

江苏省小麦秸秆养分垂直分布特征与不同茬高下麦秸养分归还量估算

顾克军, 顾东祥, 张斯梅, 张传辉, 石祖梁, 许 博, 杨四军, 常志州

(江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 农业部长江下游平原农业环境重点实验室, 江苏 南京 210014)

摘 要:为明确小麦植株不同层次的秸秆养分特征,科学估算不同留茬高度下麦秸养分还田量,通过采集江苏省生产上主推的9个春性品种和16个半冬性小麦品种植株,用分层切断法,将秸秆从基部向上依次截取4段长度为5 cm的秸秆,剩余部分为第5段(分别用0~5、5~10、10~15、15~20 cm和>20 cm表示5段秸秆),对穗部单独进行脱粒处理获取颖壳与穗轴,对植株各部分秸秆分别进行烘干称重,并进行养分分析。结果表明:在基部0~20 cm范围内,4个层次秸秆干重占植株秸秆干重的比例都表现为半冬性品种大于春性品种,20 cm以上部分则相反;在同一空间层次上,春性品种的秸秆氮(N)与磷(P)含量高于半冬性品种,而秸秆钾(K)含量低于半冬性品种;春性小麦品种秸秆N与P含量都呈现出从基部向顶部依次递减的趋势,半冬性小麦品种从基部向上秸秆N含量变化不大,而P含量呈“U”型变化,两类品种秸秆K含量都表现为从基部向顶部依次增加的趋势。在留茬10~20 cm且秸秆还田量大致相同的情况下,与春性品种相比,半冬性品种秸秆N归还量高23.4%~26.9%,秸秆P归还量高16.7%~30.8%,而秸秆K归还量低20.4%~25.9%。江苏省小麦秸秆N、P、K总量分别为 10.20×10^4 、 1.16×10^4 t和 19.52×10^4 t,在留茬15 cm高时,小麦秸秆N、P、K养分归还量分别为 4.90×10^4 、 0.56×10^4 t和 8.47×10^4 t。江苏省2种类型小麦品种秸秆养分含量不同,在麦秸还田后不同麦区的养分管理策略应有所不同。

关键词:小麦;秸秆养分;留茬高度;秸秆还田

中图分类号:X71

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2015)06-0537-08

doi: 10.13254/j.jare.2015.0166

Vertical Distribution Characteristics of Nutrient and Nutrient-Returning Amount of Wheat Straw Under Different Stubble Heights in Jiangsu Province, China

GU Ke-jun, GU Dong-xiang, ZHANG Si-mei, ZHANG Chuan-hui, SHI Zu-liang, XU Bo, YANG Si-jun, CHANG Zhi-zhou

(Institute of Agricultural Resource and Environment, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Agricultural Environment in Lower Reaches of the Yangtze River, Ministry of Agriculture, Nanjing 210014, China)

Abstract: In order to estimate the nutrient-returning amount of wheat straw under different stubble heights, 25 leading wheat varieties in Jiangsu Province, including 9 spring wheat varieties and 16 semi-winter wheat varieties, were investigated. Wheat stalks below spike were cut into 5 parts from the basal node, and the first 4 parts had 5 cm length each, marked with 0~5, 5~10, 10~15, 15~20, >20 cm, respectively. Hull and rachis from wheat spikes were sampled as the sixth part. Each part of wheat straw was dried and weighed, and then the nutrient contents of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) were measured. The results showed that the proportion of the first section of straw to the whole wheat straw in biomass of semi-winter wheat was higher than that of spring wheat. The similar results were also achieved from the second to the fourth part of straw. However, the proportion of the fifth part (>20 cm) to the whole wheat straw in biomass of semi-winter wheat was lower than that of spring wheat. N and P contents of spring wheat straw were much higher than those of semi-winter wheat at the same layer, whereas, K contents was lower than that of semi-winter wheat. Additionally, the N and P contents of straw decreased gradually from the base to the top of the plant in spring wheat, while the N contents had a slight change and the P contents showed a shape of “U” in semi-winter wheat. K contents of straw from the base to the top of the plant increased gradually in both two ecological types of wheat. Compared with spring wheat, the returning quantity of N and P of semi-winter wheat straw increased by 23.4%~26.9% and 16.7%~30.8%, respectively, but the K nutrient return decreased by 20.4%~25.9%, with the same amount of straw return when the stubble height left in field

收稿日期:2015-07-03

基金项目:江苏省农业科技自主创新资金项目[cx(12)1002];水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07101-004);国家科技支撑计划项目(2013BAD07B09);江苏省科技支撑计划项目(BE2012438)

作者简介:顾克军(1972—),男,江苏盐城人,硕士,副研究员,主要从事稻麦栽培与作物秸秆综合利用方面的研究。E-mail: gkjaas@163.com

was 10~20 cm. The total nutrients of N, P and K of wheat straw in Jiangsu Province were 10.20×10^4 , 1.16×10^4 t and 19.52×10^4 t, respectively. The nutrients return of N, P and K were 4.90×10^4 , 0.56×10^4 t and 8.47×10^4 t, respectively when the stubble height left in field was 15 cm. Two eco-types of wheat varieties differed in nutrient contents of straw, thus different management strategies of wheat straw nutrient-returning should be adopted in different regions of Jiangsu Province.

Keywords: wheat; straw nutrient; stubble height; straw returning

作物秸秆是一种重要的生物资源,据估算,中国每年的秸秆资源总量已达 8×10^8 t 左右,秸秆中富含多种营养元素,仅 2006 年中国作物秸秆中 N、P 和 K 养分含量就分别达 776×10^4 、 249×10^4 t 和 $1\,342 \times 10^4$ t^[1-2]。秸秆还田具有归还 N、P、K 等养分,部分替代化肥用量,改善土壤理化性状,提高农田养分的利用效率,增加作物产量等诸多作用^[3-8],掌握秸秆还田量及其养分归还量对于作物养分管理具有重要意义。作物秸秆养分含量受作物类型、区域生态特点以及施肥习惯等多种因素的影响,大豆秸中 N 含量可达 $13 \sim 19$ g·kg⁻¹,稻、麦及玉米三大作物秸秆 N 含量一般在 $5.0 \sim 10.2$ g·kg⁻¹,小麦秸秆 P 与 K 含量分别为 $0.4 \sim 2.9$ g·kg⁻¹ 和 $6.0 \sim 22.3$ g·kg⁻¹,玉米秸秆 P 与 K 含量分别为 $2.1 \sim 4.0$ g·kg⁻¹ 和 $9.0 \sim 22.8$ g·kg⁻¹,水稻秸秆 P 与 K 含量分别为 $1.0 \sim 4.0$ g·kg⁻¹ 和 $8.5 \sim 36.1$ g·kg⁻¹^[9-15]。上述研究仅显示了某种作物秸秆总体的平均养分含量,且同一作物不同地区的研究者得出的结果相差较大。作物秸秆中不同器官或不同层次的干物质积累与养分含量也有明显不同,王丽芳等^[16]研究表明,大穗型小麦成熟期秸秆氮在不同器官的分配比例为穗草(穗轴+颖壳)占 29.5%,茎鞘占 45%,旗叶和倒 2 叶占 20%,余叶占 5.5%。李雁鸣等^[17]研究显示,小麦成熟时秸秆中 N 含量以叶片与穗轴颖壳最高,P 含量以叶片中为最高,而 K 含量则以叶鞘与茎秆为最高。有研究认为小麦不同层次的秸秆干物质质量占秸秆总量的比例也有明显的梯度^[18],同时作物体内的养分还存在冠层分布不均的现象,其中氮素含量表现为从冠层上部向下部逐渐减少,有明显的垂直梯度^[19-20]。

作物的叶、茎、鞘及其养分是非均匀地分布在植株整个空间,因而收割时残茬干物质及其养分必然与留茬高度呈非线性关系。另外由于作物秸秆过量还田或处理不当,往往给后茬作物生长带来负面影响^[21-25],生产上许多地区在收割时通过控制不同留茬高度实现秸秆残茬还田,其他部分秸秆收集后作为其他用途。因此留茬高度决定了秸秆还田量,也同时决定了秸秆养分的归还状况,但单纯通过秸秆还田量还难以对生产上不同留茬高度下秸秆养分还田量进行较好

的估算。目前通过模拟不同留茬高度研究相应秸秆还田比例有所报道^[26],但对相应还田秸秆的养分归还量的研究却鲜见报道。本文通过对江苏省小麦穗轴颖壳和整株秸秆进行分层测定其干物质质量与养分含量,为科学评估江苏省不同留茬高度条件下秸秆还田量及其养分归还量提供依据,同时对于指导后茬作物乃至隔茬作物的精量施肥、减少养分流失风险以及稳定并提高作物产量也具有重要的意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2013 年 5 月底 6 月初分别在江苏省淮南麦区(高邮市、姜堰市、扬中市和金坛市)和淮北麦区(东海县、宿城区、铜山区、新沂市、淮阴区)采集当地代表性小麦品种,淮南麦区采集宁麦 13、宁麦 17、扬麦 18、扬辐麦 4 号、镇麦 9 号、镇麦 10 号、生选 6 号、苏麦 188、华麦 5 号等 9 个春性品种,淮北麦区采集淮麦 20、淮麦 26、淮麦 28、徐麦 30、徐麦 31、连麦 6 号、明麦 1 号、华麦 4 号、苏徐 1 号、保麦 2 号、保麦 1018、济麦 22、烟农 19、周麦 21、周麦 26、鲁原 502 等 16 个半冬性品种。

试验材料来源于当地稻麦科技综合展示基地品种展示区,每个小麦品种随机选择 1 个田块,每个田块面积不少于 0.33 hm²。每个品种采集 15 个样点。

1.2 样品采集与测定

在小麦收割前 2~3 d 取样,利用“S”型取样法每个品种在田间随机取 5 个点,每点取样面积为 1 m²,将小麦连根挖起。取样后将小麦植株根部冲洗干净,然后剪去根部,并剪下穗部,单独置入尼龙网袋。使用铡刀从小麦植株基部向上依次截取 4 段长度为 5 cm 的秸秆,剩余部分为第 5 段(以下分别用 0~5 cm、5~10 cm、10~15 cm、15~20 cm 和 >20 cm 表示 5 段秸秆),分别装入尼龙网袋并移入实验室,60 ℃烘干至恒质量,再对样品进行称重。对穗部进行进一步脱粒,分别称量籽粒和穗轴颖壳质量。以此计算不同留茬高度秸秆还田比例。

基于种植面积、田间施肥策略及其他管理措施基

本一致的原则,选择 3 个代表性春性品种(宁麦 13、扬麦 18 和扬辐麦 4 号)和 3 个代表性半冬性品种(淮麦 20、徐麦 30 和济麦 22)分别测定不同部位(0~5、5~10、10~15、15~20、>20 cm 和穗轴颖壳)秸秆的氮(N)、磷(P₂O₅)、钾(K₂O)的养分含量。混匀后粉碎,过 2 mm 筛备用。植株样品用 H₂SO₄-H₂O₂ 消解后,氮含量采用半微量凯氏定氮法测定,磷含量用钼锑抗比色法测定,钾含量用火焰光度计法测定^[27]。

本文中计算江苏省 2013 年各地区小麦秸秆养分归还量时,各地区小麦籽粒总产来源于《江苏省农村统计年鉴》(2014)^[28],半冬性小麦草谷比按 1.38,春性小麦草谷比按 1.07 计算^[29]。其中徐州、连云港、宿迁为半冬性小麦种植区,扬州、泰州、南通、南京、镇江、常州、无锡、苏州为春性小麦种植区,淮安市与盐城市都属于沿淮区,该区淮河以北以半冬性小麦为主,淮河以南以春性品种为主,本研究将两市半冬性小麦与春性小麦产量大体各占本市小麦总产的一半进行计算,其中淮安(1)为半冬性品种,淮安(2)为春性品种,盐城(1)为半冬性品种,盐城(2)为春性品种。

文中小麦秸秆指除根系和籽粒外的小麦植株剩余部分,包括小麦的茎、鞘、叶片和穗轴颖壳;小麦籽粒与秸秆均烘干至恒重,计算不同部位秸秆干质量占秸秆总干质量的比例,以秸秆干基测定秸秆相关养分含量。秸秆全量还田指小麦机械收获时,不管留茬高度多少,秸秆都粉碎还田,凡注明留茬高度时,秸秆除了留茬部分与穗轴颖壳还田外,其他部分秸秆都作为收集他用考虑。

1.3 数据处理与分析

采用 Excel 2003 对原始数据按重复次数进行算术平均,同时求算各处理的标准差。采用 SPSS 20 软件进行处理间差异显著性分析。

2 结果与分析

2.1 不同留茬高度秸秆还田比例

明确小麦秸秆垂直空间分布规律对于较为准确

地估算不同留茬高度下小麦秸秆还田量是十分必要的。表 1 显示,两种生态类型小麦品种同一部位秸秆量占自身植株秸秆总量的比例存在显著差异,在由基部向上的 4 个区间段(0~5、5~10、10~15 cm 和 15~20 cm)半冬性品种都显著高于春性品种,而在 20 cm 以上部位则相反,两类品种的穗轴颖壳占秸秆量的比例没有显著差异。该结果表明,在田间联合收割机作业条件下,如果考虑秸秆收集打捆作为他用,残茬和小麦穗轴颖壳一般都被当成还田秸秆,那么在留茬高度分别为 5、10、15 cm 和 20 cm 时,春性小麦秸秆还田比例将依次为 30.8%、38.4%、45.5%和 52.5%,半冬性小麦秸秆还田比例将依次为 31.2%、39.5%、47.3%和 54.9%。无论春性品种还是半冬性品种,留茬高度达 20 cm 时,秸秆还田量都将超过秸秆总量的一半。

2.2 不同品种类型小麦秸秆养分垂直分布

对 2 种类型小麦秸秆养分的分层测试结果显示(图 1),在同一空间层次上,春性品种的秸秆 N 与 P 含量高于半冬性品种(除穗轴颖壳部位 P 含量表现为半冬性品种略高于春性品种外),而秸秆 K 含量低于半冬性品种,2 种类型小麦品种不同部位秸秆的养分含量都有一定的规律性。

春性小麦品种秸秆 N 与 P 含量都呈现出从基部向顶部依次递减的趋势,而秸秆 K 含量则表现为从基部向顶部依次增加的趋势。0~15 cm 秸秆 N 与 P 含量显著高于 20 cm 以上部位的秸秆(含穗轴与颖壳),而秸秆 K 含量表现为 0~15 cm 部位显著低于 20 cm 以上部位(含穗轴与颖壳),15~20 cm 秸秆大体相当于一个过渡层次。

半冬性小麦品种秸秆养分含量的变化与春性品种略有不同。从基部向上秸秆 N 含量在各部位秸秆间未表现出显著差异,基部略高于其他各部位;秸秆 P 含量从基部向上呈“U”型变化,其中秸秆 P 含量在 0~5 cm 与穗轴颖壳两个部位间没有差异,但两者显著高于秸秆其他部位,表现为两端高而中间低的特征。秸秆 K 含量从基部往上依次增加的趋势,且 0~5

表 1 不同类型小麦品种秸秆垂直分布比例

Table 1 Straw proportion of differernt parts of plant in different ecological wheat varieties

小麦品种	不同部位秸秆占植株秸秆总量的比例 /%					穗轴颖壳
	0~5 cm	5~10 cm	10~15 cm	15~20 cm	>20 cm	
春性	8.11±1.17a	7.61±0.76a	7.14±0.78a	7.00±0.78a	47.49±2.71b	22.65±2.12a
半冬性	8.79±1.39b	8.35±1.10b	7.80±0.88b	7.58±0.76b	45.12±3.97a	22.36±2.72a

注:同列不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下同。
Note: The different letters in the same row mean significant difference (P<0.05). The same below.

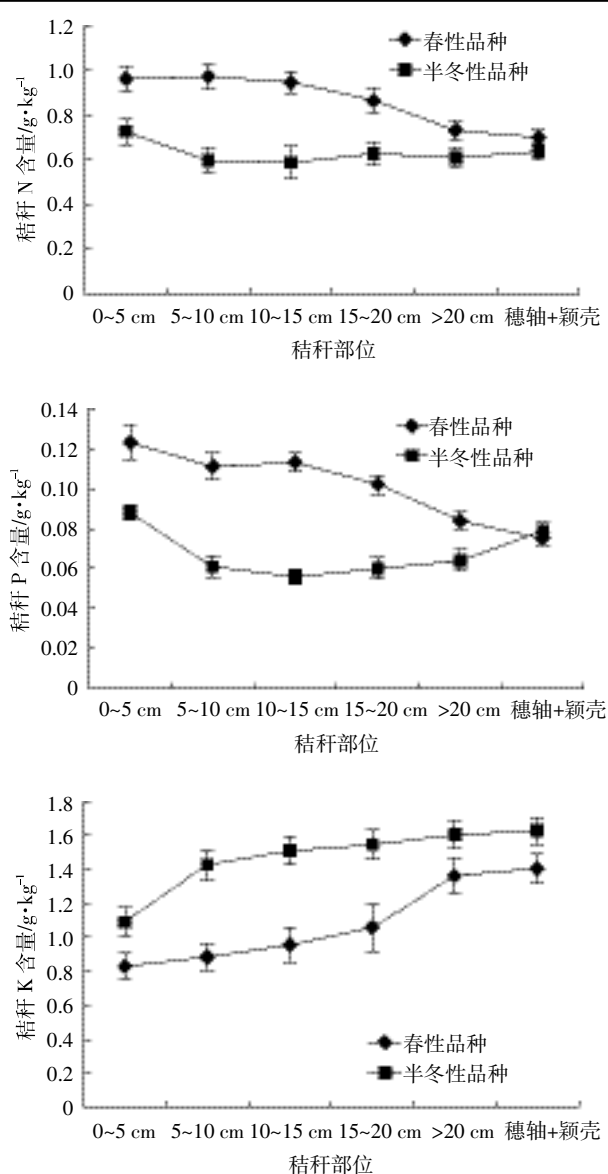


图 1 2 种类型小麦秸秆不同部位 N、P、K 含量变化

Figure 1 The changes in nutrient contents of N, P and K at different layers of two eco-types wheat straw

cm 部位秸秆 K 含量显著低于其他部位秸秆。

2.3 不同留茬高度还田秸秆养分归还量

表 2 显示,春性小麦整株秸秆(全量还田)N、P、K 含量平均依次为 6.21、0.68 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 15.28 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,而半冬性小麦整株秸秆 N、P、K 含量平均依次为 7.87、0.91 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 12.43 $\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。假设小麦秸秆除留茬与穗轴颖壳还田外,其余秸秆将被收集离田作为他用,则在当机械收割时留茬高度相同(或秸秆全量还田)时,春性品种每单位还田秸秆量所归还的 N、P 量都低于半冬性品种,而秸秆 K 归还量则高于半冬性品种。这就表明,在留茬 10~20 cm 且秸秆还田量大致相同

表 2 不同留茬高度下还田秸秆养分累积归还量($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 2 Nutrient-returning amount of wheat straw with different stubble heights($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

小麦品种类型	留茬高度/cm	N	P	K
春性	5	2.07	0.25	4.60
	10	2.52	0.30	5.69
	15	2.98	0.34	6.86
	20	3.46	0.39	8.04
	全量还田	6.21	0.68	15.28
半冬性	5	2.37	0.27	3.86
	10	3.11	0.35	4.53
	15	3.78	0.43	5.22
	20	4.39	0.51	5.96
	全量还田	7.87	0.91	12.43

的情况下,半冬性品种小麦种植区与春性品种小麦种植区相比,秸秆 N 归还量要高 23.4%~26.9%,秸秆 P 归还量则要高 16.7%~30.8%,秸秆 K 归还量要低 20.4%~25.9%。因此在两种类型小麦种植区后茬作物施肥策略上应有所不同。

2.4 江苏省还田麦秸养分归还量估算

由表 3 可以看出,江苏省 2013 年小麦秸秆总量(干质量)为 $1\,427.3\times 10^4\text{ t}$,苏南各市皆不足 $40\times 10^4\text{ t}$,苏北以徐州和盐城最高,都超过了 $200\times 10^4\text{ t}$ 。江苏省麦秸 N、P 与 K 总量分别为 10.20×10^4 、 $1.16\times 10^4\text{ t}$ 和 $19.52\times 10^4\text{ t}$,各地区麦秸养分总量高低与麦秸总量高低分布一致。如果收割时留茬高度为 15 cm,其他秸秆收集离田,考虑到机械收割条件下小麦穗轴与颖壳难以收集性,结合单位质量小麦秸秆还田其养分归还量(表 3),则江苏省小麦秸秆 N、P 和 K 养分归还农田总量将分别为 4.90×10^4 、 0.56×10^4 、 $8.47\times 10^4\text{ t}$ 。可见,江苏省不但小麦秸秆资源量较丰富,其蕴含的 N、P 和 K 养分也很可观。

3 讨论

作物养分在植株体内的分配格局受作物生长驱动,同时也是对外界环境条件的一种适应^[30]。许多研究显示,作物冠层生物量和养分含量具有一定的垂直分布梯度,并受到作物品种、肥水条件、密度、生育时期等因素的较大影响^[31-35]。李迪秦等^[36]研究显示,水稻群体各个高度层干物质积累量呈自下而上逐渐降低的趋势,这与本文秸秆干质量的分布比例特征相一致。但石祖梁等^[18]对春性小麦宁麦 9 号的研究却显示,从基部往上 0~15、15~30、30~45 cm,45 cm 以上以

表 3 江苏省小麦秸秆不同还田方式秸秆养分归还量(2013 年)
Table 3 Nutrient-returning amount of wheat straw relative to straw-returning pattern (year 2013)

地区	籽粒总产/ $\times 10^4$ t	秸秆干质量/ $\times 10^4$ t	秸秆全量还田养分归还量/t			留茬 15 cm 秸秆还田养分归还量/t		
			N	P	K	N	P	K
徐州	192.2	232.1	18 268.7	2 112.4	28 853.9	8 774.6	998.2	12 117.2
连云港	135.3	163.4	12 861.6	1 487.2	20 313.9	6 177.5	702.7	8 530.8
宿迁	151.6	183.1	14 406.1	1 665.8	22 753.2	6 919.3	787.1	9 555.2
淮安(1)	85.6	103.3	8 130.7	940.1	12 841.8	3 905.2	444.2	5 392.9
淮安(2)	85.6	80.1	4 974.5	544.7	12 240.0	2 387.1	272.4	5 495.2
盐城(1)	101.1	122.1	9 608.3	1 111.0	15 175.4	4 614.9	525.0	6 373.0
盐城(2)	101.1	94.7	5 878.5	643.7	14 464.3	2 820.9	321.9	6 493.8
扬州	110.2	103.2	6 408.8	701.8	15 769.1	3 075.4	350.9	7 079.6
泰州	113.3	106.1	6 588.2	721.4	16 210.6	3 161.5	360.7	7 277.8
南通	99.1	92.8	5 762.0	630.9	14 177.6	2 765.0	315.5	6 365.1
南京	25.2	23.6	1 466.0	160.5	3 607.1	703.5	80.3	1 619.4
镇江	36.6	34.3	2 127.1	232.9	5 233.8	1 020.7	116.5	2 349.7
常州	30.6	28.6	1 777.5	194.6	4 373.6	853.0	97.3	1 963.5
无锡	27.8	26.0	1 617.2	177.1	3 979.3	776.1	88.5	1 786.5
苏州	36.2	33.9	2 103.8	230.4	5 176.5	1 009.5	115.2	2 324.0
合计	1 331.5	1 427.3	101 978.9	11 554.5	195 170.0	48 964.2	5 576.3	84 723.8

注:淮安(1)和盐城(1)为半冬性品种,淮安(2)和盐城(2)为春性品种。

及穗轴颖壳 5 个层次的秸秆干物质质量分别占秸秆总量的比例依次为 12.4%、16.9%、21.0%、26.2% 和 23.5%,表现为由下而上逐步增加的趋势。本研究中半冬性与春性小麦品种在基部向上 20 cm 的较短区间内,秸秆干物质质量呈现出由下往上逐步减少的趋势,可能与研究所涉的秸秆层次不同有关。

作物不同器官养分积累状况不同^[16-17],分布在植株不同部位的相同器官,其养分含量也有所不同^[18,31]。有研究显示,叶片氮素含量在作物冠层具有显著的分布梯度,表现为自上而下逐步递减^[18-19,31],而关于磷素与钾素在作物垂直空间上的分布特征鲜见报道。由于作物秸秆养分分布的不均衡性,因此难以估算不同留茬高度下秸秆养分还田量。本文采用了“分层切段法”,即根据生产上作物机械收获可能的留茬高度,把作物植株分成若干个高度层次,测定各个层次上的 N、P、K 养分含量,获得不同留茬高度下秸秆的可能还田量及其不同养分归还量。结果显示,春性小麦品种秸秆 N 与 P 含量均表现出从冠层向下递增的趋势,半冬性小麦秸秆 N 含量在各层次间变化比较平缓,而秸秆 P 含量表现为从冠层往下呈“U”型变化特征,2 种类型小麦秸秆 K 含量都表现为由冠层往下逐步减少的趋势。钾在秸秆内形成的垂直梯度可能主要与生育后期大量钾素通过韧皮部由地上部向根部回流,同时通过

根系“外排”有关^[37]。总之,作物秸秆养分还田量随着留茬高度增加而增加,以 K 归还量最多,N 次之,P 最少。

《江苏省农作物秸秆综合利用规划(2010—2015 年)》(苏政办发[2009]133 号)显示,江苏省小麦秸秆量为 $1\,015.6\times 10^4$ t,也有文献认为 $1\,367.5\times 10^4$ t^[38]。本研究认为江苏省 2013 年小麦秸秆总量(干物质)有 $1\,427.3\times 10^4$ t,比以往的估算量要多。这可能与近年来小麦产量的逐步提高以及种植面积也有所增加有关。按照文献[39]的数据,麦秸中 N、P 和 K 含量分别按照 6.5、1.8、12.6 g·kg⁻¹ 进行估算,江苏省小麦秸秆资源 N、P 和 K 养分总量分别为 9.28×10^4 、 2.57×10^4 、 17.98×10^4 t,而本研究将江苏省小麦分为半冬性与春性 2 类品种,其秸秆 N、P 和 K 含量并不一致,其中 P 平均含量都不到传统测量值一半,从而导致对全省秸秆养分总量的估算存在较大差异。本研究表明江苏省小麦秸秆 N、P 和 K 总量分别为 10.20×10^4 、 1.16×10^4 t 和 19.52×10^4 t,分别比传统估算值高 9.9%、低 54.9%、高 8.6%,尤以秸秆 P 总量的估算差别最大,可能与品种类型、栽培管理措施及检测方法等多方面因素不同有关。

对秸秆养分还田量的估算,以往多以秸秆平均养分含量乘以秸秆还田量得到,由于秸秆养分存在分层

现象,这种估算显然不够科学。本研究的分层切段养分测定法可以较好地解决不同留茬高度下秸秆养分归还量估算问题。

关于还田秸秆养分释放规律有较多的研究^[6,12-13,40],但对该养分去向研究的报道并不多见^[41],加强该方面研究对于秸秆全量还田后优化施肥、减少养分流失风险以及促进土壤可持续生产能力提高等都具有重要意义。

4 结论

(1)在相同空间层次上,春性品种秸秆的 N 与 P 含量高于半冬性品种,而秸秆的 K 含量低于半冬性品种;春性小麦品种秸秆 N 与 P 含量都呈现出从基部向顶部依次递减的趋势,半冬性小麦品种各个层次秸秆 N 含量变化比较平缓,P 含量呈两端高中间低的“U”型变化特征,2 类品种秸秆 K 含量都表现为从基部向顶部依次增加的趋势。

(2)在留茬 10~20 cm 且秸秆还田量大致相同的情况下,半冬性品种秸秆 N 与 P 归还量明显高于春性品种,而秸秆 K 归还量明显低于春性品种。因此,江苏省不同地区麦秸还田后作物养分管理策略应有所不同。

(3)江苏省小麦秸秆 N、P、K 总量分别为 10.20×10^4 、 1.16×10^4 t 和 19.52×10^4 t,在留茬高度为 15 cm 时,小麦秸秆 N、P、K 养分大田归还量分别为 4.90×10^4 、 0.56×10^4 t 和 8.47×10^4 t。

参考文献:

- [1] 高利伟, 马林, 张卫峰, 等. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 173-178.
GAO Li-wei, MA Lin, ZHANG Wei-feng, et al. Estimation of nutrient resource quantity of crop straw and its utilization situation in China[J]. *Transactions of the CASE*, 2009, 25(7): 173-178. (in Chinese)
- [2] 毕于运, 王道龙, 高春雨, 等. 中国秸秆资源评价与利用[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2008: 18-22.
BI Yu-yun, WANG Dao-long, GAO Chun-yu, et al. Straw resources evaluation and utilization in China[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2008: 18-22. (in Chinese)
- [3] 孙星, 刘勤, 王德建, 等. 长期秸秆还田对剖面土壤肥力质量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008, 16(3): 587-592.
SUN Xing, LIU Qin, WANG De-jian, et al. Effect of long-term application of straw on soil fertility[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, 16(3): 587-592. (in Chinese)
- [4] 杨帆, 董燕, 徐明岗, 等. 南方地区秸秆还田对土壤综合肥力和作物产量的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(11): 3040-3044.
YANG Fan, DONG Yan, XU Ming-gang, et al. Effects of straw returning on the integrated soil fertility and crop yield in southern China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(11): 3040-3044. (in Chinese)
- [5] Balwinder-Singh, E Humphreys P L, Eberbach, et al. Growth, yield and water productivity of zero till wheat as affected by rice straw mulch and irrigation schedule[J]. *Field Crops Research*, 2011, 121(2): 209-225.
- [6] 南雄雄, 田霄鸿, 张琳, 等. 小麦和玉米秸秆腐解特点及对土壤中碳、氮含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2010, 16(3): 626-633.
NAN Xiong-xiong, TIAN Xiao-hong, ZHANG Lin, et al. Decomposition characteristics of maize and wheat straw and their effects on soil carbon and nitrogen contents[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(3): 626-633. (in Chinese)
- [7] 刘红江, 郑建初, 陈留根, 等. 秸秆还田对农田周年地表径流氮、磷、钾流失的影响[J]. 生态环境学报, 2012, 21(6): 1031-1036.
LIU Hong-jiang, ZHENG Jian-chu, CHEN Liu-gen, et al. Effects of straw-returning on annual overland runoff NPK loss in farmland[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(6): 1031-1036. (in Chinese)
- [8] Blazier M A, Patterson W B, Hotard S L. Straw harvesting, fertilization, and fertilizer type alter soil microbiological and physical properties in a loblolly pine plantation in the mid-south USA[J]. *Biology and Fertility of Soils*, 2008, 45(2): 145-153.
- [9] 牛若峰, 刘天福. 农业技术经济手册(修订本)[M]. 北京: 农业出版社, 1984: 111-112.
NIU Ruo-feng, LIU Tian-fu. Tech-economic manual of agriculture[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1984: 111-112. (in Chinese)
- [10] 田宜水, 孟海波. 农作物秸秆开发利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009: 159-160.
TIAN Yi-shui, MENG Hai-bo. Technology of crop residues utilization [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2009: 159-160. (in Chinese)
- [11] 杨云马, 贾树龙, 孟春香, 等. 不同耕作及秸秆还田条件下冬小麦养分利用率研究[J]. 华北农学报, 2010, 25(增刊): 202-204.
YANG Yun-ma, JIA Shu-long, MENG Chun-xiang, et al. Study on nutrient use efficiency of winter wheat under different tillage and straw treatments[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2010, 25(suppl): 202-204. (in Chinese)
- [12] 戴志刚, 鲁剑巍, 李小坤, 等. 不同作物还田秸秆的养分释放特征试验[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 272-276.
DAI Zhi-gang, LU Jian-wei, LI Xiao-kun, et al. Nutrient release characteristic of different crop straws manure[J]. *Transactions of the CASE*, 2010, 26(2): 272-276. (in Chinese)
- [13] 李逢雨, 孙锡发, 冯文强, 等. 麦秸、油菜秸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.
LI Feng-yu, SUN Xi-fa, FENG Wen-qiang, et al. Nutrient release patterns and decomposing rates of wheat and rapeseed straw[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2009, 15(2): 374-380. (in Chinese)
- [14] 朱兴明, 陈启德, 刘志明, 等. 稻田多熟种植制中作物养分吸收利用特点研究[J]. 西南农业学报, 1995, 8(4): 66-73.
ZHU Xing-ming, CHEN Qi-de, LIU Zhi-ming, et al. Study on absorption and utilization speciality of crop nutrient in multiple-cropping paddy[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 1995, 8(4):

- 66-73.(in Chinese)
- [15] 盛 婧,刘红江,陈留根,等.农田施用水葫芦对水稻磷素吸收利用的影响[J].应用与环境生物学报,2011,17(6):803-808.
SHENG Jing, LIU Hong-jiang, CHEN Liu-gen, et al. Effect of hyacinth mulching on uptake and utilization of phosphorus by rice plant (*Oryza sativa* L.)[J]. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2011, 17(6): 803-808.(in Chinese)
- [16] 王丽芳,王德轩,上官周平.大穗型小麦叶片性状、养分含量及氮素分配特征[J].生态学报,2013,33(17):5219-5227.
WANG Li-fang, WANG De-xuan, SHANGGUAN Zhou-ping. Structural characters and nutrient contents of leaves as well as nitrogen distribution among different organs of big-headed wheat[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(17): 5219-5227.(in Chinese)
- [17] 李雁鸣,张建平,王焕忠,等.喷灌条件下高产冬小麦植株体内氮磷钾的时空分配特点[J].河北农业大学学报,2002,25(3):1-5.
LI Yan-ming, ZHANG Jian-ping, WANG Huan-zhong, et al. Properties of spatial and temporal distribution of nitrogen, phosphorus and potassium in the plant of high yield winter wheat under the conditions of sprinkling irrigation[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2002, 25(3): 1-5.(in Chinese)
- [18] 石祖梁,王 飞,顾克军,等.氮肥运筹对稻茬小麦干物质和氮磷钾垂直分布的影响[J].华北农学报,2014,29(4):226-231.
SHI Zu-liang, WANG Fei, GU Ke-jun, et al. Effects of nitrogen applications on vertical distribution of dry matter, nitrogen, phosphorus and potassium of winter wheat in rice-wheat rotation[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2014, 29(4): 226-231.(in Chinese)
- [19] 党蕊娟,李世清,穆晓慧,等.施氮对半湿润农田冬小麦冠层叶片氮素含量和叶绿素相对值垂直分布的影响[J].西北植物学报,2008,28(5):1036-1042.
DANG Rui-juan, LI Shi-qing, MU Xiao-hui, et al. Effect of nitrogen on nitrogen vertical distribution and chlorophyll relative value of winter wheat canopy in sub-humid areas[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2008, 28(5): 1036-1042.(in Chinese)
- [20] 石祖梁,殷 美,荆 奇,等.冬小麦冠层氮素垂直分布特征及其与籽粒蛋白质的关系[J].麦类作物学报,2009,29(2):289-293.
SHI Zu-liang, YIN Mei, JING Qi, et al. Vertical distribution of canopy nitrogen and its relationship with grain protein in winter wheat[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2009, 29(2): 289-293.(in Chinese)
- [21] 曾木祥,王蓉芳,彭世琪,等.我国主要农区秸秆还田试验总结[J].土壤通报,2002,13(5):336-339.
ZENG Mu-xiang, WANG Rong-fang, PENG Shi-qi, et al. Summary of returning straw into field of main agricultural areas in China[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 13(5): 336-339.(in Chinese)
- [22] 蒋 向,任洪志,贺德先.玉米秸秆还田对土壤理化性状与小麦生长发育和产量的影响研究进展[J].麦类作物学报,2011,31(3):569-574.
JIANG Xiang, REN Hong-zhi, HE De-xian. Research progress on effects of returning maize straws into soil on soil physical & chemical characters and on development and yield of wheat as succeeding crop [J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2011, 31(3): 569-574.(in Chinese)
- [23] 张 静,温晓霞,廖允成,等.不同玉米秸秆还田量对土壤肥力及冬小麦产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2010,16(3):612-619.
ZHANG Jing, WEN Xiao-xia, LIAO Yun-cheng, et al. Effects of different amount of maize straw returning on soil fertility and yield of winter wheat[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2010, 16(3): 612-619.(in Chinese)
- [24] 颜 丽,宋 杨,贺 靖,等.玉米秸秆还田时间和还田方式对土壤肥力和作物产量的影响[J].土壤通报,2004,35(2):143-148.
YAN Li, SONG Yang, HE Jing, et al. Effects of maize stems returning back to the field on the yield of plants and soil fertility[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2004, 35(2): 143-148.(in Chinese)
- [25] David A Wardle, Richard D Bardgett, John N Klironomos, et al. Ecological linkages between aboveground and below ground biota[J]. *Science*, 2004, 304(11): 1629-1633.
- [26] 顾克军,杨四军,张斯梅,等.不同生产条件下留茬高度对水稻秸秆可收集量的影响[J].中国生态农业学报,2011,19(4):831-835.
GU Ke-jun, YANG Si-jun, ZHANG Si-mei, et al. Effect of stubble height on collectable amount of rice straw under different cultivation patterns[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011, 19(4): 831-835.(in Chinese)
- [27] 鲍士旦.土壤农化分析(第3版)[M].北京:中国农业出版社,2000:263-271.
BAO Shi-Dan. Soil and agrochemistry analysis (3rd edition)[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2000: 263-271.(in Chinese)
- [28] 江苏省统计局.江苏省农村统计年鉴(2014)[M].北京:中国统计出版社,2014:212-218.
Statistics Bureau of Jiangsu Province. Jiangsu Province rural statistical yearbook (2014)[M]. Beijing: China Statistics Press, 2014: 212-218.(in Chinese)
- [29] 顾克军,许 博,顾东祥,等.江苏省小麦草谷比及麦秸垂直空间分布特征[J].生态与农村环境学报,2015,31(2):52-58.
GU Ke-jun, XU Bo, GU Dong-xiang, et al. Straw/grain ratio of wheat and vertical distribution of wheat straw in Jiangsu Province[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2015, 31(2): 52-58.(in Chinese)
- [30] 师生波,李惠梅,王学英,等.青藏高原几种典型高山植物的光合特性比较[J].植物生态学报,2006,30(1):40-46.
SHI Sheng-bo, LI Hui-mei, WANG Xue-ying, et al. Comparative studies of photosynthetic characteristics typical alpine plant of Qinghai Tibet Plateau[J]. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(1): 40-46.(in Chinese)
- [31] 王之杰,王纪华,黄文江,等.冬小麦冠层不同叶层和茎鞘氮素与籽粒品质关系的研究[J].中国农业科学,2003,36(12):1462-1468.
WANG Zhi-jie, WANG Ji-hua, HUANG Wen-jiang, et al. Studies on the nitrogen state of leaf, culm and sheath at different layers in canopy and their relationship with grain quality in winter wheat[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2003, 36(12): 1462-1468.(in Chinese)
- [32] Markus Lotscher, Katharina Stroh, Hans Schnyder. Vertical leaf nitrogen distribution in relation to nitrogen status in grassland[J]. *Plants Annals of Botany*, 2003, 92: 679-688.
- [33] 李迎春,彭正萍,薛世川,等.磷、钾对冬小麦养分吸收、分配及运转规律的影响[J].河北农业大学学报,2006,29(5):1-6.
LI Ying-chun, PENG Zheng-ping, XUE Shi-chuan, et al. Effects of P

- and K on the rules of nutrient absorption, distribution and translation in winter wheat[J]. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2006, 29(5): 1-6.(in Chinese)
- [34] 陈竹君, 刘春光, 周建斌, 等. 不同水肥条件对小麦生长及养分吸收的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(3): 31-35.
CHEN Zhu-jun, LIU Chun-guang, ZHOU Jian-bin, et al. Effects of different combinations of water and fertilizers on the growth and nutrients uptake of winter wheat[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2001, 19(3): 31-35.(in Chinese)
- [35] 娄善伟, 高云光, 郭仁松, 等. 不同栽培密度对棉花植株养分特征及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 16(4): 953-958.
LOU Shan-wei, GAO Yun-guang, GUO Ren-song, et al. Effects of planting density on nutrition characteristics and yield of cotton[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2012, 16(4): 953-958.(in Chinese)
- [36] 李迪秦, 秦建权, 张运波, 等. 品种与播期对齐穗期水稻群体光能截获量和干物质垂直分布的影响[J]. 核农学报, 2009, 23(5): 858-862.
LI Di-qin, QIN Jian-quan, ZHANG Yun-bo, et al. Effects of rice varieties and sowing dates on solar energy interception and vertical distribution of dry matter[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2009, 23(5): 858-862.(in Chinese)
- [37] 熊明彪, 雷孝章, 宋光煜, 等. 长期施肥条件下小麦对钾素吸收利用的研究[J]. 麦类作物学报, 2004, 24(1): 51-54.
XIONG Ming-biao, LEI Xiao-zhang, SONG Guang-yu, et al. Studies on K absorption and utilization in wheat under long-term fertilization[J]. *Journal of Triticeae Crops*, 2004, 24(1): 51-54.(in Chinese)
- [38] 张 兵, 张 宁, 李 丹, 等. 江苏省秸秆类农业生物质能源分布及其利用效益[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(2): 181-186.
ZHANG Bing, ZHANG Ning, LI Dan, et al. Distribution and use efficiency of straw bio-energy in Jiangsu Province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, 21(2): 181-186.(in Chinese)
- [39] 全国农业技术推广中心. 中国有机肥料养分志[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999: 53-81.
The National Agro-Tech Extension and Service Center. Overview on nutrient of organic manure in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1999: 53-81.(in Chinese)
- [40] 武 际, 郭熙盛, 鲁剑巍, 等. 不同水稻栽培模式下小麦秸秆腐解特征及对土壤生物学特性和养分状况的影响[J]. 生态学报, 2013, 33(2): 565-575.
WU Ji, GUO Xi-sheng, LU Jian-wei, et al. Decomposition characteristics of wheat straw and effects on soil biological properties and nutrient status under different rice cultivation[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(2): 565-575.(in Chinese)
- [41] 陈 义, 吴春艳, 唐 旭, 等. 稻-麦轮作体系中有氮与无机氮的去向研究[J]. 中国农业科学, 2010, 43(4): 744-752.
CHEN Yi, WU Chun-yan, TANG Xu, et al. Fate of nitrogen-15 from organic and inorganic sources in rice-wheat rotation cropping system[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(4): 744-752.(in Chinese)