密度与供氮水平对水稻产量、氮素利用影响 [J]. *西南农业学报*, 2010, 23 (4): 1137–1141.
- [17] 张满利, 陈盈, 侯守贵, 等. 氮肥运筹对水稻产量和氮肥利用率的影响 [J]. *作物杂志*, 2010 (6): 46–50.
- [18] 谢志煌, 李彦生, 于振华, 等. 秸秆还田与作物氮素利用关系研究 [J]. *土壤与作物*, 2016, 5 (4): 261–268.
- [19] 孙扬, 刘亚亮, 肖薇航, 等. 盐渍化水田秸秆还田对水稻生长及产量的影响 [J]. *作物杂志*, 2012 (4): 49–52.
- [20] 李录久, 王家嘉, 吴萍萍, 等. 秸秆还田下氮肥运筹对白土田水稻产量和氮吸收利用的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2016, 22 (1): 254–262.
- [21] 陈海飞, 冯洋, 徐芳森, 等. 秸秆还田下氮肥管理对中低产田水稻产量和氮素吸收利用影响的研究 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20 (3): 517–524.
- [22] Xu J, Li Z J, Han H F, et al. Long-term effects of tillage and straw management on soil organic carbon, crop yield, and yield stability in a wheat–maize system [J]. *Field Crops Research*, 2019, 23 (3): 33–40.
- [23] Zhao X L, Yuan G Y, Wang G Y, et al. Effects of full straw incorporation on soil fertility and crop yield in rice–wheat rotation for silty clay loamy cropland [J]. *Agronomy*, 2019, 9 (3): 133.
- [24] 胡宏祥, 汪玉芳, 何方, 等. 水稻秸秆的腐解特征及其培肥增产作用研究 [J]. *中国水土保持*, 2012 (7): 51–53.
- [25] 闫超. 水稻秸秆还田腐解规律及对土壤养分和酶活性的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2012.
- [26] Sun B, Wang X Y, Wang F, et al. Assessing the relative effects of geographic location and soil type on microbial communities associated with straw decomposition [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2013, 79 (11): 3327–3335.
- [27] 李鹏, 李永春, 史加亮, 等. 水稻秸秆还田时间对土壤真菌群落结构的影响 [J]. *生态学报*, 2017, 37 (13): 4309–4317.
- [28] 李晓峰, 程金秋, 梁健, 等. 秸秆全量还田与氮肥运筹对机插粳稻产量及氮素吸收利用的影响 [J]. *作物学报*, 2017, 43 (6): 912–924.
- [29] 朱斌, 苏建平, 李久进. 麦秆还田与氮肥不同运筹方式对水稻生长和产量的影响 [J]. *现代农业科技*, 2012 (15): 12–15.
- [30] Zhang L, Wang J, Pang H C, et al. Effects of pelletized straw on soil nutrient properties in relation to crop yield [J]. *Soil Use and Management*, 2018, 34 (4): 479–489.
- [31] 陈新红, 韩正光, 叶玉秀, 等. 麦草全量机械还田对机插水稻产量和生长特性的影响 [J]. *西北农业学报*, 2013, 22 (8): 38–41.
- [32] 胡雅杰, 朱大伟, 邢志鹏, 等. 改进施氮运筹对水稻产量和氮素吸收利用的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21 (1): 12–22.
- [33] 柴娟娟, 廖敏, 徐培智, 等. 我国主要低产水稻冷浸田养分障碍因子特征分析 [J]. *水土保持学报*, 2012, 26 (2): 285–288.

Effects of straw returning amounts on rice yield components and N uptake of different soil background

XIE Wen-xiao¹, LI Jian-guo¹, LIU Jun¹, LÜ Jun¹, LIANG Chuan-bin¹, PAN Zheng-yan¹, LI Meng-shan², SHI Hong-ru³
(1. Liaoning Rice Research Institute, Shenyang Liaoning 110101; 2. Liaoning Vocational College, Tieling Liaoning 112000; 3. Liaoning Agricultural Development Service Center, Shenyang Liaoning 110034)

Abstract: An pot experiment was conducted using Liaojing 2501 of northern japonica rice. The total nitrogen application was N 200 kg/hm², and N application ratio of basal and topdressing was 50-30-20. The effects of straw returning amounts

(0, 30%, 50% and 70%) on rice yield components and fertilizer-N use efficiency among different soil types (sandy soil, soda-salinization soil, brown clay) were studied. The results showed that, 50% straw returning treatment obtained the highest yield in sandy soil and soda-salinization soil, which increased 9.09% and 9.55% respectively compared with no straw returning (control) treatment, while the 70% straw returning treatment had the highest yield in brown clay, increasing by 7.87% compared with control. Straw returning reduced the dry matter accumulation before jointing stage by 4.48% ~ 28.30%, but promoted dry matter accumulation in sandy soil and brown clay at the other stages. Straw returning improved agronomy efficiency of nitrogen applied and the partial factor productivity of nitrogen in all types of soil. The agronomy efficiency and the partial factor productivity of nitrogen were the highest with the 50% straw-returning treatment in sandy soil, which was 33.39% and 9.20% higher than the control; the highest with the 70% straw-returning treatment in brown clay, which was 44.54% and 7.86% higher than the control respectively; the highest in the 50% straw-returning treatment in soda-salinization soil, which was 25.00% and 9.55% higher than the control respectively. Straw returning increased the nitrogen apparent recovery efficiency of sandy soil and brown clay increased by 32.07% and 18.66% for the 50% and 70% straw-returning treatments, respectively, but decreased in soda-salinization soil. Based on the comprehensive rice yield and nitrogen absorption and utilization efficiency, 50%, 50% and 70% straw-returning amounts are suitable for medium-late mature rice areas under the sandy soil, soda-salinization soil and brown clay in Liaoning province.

Key words: straw returning; soil types; yield components; fertilizer-N use efficiency