

doi: 10.11838/sfsc.20170303

川东北麦秆还田对水稻氮素吸收转运的影响

王婉秋, 李仕培*, 李 辉, 张婕琳, 周 娅, 肖洪环, 邓 哲

(1. 南充市土壤肥料站, 四川 南充 637000; 2. 仪陇县土肥站, 四川 仪陇 637600)

摘 要: 为合理利用秸秆, 于 2014 和 2015 年两个水稻生长季, 在大田条件下, 以当地平均施肥量为标准, 设置不同量的化肥配施秸秆处理, 研究秸秆还田下水稻氮素吸收转运特征。结果表明: 较纯化肥处理, 秸秆替代一部分氮肥处理对水稻产量、地上部氮素积累量、氮素收获指数及氮肥生产效率无显著影响 ($P > 0.05$); 在不同程度上降低氮素在穗部的分配比例、营养器官吸收氮素向穗部转运量、转运率、转运氮对籽粒氮素贡献率; 在不同程度上提高成熟期营养器官氮素积累量, 显著提升抽穗后氮素吸收量及其对籽粒氮素贡献率 ($P < 0.05$)。综合氮素吸收转运及利用效率, 川东北稻麦轮作区水稻季在化肥减施 30% 基础上, 麦秆还田量以 $6\ 000\ \text{kg}/\text{hm}^2$ 为宜。

关键词: 麦秆还田; 水稻; 氮素吸收积累; 氮转运

中图分类号: S141.4; Q945.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2017) 03-0010-05

随着种植业规模化发展, 我国作物秸秆年产生量达 7 亿 t 以上, 相当于 350 多万 t 氮肥、80 多万 t 磷肥、800 多万 t 钾肥, 但在我国, 秸秆作为有机肥源还田率低下, 废弃和焚烧量则高达 21%^[1-2], 严重影响区域环境质量及人体健康。水稻是我国最重要的粮食作物, 其产量是衡量农业发展水平的重要标准, 在人口膨胀的压力下, 其生产亦形成了以高投入、高产出、高污染为主要特征的传统模式^[3]。秸秆还田对在农业生产成本攀升、农业资源短缺、污染加重的背景下走出一条资源节约、环境友好的现代农业发展道路具有重要意义。前人的研究肯定了秸秆因其丰富的 C、N、P、K 及微量元素含量, 还田后对改善土壤理化及生物学特性, 提升土壤有机质、养分含量以及作物产量起到的重要作用^[4-5]; 同时, 就施肥对水稻氮素吸收、转运、产量及品质的影响亦进行了大量研究^[6-8], 但研究多集中于化肥施用条件下, 针对秸秆还田下的研究较少。本研究基于南充顺庆区稻麦轮作区, 设置不同量的麦秆还田处理, 研究麦秆还田下水稻氮素吸收转运特征, 以期确定本区域适宜的秸秆还田量, 为秸秆的资源化利用提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验分别于 2014 年 4 月至 9 月、2015 年 4 月至 9 月在四川省南充市顺庆区新建街道栖乐垭村进行, 试验地为沟中平坝, 水稻土, 土壤耕作层 (0~20 cm) 基本理化性状: pH 值 8.3、有机质 24.5 g/kg、全氮 1.66 g/kg、全磷 0.78 g/kg、全钾 28.5 g/kg、碱解氮 105.3 mg/kg、有效磷 12.2 mg/kg、速效钾 114.2 mg/kg, 试验地属中亚热带湿润季风气候, 年均气温 17℃, 年均降水量 1 000 mm, 年均无霜期 280 d 以上。

1.2 试验设计

2014 年 4 月对南充市主要稻麦轮作区的施肥情况调查后表明: 农户习惯施肥为尿素 (N 46%), 折合 N 为 $150\ \text{kg}/\text{hm}^2$; 过磷酸钙 (P_2O_5 12%), 折合 P_2O_5 为 $75\sim 90\ \text{kg}/\text{hm}^2$; 氯化钾 (K_2O 60%), 折合 K_2O 为 $90\ \text{kg}/\text{hm}^2$; 氮肥分基肥 (70%)、孕穗肥 (30%) 两次施入, 磷、钾肥均作为基肥一次性施入。2014 年试验用秸秆养分: N 0.75%, P_2O_5 0.21%, K_2O 0.93%; 2015 年试验用麦秆养分: N 0.77%, P_2O_5 0.19%, K_2O 0.89%。

试验共设 5 个处理: 如表 1 所示, CK (不施肥对照); CF (当地平均施肥); T1 (15% 麦秆氮 + 85% 化肥氮, 以纯化肥施氮为标准, 施用麦秆氮量占总施氮量的 15%); T2 (30% 麦秆氮 + 70% 化肥氮, 以纯化肥施氮为标准, 施用麦秆氮量占总施氮

收稿日期: 2016-05-10; 最后修订日期: 2016-07-10

作者简介: 王婉秋 (1990-), 女, 四川安县人, 硕士研究生, 主要从事土壤肥料与植物营养研究, E-mail: wangwanqiu@yeah.net。

通讯作者: 李仕培, E-mail: scnctzf@163.com。

的30%); T3 (全量麦秆还田, 单位面积的上一季麦秆全部还田)。各施肥处理氮、磷、钾肥施用量相同, 同时, 为保证各处理间试验结果的可比性, 各处理氮、磷、钾肥均在水稻移栽前一次性以基肥形式施入。

供试水稻品种为川优 6203, 大田育秧, 2014 年种植日期为 4 月 22 日, 移栽日期为 5 月 29 日; 2015 年种植日期为 4 月 19 日, 移栽日期为 5 月 23

日; 每穴种植 3 株, 收获日期分别为 2014 年 9 月 25 日、2015 年 9 月 23 日。试验小区为 5 m × 6 m, 随机区组排列, 3 次重复。小区田埂筑高 20 cm, 用 0.08 mm 厚的塑料薄膜包裹并牵至犁底层, 各小区均设有相互独立的排灌系统, 以减少田块间侧渗和串流, 其他田间管理与当地农户相同。各小区水稻单打单收, 分别统计产量。

表 1 试验设计

(kg/hm²)

年份	处理	麦秆	化肥		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2014	CK	—	—	—	—
	CF	—	150.0	75.0	90.0
	T1	3 000.0	127.5	68.7	62.1
	T2	6 000.0	105.0	62.4	34.2
	T3	6 640.6	100.2	61.1	28.2
2015	CK	—	—	—	—
	CF	—	150.0	75.0	90.0
	T1	2 922.1	127.5	69.4	64.0
	T2	5 844.2	105.0	63.9	38.0
	T3	6 831.5	97.4	62.0	29.2

1.3 测定项目与方法

于分蘖、抽穗、灌浆和成熟期进行群体动态调查和取样, 其中分蘖期取整株样品, 抽穗后植株样品分为叶片、茎鞘、穗 3 部分。样品采回后立即于 105 °C 杀青 0.5 h, 后于 65 °C 烘至恒重, 测定干物重。采用浓硫酸消煮-半微量凯氏定氮法测定植株各器官全氮含量。计算公式如下^[9-10]:

各器官氮素积累量 = 氮素含量 (%) × 干物质质量

各器官的氮素分配比例 (%) = 各器官的氮素积累量 / 植株地上部氮素积累量 × 100

营养器官氮素转运量 = 抽穗期营养器官氮素积累量 - 成熟期营养器官氮素积累量

营养器官氮素转运率 (%) = 营养器官氮素转运量 / 抽穗期营养器官氮素积累量 × 100

营养器官转运氮素对籽粒氮素的贡献率 (%) = 营养器官氮素转运量 / 成熟期籽粒氮素积累量 × 100

氮素吸收效率 = 植株地上部氮素积累量 / 施氮量

氮素收获指数 = 籽粒氮素积累量 / 植株地上部氮素积累量

氮素利用效率 = 籽粒产量 / 植株地上部氮素积

累量

氮肥生产效率 = 籽粒产量 / 施氮量

运用 Excel 2007 和 SPSS 16.0 软件进行统计分析、作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理对水稻产量及其构成因子的影响

不同施肥处理对水稻产量及其构成因子产生重要影响。两年试验结果表明, 施肥显著提升水稻产量 ($P < 0.05$), 其中 2014 年增产幅度为 48.7% ~ 65.9%, 2015 年增产幅度为 54.9% ~ 77.7%; 就各施肥处理来看, 秸秆替代一部分氮肥对水稻产量无显著影响 ($P > 0.05$); 不同秸秆还田处理中, 水稻产量随秸秆还田量的增加呈先增后减的变化趋势, T2 处理下水稻产量较高, 其在 2014 年试验中显著高于其他秸秆还田处理 ($P < 0.05$)。产量构成因子结果与产量结果基本一致, 施肥显著提高有效穗数及穗粒数 ($P < 0.05$); 较纯化肥处理, 秸秆替代一部分氮肥对有效穗数及穗粒数无显著影响 ($P > 0.05$), 但千粒重随秸秆还田量的增加而降低, 其中全量还田处理 (T3) 达显著水平 ($P < 0.05$)。

表 2 不同处理对水稻产量及其构成因子的影响

处 理	2014 年				2015 年			
	有效穗数	穗粒数	千粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)	有效穗数	穗粒数	千粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)
CK	168.1 ± 5.6c	153.2 ± 5.6c	29.8 ± 0.5a	4 800.4 ± 200.7c	171.5 ± 3.3b	150.4 ± 7.2c	28.7 ± 0.3a	4 409.1 ± 287.5b
CF	224.4 ± 5.5ab	175.5 ± 7.8b	28.2 ± 0.4ab	7 478.4 ± 323.6ab	230.3 ± 6.4a	170.6 ± 5.7b	29.1 ± 0.9a	7 835.7 ± 583.5a
T1	229.5 ± 9.1ab	198.5 ± 4.8a	29.0 ± 1.1ab	7 382.8 ± 221.7b	227.6 ± 8.7a	174.3 ± 9.4ab	28.8 ± 0.7ab	7 022.9 ± 401.3a
T2	233.1 ± 7.8a	185.3 ± 5.6ab	27.6 ± 0.4b	7 967.0 ± 214.6a	236.1 ± 10.3a	182.9 ± 4.6a	28.6 ± 0.7ab	7 542.7 ± 669.7a
T3	217.8 ± 6.6b	172.7 ± 5.9b	26.3 ± 0.5c	7 137.1 ± 388.1b	222.3 ± 7.6a	170.1 ± 4.5b	27.3 ± 0.8b	6 831.3 ± 898.0a

注：同列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 不同处理下水稻主要生育期地上部氮素积累特征

由图 1 可知，在两年试验中，施肥可显著提升水稻各生育期地上部氮素积累量 ($P < 0.05$)；较纯化肥处理，秸秆替代一部分氮肥使水稻分蘖期地上部氮素积累量呈降低趋势，其中，T2、T3 处理达

显著水平 ($P < 0.05$)，降幅为 9.85% ~ 16.64%；抽穗期后，T1、T3 处理对水稻地上部氮素积累量无显著影响 ($P > 0.05$)，T2 处理在 2015 年试验中显著提高灌浆及成熟期地上部氮素积累量 ($P < 0.05$)，其增幅分别为 14.49%、20.22%。

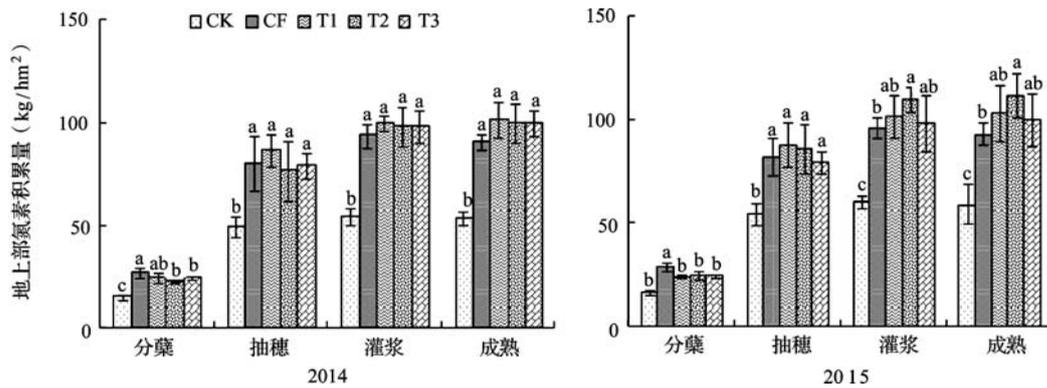


图 1 不同处理下水稻主要生育期地上部氮素积累量

2.3 不同处理下水稻成熟期氮素在各器官中的分配

不同处理下水稻成熟期氮素在各器官中积累量及分配比例均表现为穗 > 叶片 > 茎鞘 (表 3)。就氮素积累量来看，施肥显著增加水稻穗部、叶片、茎鞘中积累量 ($P < 0.05$)；两年试验中，较纯化

肥处理，秸秆替代一部分氮肥并未使水稻穗部氮素积累量显著降低 ($P > 0.05$)，但在不同程度上增加了叶片及茎鞘中氮素积累量，其中全量还田处理 (T3) 达显著水平 ($P < 0.05$)。就氮素在各器官中分配比例来看，较纯化肥处理，秸秆替代一部分氮肥使氮素在穗部的分配比例呈降低趋势，在叶片及

表 3 不同处理下水稻成熟期氮素在各器官中的分配

年份	处理	穗		叶片		茎鞘	
		积累量 (kg/hm ²)	比例 (%)	积累量 (kg/hm ²)	比例 (%)	积累量 (kg/hm ²)	比例 (%)
2014	CK	41.36c	77.72a	6.97c	13.10b	4.89c	9.19ab
	CF	73.07ab	80.81a	10.51b	11.62b	6.84b	7.56b
	T1	78.85a	77.85a	13.05b	12.88b	9.39ab	9.27ab
	T2	75.67a	76.01a	15.45ab	15.52ab	8.43b	8.47b
	T3	68.80b	69.03b	19.00a	19.06a	11.86a	11.90a
2015	CK	48.51c	81.93a	5.67c	9.58b	5.03c	8.50b
	CF	71.08b	76.44ab	11.02b	11.85ab	10.89b	11.71a
	T1	74.62ab	72.29b	14.52a	14.07a	14.08a	13.64a
	T2	81.89a	73.25b	17.75a	15.88a	12.15ab	10.87a
	T3	71.36b	71.27b	15.11a	15.09a	13.66a	13.64a

茎鞘的分配比例呈上升趋势, 其中 T3 处理在 2014 年达显著水平 ($P < 0.05$)。

2.4 不同处理下抽穗至成熟期营养器官氮素的转运

由表 4 可知, 两年试验结果表明, 施肥显著提升水稻抽穗和成熟期营养器官氮素积累量、营养器官吸收氮素向穗部转运量及抽穗后氮素吸收量 ($P < 0.05$)。就各施肥处理来看, 较纯化肥处理,

秸秆替代一部分氮肥对抽穗期营养器官氮素积累量无显著影响 ($P > 0.05$), 但在不同程度上提高成熟期营养器官氮素积累量, 不同程度上降低营养器官吸收氮素向穗部转运量、转运率、转运氮对籽粒氮素贡献率, 其中全量还田处理 (T3) 均达显著水平 ($P < 0.05$); 同时, 秸秆替代一部分氮肥还显著提升了抽穗后氮素吸收量及其对籽粒氮素贡献率 ($P < 0.05$), 其增幅为 28.18% ~ 72.88%。

表 4 不同处理下抽穗至成熟期营养器官氮素的转运

年份	处理	营养器官氮素积累量 (kg/hm ²)		营养器官吸收 氮素向穗部转运量 (kg/hm ²)	转运率 (%)	转运氮对籽粒 氮素贡献率 (%)	抽穗后氮素 吸收量 (kg/hm ²)	抽穗后氮素吸收量 对籽粒氮素贡献率 (%)
		抽穗期	成熟期					
2014	CK	41.07b	11.86c	29.21c	71.12a	70.62a	12.15d	29.38bc
	CF	72.14a	17.35b	54.79a	75.95a	74.98a	18.28c	25.02c
	T1	76.00a	22.44b	53.56a	70.48a	67.93ab	25.29b	32.07b
	T2	68.46a	23.88ab	44.58b	65.12ab	58.91b	31.09a	41.09a
	T3	71.81a	30.86a	40.95b	57.03b	59.53b	27.85ab	40.47a
2015	CK	48.44b	10.70c	37.74c	77.91a	77.79a	10.77d	22.21c
	CF	75.19a	21.91b	53.28a	70.86ab	74.96a	17.80c	25.04c
	T1	78.58a	28.60a	49.98ab	63.60b	66.98b	24.64b	33.02b
	T2	76.34a	29.90a	46.44ab	60.83b	56.71b	35.45a	43.29a
	T3	71.94a	28.77a	43.17b	60.01b	60.49b	28.19ab	39.51ab

2.5 不同处理下水稻氮素吸收利用率

综合两年试验结果, 较纯化肥施用, 秸秆替代一部分氮肥对水稻氮素收获指数、氮肥生产效率无显著影响 ($P > 0.05$), 但在不同程度上降低氮素

利用效率, 其中 T1、T3 处理达显著水平 ($P < 0.05$), 降幅达 11.87% ~ 19.26%; T2 处理则显著提高氮素吸收效率 ($P < 0.05$), 两年中增幅分别为 10.10% ~ 20.21%。

表 5 不同处理下水稻氮素吸收利用率

年份	处理	氮素吸收效率 (kg/kg)	氮素收获指数	氮素利用效率 (kg/kg)	氮肥生产效率 (kg/kg)
2014	CK	—	0.78a	90.19a	—
	CF	0.60b	0.81a	82.70ab	49.85ab
	T1	0.68a	0.78a	72.88c	49.21ab
	T2	0.66a	0.76a	80.03b	53.11a
	T3	0.66a	0.69b	71.61c	47.58b
2015	CK	—	0.82a	74.46ab	—
	CF	0.62b	0.76ab	84.26a	52.23a
	T1	0.69ab	0.72ab	68.03b	46.81b
	T2	0.75a	0.73ab	67.47b	50.28ab
	T3	0.67ab	0.71ab	68.22b	45.54b

3 讨论与结论

有研究表明, 秸秆一方面通过自身分解释放养分直接影响作物的生长, 另一方面通过改变作物生长的环境因子间接影响作物的生长^[11]。本试验表明, 秸秆替代一部分氮肥使水稻生育前期的氮素积累量呈降低趋势, 这可能是因为一方面秸秆养分释放较化肥更为缓慢, 另一方面秸秆的高 C/N 导致土

壤微生物在作物生育前期与植株争夺氮素; 但秸秆施用同样使土壤微生物数量与活性得以提高, 土壤氮素矿化作用增强, 利于作物对氮素的吸收^[12-13], 加上秸秆还田后具有减少氮素损失, 降低土壤反硝化作用和 N₂O 排放的保肥效果^[14-15], 在水稻抽穗后, 较纯化肥处理, 秸秆替代氮肥处理并未降低水稻地上部氮素积累量及产量。

就氮素分配及转运来看, 秸秆替代一部分氮肥

使水稻成熟期叶片及茎鞘氮素积累量呈增加趋势,进而降低了营养器官吸收氮素向穗部转运量、转运率、转运氮对籽粒氮素贡献率,显著提升了抽穗后氮素吸收量对籽粒氮素贡献率 ($P < 0.05$),这可能是因为与纯化肥相比,秸秆替代氮肥处理养分释放相对滞后,对缓解功能叶片衰老、抽穗后氮素吸收及生育后期同化功能起到积极作用^[16-18],从而促进水稻生育后期对氮素的吸收。

基于本试验条件,在保证水稻产量前提下,综合氮素吸收转运及利用效率,川东北稻麦轮作区水稻季在化肥减施 30% 基础上,小麦秸秆还田量以 6 000 kg/hm² 为宜。

参考文献:

- [1] Lou Y L, Xu M G, Wang W, et al. Return rate of straw residue affects soil organic C sequestration by chemical fertilization [J]. *Soil and Tillage Research*, 2011, 113: 70-73.
- [2] 潘剑玲, 代万安, 尚占环, 等. 秸秆还田对土壤有机质和氮素有效性影响及机制研究进展 [J]. *中国生态农业学报*, 2013, 21 (5): 526-535.
- [3] 李瀚, 邓欧平, 胡佳, 等. 成都平原农业废弃物施用下稻田田面水氮磷动态变化特征 [J]. *农业环境科学学报*, 2015, (3): 485-493.
- [4] Nayak A K, Gangwar B, Shukla A K, et al. Long-term effect of different integrated nutrient management on soil organic carbon and its fractions and sustainability of rice-wheat system in Indo Gangetic Plains of India [J]. *Field Crops Research*, 2012, 127: 129-139.
- [5] 李瀚, 邓良基, 朱双, 等. 成都平原农业废弃物施用对冬小麦氮素吸收转运的影响 [J]. *水土保持学报*, 2015, 29 (6): 96-100.
- [6] 董桂春, 陈琛, 袁秋梅, 等. 氮肥处理对氮素高效吸收水稻根系性状及氮肥利用率的影响 [J]. *生态学报*, 2016, 36 (3): 642-651.
- [7] 李艳, 唐良梁, 陈义, 等. 施氮量对水稻氮素吸收、利用及损失的影响 [J]. *土壤通报*, 2015, (2): 392-397.
- [8] 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.
- [9] 侯云鹏, 韩立国, 孔丽丽, 等. 不同施氮水平下水稻的养分吸收、转运及土壤氮素平衡 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21 (4): 836-845.
- [10] 段文学, 于振文, 张永丽, 等. 施氮量对旱地小麦氮素吸收转运和土壤硝态氮含量的影响 [J]. *中国农业科学*, 2012, 45 (15): 3040-3048.
- [11] 梁天锋, 徐世宏, 刘开强, 等. 耕作方式对还田稻草氮素释放及水稻氮素利用的影响 [J]. *中国农业科学*, 2009, 42: 3564-3570.
- [12] 赵鹏, 陈阜. 秸秆还田配施化学氮肥对冬小麦氮效率和产量的影响 [J]. *作物学报*, 2008, 34: 1014-1018.
- [13] 刘定辉, 舒丽, 陈强, 等. 秸秆还田少免耕对冲积土微生物多样性及微生物碳氮的影响 [J]. *应用与环境生物学报*, 2011, (2): 158-161.
- [14] 谭德水, 江丽华, 张骞, 等. 不同施肥模式调控沿湖农田无机氮流失的原位研究——以南四湖过水区粮田为例 [J]. *生态学报*, 2011, 31 (12): 3488-3496.
- [15] 王改玲, 郝明德, 陈德立. 秸秆还田对灌溉玉米田土壤反硝化及 N₂O 排放的影响 [J]. *植物营养与肥料学报*, 2006, 12 (6): 840-844.
- [16] 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.
- [17] 张营武, 熊淑萍, 马新明, 等. 不同氮源配施对豫北高产小麦花后氮代谢及土壤硝态氮的影响 [J]. *麦类作物学报*, 2011, 31 (2): 252-256.
- [18] 李国清, 石岩. 秸秆还田对旱地小麦旗叶衰老及产量的影响 [J]. *农学学报*, 2012, 2 (7): 1-4.

Effect of wheat straw residue application on N uptake and transformation of rice in Northeast Sichuan

WANG Wan-qiu, LI Shi-pei*, LI Hui, ZHANG Jie-lin, ZHOU Ya, XIAO Hong-huan, DENG Zhe (1. Nanchong Soil Manure Station, Nanchong Sichuan 637000; 2. Yilong Soil Manure Station, Yilong Sichuan 637600)

Abstract: Applying agricultural straw residue can improve soil fertility and crop yields. For reasonable utilization of wheat straw, in this study, with local average amount of fertilizer applied as the standard, an experiment about different amount of fertilizer applied with wheat straw residue was conducted to study the N uptake and transformation of rice under field conditions. The results showed that there was no significant effect ($P > 0.05$) when chemical fertilizer combined with wheat straw was applied on rice yield, N accumulation, N harvest index and N production efficiency compared with pure chemical fertilizer. However, the allocation proportion of nitrogen in the ear, the amount of nitrogen translocation from vegetative organs to rice ear, the rate of transfer and the contribution rate of nitrogen translocation to grain were reduced in various degree. While the nitrogen accumulation in vegetative organs was increased in various degree and nitrogen uptake after heading and the contribution rate to grain nitrogen were significantly improved ($P < 0.05$). Considering nitrogen transportation, uptake and utilization efficiency, we suggest that in rice-wheat rotation area in Northeast Sichuan the best amount of straw residue was 6 000 kg/hm² based on 30% decrement of fertilizer.

Key words: wheat straw residue; rice; N uptake and accumulation; N transformation