

# 不同种植模式下烤烟干物质积累与养分吸收动态变化分析

顾 勇<sup>1</sup>, 谢云波<sup>1</sup>, 张永辉<sup>1</sup>, 蔡 艳<sup>2</sup>, 沈 杰<sup>2</sup>,  
宋 杨<sup>2</sup>, 周泽弘<sup>2</sup>, 李 斌<sup>3</sup>, 李 冰<sup>2\*</sup>

(1.四川省烟草公司泸州市公司, 四川 泸州 646000; 2.四川农业大学资源学院, 成都 611130;  
3.中国烟草总公司四川省公司, 成都 610041)

**摘 要:**探究不同种植模式下烤烟干物质积累、养分吸收动态与分配特征,为不同种植模式下烤烟养分管理提供理论基础。采用旱地轮作和水旱轮作模式,以云烟 97 为供试材料开展田间试验,研究了烤烟在两种种植模式下不同移栽后天数的烤烟干物质积累和养分含量动态变化。结果表明:水旱轮作模式有利于烤烟干物质积累,水旱轮作下烤烟干物质积累是旱地轮作模式的 1.11 倍(移栽后 91 d),根系和茎秆干物质积累量分配比例变化较大,叶片差异不明显;水旱轮作下烤烟移栽后 21~35 d、49~63 d 内两个时期氮素积累速率均较高,移栽后 91 d 烤烟氮含量(21.84 g/kg)比旱地轮作下烤烟氮含量(19.33 g/kg)高 12.98%,且烤烟叶片氮素积累分配比例比旱地轮作高 3.79%;在根、茎、叶中磷素积累速效上,水旱轮作模式下明显比旱地轮作模式滞后,分别是在移栽后 63~77 d 和 49~63 d 内达到最大;且旱地轮作模式有利于烤烟钾含量提高,烤烟钾含量是水旱轮作的 1.36 倍(移栽后 91 d),旱地轮作下烤烟生育前期至中后期(移栽后 21~63 d)均表现为钾素吸收速率快速增加,吸收峰值时期(移栽后 49~63 d)也明显比水旱轮作(移栽后 35~49 d)迟。因此,水旱轮作模式下应采用轻施氮肥,重施钾肥,且宜于早施钾素追肥;旱地轮作模式下应调整氮、钾肥施用量、施用时期,钾肥分次施用,且宜于迟施。

**关键词:**烤烟;种植模式;干物质积累;养分积累与分配

**doi:**10.13304/j.nykjdb.2017.0313

**中图分类号:**S572      **文献标识码:**A      **文章编号:**1008-0864(2018)04-0115-08

## Dry Matter Accumulation and Nutrient Uptake of Flue-cured Tobacco Under Different Planting Patterns

GU Yong<sup>1</sup>, XIE Yunbo<sup>1</sup>, ZHANG Yonghui<sup>1</sup>, CAI Yan<sup>2</sup>, SHEN Jie<sup>2</sup>,  
SONG Yang<sup>2</sup>, ZHOU Zehong<sup>2</sup>, LI Bin<sup>3</sup>, LI Bing<sup>2\*</sup>

(1.Luzhou Branch of Sichuan Tobacco Company, Sichuan Luzhou 646000; 2.College of Resources, Sichuan  
Agricultural University, Chengdu 611130; 3.China National Tobacco Corporation Sichuan Company, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** This paper explored the dry matter accumulation of flue-cured tobacco in different planting modes and characteristics of nutrient uptake dynamics and distribution, so as to provide theoretical basis for nutrient management of flue-cured tobacco in different planting modes. Field experiment was conducted to study the dynamics changes in dry matter accumulation and nutrient content couple after transplant under 2 planting modes: non-irrigated farmland rotation and paddy-upland field rotation with Yunyan 97 as material. The results showed that the paddy-upland field rotation mode was beneficial to dry matter accumulation, which was 1.11 times of that under non-irrigated farmland rotation mode (91 d after transplant). There were bigger changes in root and stem distribution ratio of dry matter accumulation, but the differences in leaf were not obvious. The nitrogen accumulation rates during 2 time periods; 21

**收稿日期:**2017-05-10; **接受日期:**2017-08-21

**基金项目:**中国烟草总公司四川省公司重点科技项目(SCYC201504;SCYC201705)资助。

**作者简介:**顾 勇,高级农艺师,硕士,研究方向为烟叶生产及技术推广。E-mail:yancao0830@163.com。\* 通信作者:李 冰,教授,博士,研究方向为土壤质量与环境可持续发展。E-mail:benglee@163.com

~35 d 和 49~63 d after transplant, were higher in paddy-upland field rotation. The nitrogen content (21.84 g/kg) 91 d after transplant was 12.98%, higher than that in non-irrigated farmland rotation (19.33 g/kg), and the nitrogen accumulation rate in leaf was 3.79%, higher than that in non-irrigated farmland rotation. The accumulation rate of phosphorus in root, stem and leaf reached the maximum in 63~77 d and 49~63 d, respectively, after transplant in non-irrigated farmland rotation. And that in paddy-upland field rotation was obviously lagged behind. Besides, non-irrigated farmland rotation mode was beneficial for improving potassium content in flue-cured tobacco, which was 1.36 times (91 d after transplant) of that in paddy-upland field rotation. The potassium uptake rate all increased rapidly in the early to mid-late period (21~63 d after transplant) under non-irrigated farmland rotation, and the absorption peak period (49~63 d after transplant) appeared also significantly later than that in paddy-upland field rotation (35~49 d after transplant). Therefore, light nitrogen fertilizer, heavy potassium fertilizer and early top dressing application of potassium should be applied in paddy-upland field. The nitrogen, potassium application quantity and time period, should be adjusted in non-irrigated farmland rotation, and the top dressing potassium should be applied later.

**Key words:** flue-cured tobacco; planting pattern; dry matter accumulation; nutrient accumulation and distribution

烟草是我国重要的经济作物,具有较好的经济效益。烟草栽培与烟制品加工在中国国民经济中占有重要地位。探讨烤烟养分的积累与分配特性,有利于在生产实践中优化烟草的合理栽培管理<sup>[1~7]</sup>。烟草种植受土壤、品种、栽培技术、气候、烘烤技术和种植模式等诸多因素的影响。其中,种植模式是重要的影响因素<sup>[8]</sup>。轮作因可以一定程度克服连作障碍,均衡地力养分,调节土壤养分肥力而受到广泛关注,较多研究集中在轮作与连作的效果差异上<sup>[9]</sup>,而以不同轮作体系的研究相对较少。

就不同轮作种植模式而言,虽有一定研究涉及了不同轮作种植模式对烟草病虫害的影响<sup>[10]</sup>。但关于烟草生长及养分积累的研究相对较少。黄光荣等<sup>[11]</sup>研究表明在多种旱地轮作条件下,以烟蒜轮作效果最佳,可明显提高烟叶产量,改善品质。李艳芳等<sup>[12]</sup>研究表明,烟稻模式下烟草生育后期干物质量与产量、氮磷养分积累。而有关对比水旱轮作与旱地轮作的烟草差异的报道鲜有。本文采用田间试验和室内分析相结合的方法,针对四川省泸州市植烟区土壤环境状况,结合当地常规施肥技术,研究不同种植模式下烤烟的生长动态、养分积累动态与分配特征,以期在当地烤烟施肥技术提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试材料

供试烤烟品种为当地主栽品种云烟 97,由四

川省烟草公司泸州市公司提供。

### 1.2 试验设计与实施

试验设 2 个处理,分别为旱地轮作(烟-菜)处理、水旱轮作(烟-稻)处理。其中,烟-菜旱地轮作中榨菜品种为涪杂 2 号(重庆市涪陵区农科所,市购),烟-稻水旱轮作中水稻品种为川优 6203(四川省农业科学院作物研究所选育,市购)。试验小区面积 15 m×12 m,每个处理重复 3 次。于 2014 年 4 月 13 日分别在四川省泸州市民乐村大新田和共和村林家湾开展田间试验。

烤烟全生育期施肥按当地习惯性施肥布设。总肥料施用量约 555.45 kg/hm<sup>2</sup>,氮磷钾施用比例为 1:1.4:2.69。移栽前 15 d 将底肥:烟草专用复合肥(川)XK13-001-00250(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=10:15:25,四川金叶化肥有限公司提供)675 kg/hm<sup>2</sup>、过磷酸钙 375 kg/hm<sup>2</sup>、工厂化有机肥(川)XK13-001-00177(N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O=2:1:2,四川省眉山益稷农业科技有限公司提供)375 kg/hm<sup>2</sup>,均匀条施进沟,覆土起垄盖膜;2014 年 4 月 20 日~23 日进行移栽后第一次追肥:硝铵磷 75 kg/hm<sup>2</sup>、硝酸钾 75 kg/hm<sup>2</sup>;2014 年 5 月 17 日~5 月 27 日进行移栽后第二次追肥:氯化钾 75 kg/hm<sup>2</sup>、硫酸钾 75 kg/hm<sup>2</sup>。

移栽时选用整齐一致的壮苗,统一采用泸州烟区示范推广的“321”栽培管理技术,即“3 肥”,烤烟专用复合肥、发酵有机肥、水溶肥。以烤烟专用复合肥、发酵有机肥为基肥一次性施用,水溶肥为追肥分次施用;“2 控”,控制氮肥用量及调控烟株主要生育期供肥,控制种植密度和留叶数;

“1 提高”,提高中上部烟叶成熟度。当 50%烟株达中心花开放期时一次性打顶,其他烤烟生产管理措施按当地生产规范进行。

1.3 测定项目与方法

在各重复小区内选取长势一致且具代表性的烤烟 5 株,先定株挂牌,然后按上、中、下部位分叶片挂牌编号,分别于移栽后 21 d、35 d、49 d、63 d、77 d、91 d 调查烤烟(定株定叶)主要生物学性状(单株根茎叶生物量),另选烤烟 3 株采集全株植物样品,分根、茎、叶装袋,于 105℃ 杀青 30 min,60℃ 下烘干至恒重,分部位称重,粉碎过 60 目筛(0.25 mm)后测定各部位养分含量<sup>[13,14]</sup>;样品采用三酸消解,凯氏定氮法测全氮,钼锑抗比色法测全磷,火焰光度计法测定全钾。

各部位养分积累量=各部位干重×养分含量

各部位氮(磷、钾)积累速率=各部位单位面积积累量/经历时间

分配比例=各部位氮(磷、钾)积累量/整个植株氮(磷、钾)积累总量

1.4 数据处理与分析

实验结果所得数据处理选用 Excel 2010 和 SPSS 17.0 进行统计分析,并对有关数据进行数据

处理和图形绘制。

2 结果与分析

2.1 烟株干物质积累与分配的动态变化

由表 1 可知,在两种种植模式下,烤烟根、茎、叶中的干物质积累量都随移栽天数的增加而增加,其中,根、茎干重的分配率总体上呈上升趋势,而叶干重的分配则大体表现为下降。两种种植模式下,移栽后期干物质的积累量除移栽 35 d 和 63 d 外,基本上表现为:水旱轮作>旱地轮作。移栽后 91 d,水旱轮作模式烤烟的干物质重为 4 538.65 kg/hm<sup>2</sup>,是旱地轮作(4 104.79 kg/hm<sup>2</sup>)的 1.11 倍。从干物质的分配上看,水旱轮作模式烤烟根系分配比例(16.02%)低于旱地轮作(17.15%),茎秆分配比例(26.05%)明显大于旱地轮作(24.99%),但是叶片干物质积累量占总干物质重的比例(相当于收获指数)为 57.93%,仅比旱地轮作模式高 0.07%,差异不明显。可见,水旱轮作模式烤烟干物质积累量显著高于旱地轮作模式,但仅仅表现在根系和茎秆分配比例差异上,对于烤烟叶片干物质积累分配比例上差异不大。

表 1 不同种植模式烤烟干物质积累与分配

Table 1 Dry matter accumulation and distribution of tobacco in different planting modes.

种植模式 Planting mode	移栽后天数 (d) Days after transplanting (d)	根 Root		茎 Stem		叶 Leaf		整株 Whole plant
		积累量 (kg/hm <sup>2</sup> )	比例	积累量 (kg/hm <sup>2</sup> )	比例	积累量 (kg/hm <sup>2</sup> )	比例	积累量 (kg/hm <sup>2</sup> )
		Accumulation (kg/hm <sup>2</sup> )	Rate	Accumulation (kg/hm <sup>2</sup> )	Rate	Accumulation (kg/hm <sup>2</sup> )	Rate	Accumulation (kg/hm <sup>2</sup> )
旱地轮作 Dryland rotation	21	4.82	14.50%	4.02	12.09%	24.40	73.41%	33.24
	35	62.07	14.22%	38.47	8.81%	335.99	76.97%	436.53
	49	137.87	14.68%	153.24	16.31%	648.28	69.01%	939.39
	63	319.40	15.07%	513.34	24.22%	1 286.76	60.71%	2 119.50
	77	514.20	16.37%	914.67	29.12%	1 712.30	54.51%	3 141.17
	91	703.84	17.15%	1 025.84	24.99%	2 375.11	57.86%	4 104.79
水旱轮作 Paddy rotation	21	7.46 **	13.79%	3.85	7.12%	42.79 **	79.09%	54.10 **
	35	37.22 **	13.33%	22.90 **	8.20%	219.16 **	78.47%	279.28 **
	49	146.65 *	14.40%	166.92 **	16.39%	704.86 **	69.21%	1 018.43 **
	63	302.31 *	14.43%	487.10 **	23.25%	1 305.66 *	62.32%	2 095.07 **
	77	529.37 **	16.02%	953.99 **	28.87%	1 821.09 **	55.11%	3 304.45 **
	91	727.09 **	16.02%	1 182.31 **	26.05%	2 629.25 **	57.93%	4 538.65 **

注: \* 和 \*\* 分别表示与旱地轮作相应处理相比  $P<0.05$  和  $P<0.01$  水平时差异显著。  
Note: \* andr \*\* indicate significant difference compared with dryland rotation treatment at  $P<0.05$  and  $P<0.01$  levels, respectively.

2.2 不同种植模式下烤烟氮磷钾含量动态变化

由表 2 可知,两种种植模式下,烤烟氮素含量总体上随移栽后天数推移,呈现先增加后减少的趋势,在 35 d 达到峰值。在不同移栽后天数,水旱轮作模式下烤烟的氮素含量均高于旱地轮作模

式,91 d 水旱轮作下的烤烟氮含量(21.84 g/kg)比旱地轮作下的氮含量(19.33 g/kg)高出 12.98%。这说明,水旱轮作促进了烤烟氮素的吸收和积累。

表 2 不同种植模式烤烟氮、磷、钾含量  
Table 2 N, P and K content of tobacco in different planting modes.

种植模式 Planting mode	营养元素(g/kg) Nutrient(g/kg)	移栽后天数(d) Days after transplanting (d)					
		21	35	49	63	77	91
旱地轮作 Dryland rotation	N	43.32	49.17	31.75	24.89	19.41	19.33
	P	6.64	8.30	6.38	5.53	5.17	5.08
	K	20.94	37.25	44.08	37.4	32.65	28.12
水旱轮作 Paddy rotation	N	47.29*	52.75*	33.61*	28.44*	22.52*	21.84*
	P	6.22	7.01*	6.35	4.12*	3.63**	3.27**
	K	22.63*	34.22*	41.47*	32.06*	25.39**	20.61**

注: \* 和 \*\* 分别表示与旱地轮作相应处理相比  $P<0.05$  和  $P<0.01$  水平时差异显著。  
Note: \* andr \*\* indicate significant difference compared with dryland rotation treatment at  $P<0.05$  and  $P<0.01$  levels, respectively.

两种模式下,烤烟磷含量随移栽后天数推进呈先增加后减少的趋势,也是在移栽后 35 d 达到峰值。在不同移栽后天数,旱地轮作模式下烤烟磷素含量均高于水旱轮作模式,且在烤烟生育后期,即烤烟移栽后 91 d,旱地轮作下烤烟磷含量比水旱轮作下高 55.35%。这说明,相对于水旱轮作模式,旱地轮作下烤烟磷素吸收积累能力强、积累量大。

表 2 结果表明,烤烟钾含量在移栽后 49 d 达到峰值,其峰值时间明显晚于烤烟氮、磷吸收积累。在烤烟生育前期,亦即移栽后 21 d 左右,水旱轮作模式下烤烟钾含量高于旱地轮作。随着烤烟移栽后天数增加,旱地轮作下烤烟钾含量均明显高于水旱轮作,且随着移栽后天数延长,其钾含量差异越来越大,在烤烟移栽后 91 d,旱地轮作烤烟钾含量是水旱轮作的 1.36 倍。由此可见,旱地轮作模式有利于烤烟钾含量提高。

2.3 不同种植模式下烤烟氮、磷、钾在各器官的积累与分配

2.3.1 不同种植模式下烟株各器官氮素积累与分配差异 由表 3 可知,不同种植模式下,烟株氮素吸收积累规律总体上相似,即烟株在生育前期吸收氮素较少,随后烟株吸收氮量急剧增加,水旱轮作烤烟的氮素积累在总体上明显高于旱地轮作。两种种植模式下,烤烟氮素积累速率均在移

栽后 49~63 d 达到最大值。移栽后 91 d,水旱轮作烤烟整株氮素积累量为 99.12 kg/hm<sup>2</sup>,是旱地轮作(79.33 kg/hm<sup>2</sup>)的 1.25 倍,差距达到最大。

两种种植模式根、茎中氮素积累速率均在移栽后 77~91 d 内达到最大;旱地轮作叶片中氮素积累速率在移栽 21~35 d 内达到最大,而水旱轮作在移栽后 21~35 d、49~63 d 内两个时期均较高。移栽后 91 d 时水旱轮作烤烟氮素积累分配到根、茎、叶中的比例依次为 34.00%、31.00%、35.00%,分别比旱地轮作低 2.44%、1.35% 和高 3.79%。这说明水旱轮作模式烤烟叶片对氮素积累能力明显强于旱地轮作,总体表现为叶片氮素含量高,积累作用强。

2.3.2 不同种植模式下烟株各器官磷素积累与分配差异 由表 3 可知,旱地轮作烤烟磷素的积累量高于水旱轮作。两种种植模式烤烟对磷素的吸收积累规律都表现为:随着烤烟生长发育磷素积累量逐渐增加,0~21 d 磷积累量较少,21~77 d 积累量急剧增加,后期又缓慢减少。

不同种植模式同一大田生育时期相比,除 35~49 d 外,根、茎、叶中磷素吸收积累量大小顺序为:旱地轮作>水旱轮作。旱地轮作模式下,根、茎、叶中磷素的积累速率在移栽后 49~63 d 内达到最大值;水旱轮作模式下则在移栽后 63~77 d 内达到最大。两种种植模式下,磷素在叶中分配比例均随着移栽后天数的延长而降低,且烤烟生



表 3 不同种植模式烤烟氮、磷、钾素积累与分配  
Table 3 N, P, K accumulation and distribution of tobacco in different planting patterns.

营养元素 Nutrient element	种植 模式 Planting mode	移栽后 天数(d) Days after transplanting (d)	根 Root			茎 Stem			叶 Leaf			整株 Whole plant		
			积累量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Accumulation	积累速率 (kg/hm <sup>2</sup> ·d) rate	比例 Rate	积累量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Accumulation	积累速率 (kg/hm <sup>2</sup> ·d) rate	比例 Rate	积累量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Accumulation	积累速率 (kg/hm <sup>2</sup> ·d) rate	比例 Rate	积累量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Accumulation	积累速率 (kg/hm <sup>2</sup> ·d) rate	比例 Rate
N	旱地轮作 Dryland rotation	21	0.09	0.004	6.34%	0.14	0.01	9.86%	1.19	0.06	83.80%	1.42	0.07	
		35	1.57	0.11	7.32%	2.44	0.16	11.37%	17.45	1.16	81.31%	21.46	1.43	
		49	2.21	0.05	7.41%	3.74	0.09	12.54%	23.87	0.46	80.05%	29.82	0.6	
		63	6.53	0.31	12.38%	8.44	0.34	16.00%	37.78	0.99	71.62%	52.75	1.64	
		77	8.34	0.13	13.82%	11.74	0.24	19.46%	40.26	0.18	66.72%	60.34	0.55	
		91	28.91	1.47	36.44%	25.66	0.99	32.35%	24.76	-1.11	31.21%	79.33	1.35	
	水旱轮作 Paddy rotation	21	0.16 <sup>*</sup>	0.008	6.27%	0.24 <sup>*</sup>	0.01	9.41%	2.15 <sup>*</sup>	0.10	84.31%	2.55 <sup>*</sup>	0.12	
		35	1.63	0.11	7.33%	2.52	0.16	11.34%	18.08 <sup>*</sup>	1.14	81.33%	22.23	1.41	
		49	2.91	0.09	8.50%	3.94	0.10	11.51%	27.38 <sup>*</sup>	0.66	79.99%	34.23 <sup>*</sup>	0.85	
		63	7.15 <sup>*</sup>	0.30	12.00%	8.94	0.36	15.01%	43.49 <sup>*</sup>	1.15	72.99%	59.58 <sup>*</sup>	1.81	
		77	10.42 <sup>*</sup>	0.23	14.00%	14.88 <sup>*</sup>	0.42	20.00%	49.11 <sup>*</sup>	0.40	66.00%	74.41 <sup>**</sup>	1.05	
		91	33.70 <sup>**</sup>	1.66	34.00%	30.73 <sup>*</sup>	1.13	31.00%	34.69 <sup>*</sup>	-1.03	35.00%	99.12 <sup>**</sup>	1.76	
	旱地轮作 Dryland rotation	21	0.03	0.001	9.38%	0.02	0.001	6.25%	0.27	0.01	84.38%	0.32	0.01	
		35	0.35	0.02	9.64%	0.26	0.02	7.16%	3.02	0.20	83.20%	3.63	0.24	
		49	0.67	0.02	11.71%	0.70	0.03	12.24%	4.35	0.10	76.05%	5.72	0.15	
		63	1.42	0.05	12.12%	1.88	0.08	16.04%	8.42	0.29	71.84%	11.72	0.42	
		77	1.93	0.04	11.89%	2.91	0.07	17.93%	11.39	0.21	70.18%	16.23	0.32	
		91	1.92	-0.001	10.18%	3.11	0.01	16.49%	13.83	0.14	73.33%	18.86	0.15	
P	水旱轮作 Daddy rotation	21	0.03	0.001	9.38%	0.02	0.001	6.25%	0.27	0.01	84.38%	0.32	0.01	
		35	0.20	0.01	10.20%	0.13 <sup>*</sup>	0.008	6.63%	1.63 <sup>**</sup>	0.10	83.16%	1.96 <sup>**</sup>	0.12	
		49	0.66	0.03	12.13%	0.87	0.05	15.99%	3.91 <sup>*</sup>	0.16	71.88%	5.44	0.24	
		63	0.96 <sup>*</sup>	0.02	12.58%	1.45 <sup>*</sup>	0.04	19.00%	5.22 <sup>**</sup>	0.09	68.41%	7.63 <sup>**</sup>	0.15	
		77	1.61 <sup>*</sup>	0.05	13.43%	2.48 <sup>*</sup>	0.07	20.68%	7.90 <sup>**</sup>	0.19	65.89%	11.99 <sup>**</sup>	0.31	
		91	1.59 <sup>**</sup>	-0.001	10.71%	2.82 <sup>*</sup>	0.02	18.99%	10.44 <sup>**</sup>	0.18	70.30%	14.85 <sup>**</sup>	0.20	

续表Continued

营养元素 Nutrient element	种植 模式 Planting mode	移栽后 天数(d) Days after transplanting (d)	根 Root			茎 Stem			叶 Leaf			整株 Whole plant		
			积累量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Accumulation	比例 Rate	积累速率 (kg/hm <sup>2</sup> ·d) Accumulation rate	积累量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Accumulation	比例 Rate	积累速率 (kg/hm <sup>2</sup> ·d) Accumulation rate	积累量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Accumulation	比例 Rate	积累速率 (kg/hm <sup>2</sup> ·d) Accumulation rate	积累量 (kg/hm <sup>2</sup> ) Accumulation	比例 Rate	积累速率 (kg/hm <sup>2</sup> ·d) Accumulation rate
K	旱地轮作 Dryland rotation	21	0.13	18.84%	0.006	0.08	11.59%	0.004	0.48	11.59%	0.02	0.69	69.57%	0.03
		35	2.43	14.94%	0.16	2.38	14.64%	0.16	11.45	14.64%	0.78	16.26	70.42%	1.10
		49	2.05	4.93%	-0.03	7.84	18.87%	0.39	31.66	18.87%	1.44	41.55	76.20%	1.80
		63	4.45	5.60%	0.17	21.05	26.51%	0.94	53.90	26.51%	1.59	79.40	67.88%	2.70
		77	7.64	7.45%	0.23	28.71	28.00%	0.55	66.20	28.00%	0.81	102.55	64.55%	1.59
		91	11.61	10.06%	0.21	27.61	23.92%	-0.08	76.22	23.92%	0.72	115.44	66.03%	0.85
	水旱轮作 Paddy rotation	21	0.24 <sup>*</sup>	19.67%	0.02	0.15 <sup>*</sup>	12.30%	0.007	0.83 <sup>*</sup>	12.30%	0.04	1.22 <sup>*</sup>	68.03%	0.07
		35	1.62 <sup>*</sup>	16.96%	0.10	1.24 <sup>*</sup>	12.98%	0.08	6.69 <sup>**</sup>	12.98%	0.42	9.55 <sup>**</sup>	70.05%	0.60
		49	1.86 <sup>*</sup>	4.40%	0.03	7.60 <sup>*</sup>	18.00%	0.45	32.77 <sup>*</sup>	18.00%	1.76	42.23	77.60%	2.24
		63	5.37 <sup>*</sup>	7.97%	0.25	18.14 <sup>*</sup>	26.91%	0.75	43.90 <sup>**</sup>	26.91%	0.80	67.41 <sup>**</sup>	65.12%	1.80
		77	6.71 <sup>*</sup>	8.08%	0.10	23.49 <sup>*</sup>	28.28%	0.38	52.86 <sup>**</sup>	28.28%	0.64	83.06 <sup>**</sup>	63.64%	1.12
		91	11.22 <sup>*</sup>	11.99%	0.32	23.39 <sup>*</sup>	25.01%	-0.007	58.93 <sup>**</sup>	25.01%	0.43	93.54 <sup>**</sup>	63.00%	0.74

注：\* 和 \*\* 分别表示与旱地轮作相应处理相比  $P<0.05$  和  $P<0.01$  水平时差异显著。  
Note: \* and \*\* indicate significant difference compared with dryland rotation treatment at  $P<0.05$  and  $P<0.01$  levels, respectively.

育后期以水旱轮作模式下下降幅度最大,移栽后 21 d,旱地轮作、水旱轮作模式下叶中磷素积累均占总积累量的 84.38%,91 d 时则分别占 73.33% 和 70.30%;磷素在茎中分配比例表现为,随着移栽后天数的延长而增加;磷素在根中的分配比例,旱地轮作模式以移栽后 63 d 达到最高,而水旱轮作模式在移栽 77 d 内逐步上升,在移栽后期(77~91 d)变幅较小。

**2.3.3 不同种植模式下烟株各器官钾素积累与分配差异** 由表 3 可知,旱地轮作和水旱轮作模式下烤烟对钾素的积累总量分别为 115.44 kg/hm<sup>2</sup>、93.54 kg/hm<sup>2</sup>。两种种植模式下,烤烟吸收钾素较多的时期为 35~77 d。根中钾素积累量在 77 d 前增幅较快,77~91 d 增幅较小;茎叶中积累量在 63 d 前增加较快,63~91 d 增幅较小。旱地轮作模式烤烟叶中吸收钾素的最高峰在 49~63 d,积累速率为 1.59 kg/hm<sup>2</sup>·d,水旱轮作模式,烤烟叶钾素吸收高峰在 35~49 d,积累速率为 1.76 kg/hm<sup>2</sup>·d,水旱轮作模式下烤烟移栽后 35 d 内钾素吸收积累速率均较缓慢,而旱地轮作模式下烤烟钾素吸收积累速率移栽后 21~35 d 比 21 d 前显著增大。总体上,烤烟钾素吸收分配表现为,水旱轮作生育前期(移栽后 0~35 d)变化缓慢,吸收累积速率在生育中期(移栽后 35~49 d)迅速增加,旱地轮作则以生育前期至中后期(移栽后 21~63 d)表现为吸收速率快速增加,钾素吸收峰值时期(移栽后 49~63 d)明显比水旱轮作(移栽后 35~49 d)迟,在土壤和肥料钾素供应充足条件下,旱地轮作有利于提高烤烟钾含量,从而提高烤烟品质。

### 3 讨论

适宜的种植模式有利于烟草的养分积累和生长发育。合理的轮作模式有利于打破烟草连作障碍,促进平衡养分富集<sup>[15]</sup>。然而,不恰当的轮作模式仍然有可能抑制烟草的良好发育。与其他旱地轮作作物相比,有学者表明在前茬作物为玉米的情况下,由于其需肥大、耗肥多,往往对下一季作物产生不利影响<sup>[11]</sup>。阳显斌等<sup>[16]</sup>研究表明,烟蒜轮作较烟草连作和烟蒜套种的效果更优,可起到增产增收,提高上中等烟比例的作用,这可能是因为适宜的轮作可提升一定土壤 pH,促进作物

根系发育,提高养分利用率。然而,杨贤海等<sup>[17]</sup>研究表明,烟稻模式较烟薯种植模式的土壤微生物量碳与微生物量氮均有明显提高,刺激了土壤微生物活性,更有利于养分的有效供给和物质循环。因此,旱地轮作与水旱轮作的效果不能一概而论,需要结合实际情况进行试验分析。

本试验条件下,水旱轮作烤烟干物质积累及氮素积累总体优于旱地轮作的这一现象,可能也与土壤微生物差异等原因有关。另外,在烤烟移栽后期,与氮素积累不同,烟叶的磷素和钾素积累量表现为水旱轮作比旱地轮作更低。磷积累差异方面,据唐彪等<sup>[18]</sup>研究表明,在旱地轮作体系下(烟蒜轮作),能有效促进土壤速效磷提高,活化 Ca<sub>10</sub>-P 和 O-P 等无机磷活性,刺激难溶的有机磷活化;而张玉树等<sup>[19]</sup>研究表明,在水旱轮作体系下(稻油轮作),磷素流失主要发生在烟草季,其磷流失量最高可占全年总量的 97.1%。因此,不同种植模式下土壤磷素的差异,可能影响了烟草对磷的有效性和物质转换,进一步形成了不同的磷素积累量差异。而关于钾积累差异,还有待对原因进一步探讨。此外,两种种植模式下的烟株对氮、磷、钾的最大积累速率出现时间早于干物质的最大积累速率出现时间,表明养分的吸收是烟株干物质积累的前提,这与 Moustakas 等<sup>[20]</sup>对烤烟的研究结论一致。

本研究结果表明,水旱轮作模式下的烤烟干物质在移栽后期较早地轮作更高,且烤烟根、茎、叶氮素积累能力也较强,但烤烟根、茎、叶的磷与钾积累量低于旱地轮作模式。故生产中可根据不同种植模式下烤烟氮磷钾吸收积累特点,可考虑在水旱轮作模式下,采用轻施氮肥,重施钾肥,且宜于早施追肥;旱地轮作模式下,宜调整氮、钾肥施用量、施用时期,钾肥分次施用,且宜于迟施,达到提高烤烟产质量和品质的目的。

### 参 考 文 献

- [1] 韩锦峰,郭月清,刘国顺,等. 烤烟干物质积累和氮磷钾的吸收及分配规律的研究[J]. 河南农业大学学报, 1987, 21(1): 8-18.  
Han J F, Guo Y Q, Liu G S, et al.. N, P, K absorption and their distribution in flue-cured tobacco [J]. J. Henan Agric. Univ., 1987, 21(1): 8-18.
- [2] 王世济,崔权仁,赵第锐,等. 烤烟干物质和氮磷钾吸收积累规律研究[J]. 安徽农业科学, 2003, 31(5): 770-772.  
Wang S J, Cui Q R, Zhao D K, et al.. Study on the dry-

- substitute in tobacco and acumination principle of N, P and K element [J]. J. Anhui Agric. Sci., 2003, 31(5): 770-772.
- [3] 李海江, 王根发, 张要旭, 等. 不同品种烤烟干物质积累及氮、磷、钾积累的动态变化规律[J]. 河南农业大学学报, 2015, 49(2): 166-170.
- Li H J, Wang G F, Zhang Y X, *et al.*. Dynamics of dry matter, nitrogen, phosphorus and potassium accumulation in different flue-cured tobacco varieties [J]. J. Henan Agric. Univ., 2015, 49(2): 166-170.
- [4] 林瑞余, 陈鸿飞, 邓家耀, 等. 不同栽培模式下早稻-再生稻的养分积累与分配特性[J]. 中国农学通报, 2007, 23(8): 121-129.
- Lin R Y, Chen H F, Deng J Y, *et al.*. The properties of the accumulation and partitioning of nutrients in early season and ratoon rice (*Oryza sativa* L.) under different cultivation models [J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2007, 23(8): 121-129.
- [5] 张翔, 毛家伟, 黄元炯, 等. 不同施肥处理对烤烟干物质积累与分配的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2011(3): 31-34.
- Zhang X, Mao J W, Huang Y J, *et al.*. Study on the method of determining available phosphorus (Olsen-P) with high testing efficiency [J]. Soil Fert. Sci. Chin., 2011(3): 31-34.
- [6] Shen F K, Weei Z, Wang L, *et al.*. Effects of plant growth regulator on absorption, circulation and contents of potassium in flue-cured tobacco [J]. Agric. Sci. Tech., 2011, 12(12): 1877-1880, 1982.
- [7] 袁家富, 杨林波, 邹焱, 等. 烤烟体内氮磷钾的浓度和积累、分配特征[J]. 中国烟草科学, 1998(4): 27-29.
- Yuan J F, Yang L B, Zou Y, *et al.*. Concentration, accumulation and distribution characteristics of nitrogen, phosphorus and potassium in flue cured tobacco [J]. Chin. Tob. Sci., 1998(4): 27-29.
- [8] 谢云波, 罗定棋, 张永辉, 等. 不同种植模式对烤烟生长及产质量的影响[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(32): 15614-15616.
- Xie Y B, Luo D Q, Zhang Y H, *et al.*. Effects of different planting patterns on growth, yield and quality of flue-cured tobacco (*Nicotiana tabacum*) [J]. J. Anhui Agric. Sci., 2012, 40(32): 15614-15616.
- [9] 王帅. 不同种植模式对烤烟氮素吸收、利用、分配的影响[D]. 北京: 中国农业科学院, 硕士学位论文, 2010.
- Wang S. Effect on nitrogen absorption, utilization and distribution of different planting pattern [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, Master Dissertation, 2010.
- [10] 钊有聪, 张立猛, 焦永鸽, 等. 大蒜与烤烟轮作对烟草黑胫病的防治效果及作用机理初探[J]. 中国烟草学报, 2016, 22(5): 55-62.
- Chuan Y C, Zhang L M, Jiao Y G, *et al.*. Control effects of tobacco and garlic rotation on tobacco black shank and a preliminary study on the inhibition mechanism [J]. Acta Tab. Sin., 2016, 22(5): 55-62.
- [11] 黄光荣, 赵致. 烤烟与不同作物轮作对烤烟生长发育及产质的影响[J]. 耕作与栽培, 2007(6): 30-31.
- [12] 李艳芳, 陈平平, 黎娟, 等. 烟稻与稻稻复种对晚稻产量、养分累积及土壤养分的影响[J]. 湖南农业科学, 2015(11): 13-16, 19.
- Li Y F, Chen P P, Li J, *et al.*. Effects of tobacco-rice and rice-rice system on yield, nutrients accumulation of late rice and nutrients content in soil [J]. Hunan Agric. Sci., 2015(11): 13-16, 19.
- [13] 刘好宝. 清甜香烤烟质量特色成因及其关键栽培技术研究[D]. 北京: 中国农业科学院, 博士学位论文, 2012.
- Liu H B. Study on the characteristic formation and key cultivation technique of Qingtian flavor flue-cured tobacco [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, Doctor Dissertation, 2012.
- [14] 徐娇, 孟亚利, 睢宁, 等. 种植密度对转基因棉氮、磷、钾吸收和利用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(1): 174-181.
- Xu J, Meng Y L, Sui N, *et al.*. Effects of planting density on uptake and utilization of N, P and K of transgenic cotton [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2013, 19(1): 174-181.
- [15] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- Liu G S. Tobacco Cultivation [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2003.
- [16] 阳显斌, 李廷轩, 张锡洲, 等. 烟蒜轮作与套作对土壤农化性状及烤烟产量的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(5): 980-985.
- Yang X B, Li T X, Zhang X Z, *et al.*. Effects of tobacco garlic crop rotation and tobacco garlic crop intercropping on soil agrochemical characters and tobacco yield [J]. J. Nucl. Agric. Sci., 2015, 29(5): 980-985.
- [17] 杨贤海, 齐绍武, 赵世浩, 等. 湘南地区烟蒜轮作和不同年限烟薯套种对土壤微生物的影响[J]. 作物研究, 2013, 27(1): 46-49.
- Yang X H, Qi S W, Zhao S H, *et al.*. Effect of tobacco-rice rotation and different years tobacco-potato interplanting on soil microorganisms in southern Hunan [J]. Crop Res., 2013, 27(1): 46-49.
- [18] 唐彪, 张锡洲, 阳显斌. 烟蒜轮作与套作对烤烟产量及根际土壤磷组分的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(7): 1977-1984.
- Tang B, Zhang X Z, Yang X B. Effects of tobacco garlic crop rotation and intercropping on tobacco yield and rhizosphere soil phosphorus fractions [J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2015, 26(7): 1977-1984.
- [19] 张玉树, 丁洪, 郑祥洲, 等. 闽西北烟-稻轮作系统地表氮、磷流失特征研究[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(5): 969-976.
- Zhang Y S, Ding H, Zheng X Z, *et al.*. Nitrogen and phosphorus losses from surface runoff in tobacco-rice rotation system in northwest of Fujian province, China [J]. J. Agro-Environ. Sci., 2012, 31(5): 969-976.
- [20] Moustakas N K, Nizanis H. Dry matter accumulation and nutrient uptake in flu-cured tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) [J]. Field Crop Res., 2005, 94: 1-13.