

戚燕强,郑 听,张子雄,等. 白芨不同器官干物质积累及氮、磷、钾化学计量特征[J]. 江苏农业科学,2022,50(3):157-162.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.03.025

白芨不同器官干物质积累及氮、磷、钾化学计量特征

戚燕强,郑 听,张子雄,张家春,蒋 影,王 永,熊鹏飞,周 颖

(贵州省植物园,贵州贵阳 550004)

摘要:研究白芨植株干物质及氮、磷、钾养分积累吸收分配的规律,为白芨科学施肥和高产种植提供理论参考依据。采集不同生长时期的白芨植株,分别测定白芨植株全株以及各个部位的干物质积累量和氮、磷、钾积累量,结果表明,白芨植株对氮、磷、钾的吸收能力强弱为氮>钾>磷,体内氮、磷、钾素的积累总量与干物质积累量表现出相似的特性,白芨植株干物质积累量与氮、钾呈极显著正相关,与磷呈显著正相关。白芨各部位氮磷比(N:P)为 6.40~22.81,氮钾比(N:K)为 0.33~2.36,钾磷比(K:P)为 3.42~17.12。4—6 月是白芨植株的快速生长期,这段时间应注意水肥调控,以促进干物质积累,提高白芨产量,具体措施为及时追肥,以追施氮、钾肥为主,磷肥因肥效具有延迟性且需肥量较小,建议作为基肥施用。白芨整个生长期对氮、磷、钾的吸收积累量比例为 1.00:0.13:0.80。

关键词:贵州;白芨;干物质;氮;磷;钾;化学计量

中图分类号:S567.23+9.01 **文献标志码:**A **文章编号:**1002-1302(2022)03-0157-06

白芨[*Bletilla striata* (Thunb.) Reiehb. f.]系兰科白芨属多年生植物,以春秋两季收获块茎干燥后入药,气微、味苦,嚼之有黏性,临床常用于收敛止血、消肿生肌肤,是我国传统大宗药材^[1]。白芨因具有较高药用和观赏价值,是我国医药、化工、园林等领域的重要原材料,随着各个产业的快速发展,白芨的需求量急剧增加^[2]。近年来白芨野生资源数量急剧下降,而人工栽培经验和技能较为缺乏,严重限制了白芨应用开发的持续发展。氮、磷、钾是作物生长发育必需的三要素,也是作物提高产量的首要限制因素^[3],在作物生产上发挥着重要作用。

氮、磷、钾吸收与积累特性是制定科学施肥措施的重要依据,目前有关白芨氮、磷、钾化学计量比的研究未见报道。本试验通过田间采样和实验室测定,对不同时期的白芨氮、磷、钾的吸收与累积特性进行研究,分析白芨植株不同部位的氮、磷、钾质量分数及其生态化学计量特征,旨在进一步完善白芨高产优质栽培及合理施肥的理论依据,为白芨科学施肥和高产种植提供理论参考依据,丰富中药材的生态化学计量学内容。

1 材料与方法

1.1 供试地概况

试验位于贵州省植物园后山,海拔 1 210~1 411 m,年平均气温 14℃,月平均气温 4.6℃,极端最低气温 -6.4℃,7 月平均气温 23.8℃,极端最高气温 32.1℃。年平均降水量 1 200 mm。年平均相对湿度 80%。全年日照时数 1 174 h,无霜期 289 d。成土母岩为石灰岩和沙岩,供试土壤为黄壤,基本性状如表 1 所示。

收稿日期:2021-05-14

基金项目:贵州省科技计划(编号:黔科合支撑[2016]2860);贵州省林业科研项目(编号:黔林科合[2016]07 号);贵州科学院青年基金(编号:黔科院 J 字[2019]05 号);贵阳市科技计划(编号:筑科合同[2021]3-11 号)。

作者简介:戚燕强(1963—),男,广东从化人,助理研究员,主要从事药用植物栽培研究。E-mail:2637614870@qq.com。

通信作者:周 颖,硕士,农艺师,主要从事药用植物栽培研究。E-mail:420287082@qq.com。

番茄果实商品性[J]. 贵州农业科学,2008,36(6):135-138.
[27]李 灿,胡田田,吴 勇,等. 滴灌施肥技术参数对苹果品质的影响及综合评价[J]. 果树学报,2021,38(4):497-508.
[28]Sun Y F, Liang Z S, Shan C J, et al. Comprehensive evaluation of natural antioxidants and antioxidant potentials in *Ziziphus jujuba* Mill. var. *spinosa* (Bunge) Hu ex H. F. Chou fruits based on

geographical origin by TOPSIS method[J]. Food Chemistry, 2011, 124(4):1612-1619.
[29]Rasool G, Guo X P, Wang Z C, et al. Coupling fertigation and buried straw layer improves fertilizer use efficiency, fruit yield, and quality of greenhouse tomato[J]. Agricultural Water Management, 2020, 239:106239.

表 1 土壤基本化学性质

pH 值	有机质含量 (g/kg)	全氮含量 (%)	速效氮含量 (mg/kg)	速效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)
7.71	58.00	0.32	294.00	18.50	150.00

1.2 样品制备与采集

于 2019 年 4 月 18 日、5 月 23 日、6 月 28 日、7 月 25 日、8 月 30 日和 9 月 24 日于田间采集白芨样品,均为人工种植 3 年,且长势一致,每次随机抽取 15 株,重复 3 次,共 45 株。将白芨植株冲洗干净后带回实验室,按根、当年假鳞茎、往年假鳞茎、叶和叶鞘 5 个部位处理,称质量后烘箱内 105 ℃ 杀青 30 min,之后在 55 ℃ 恒温下烘干至恒质量,称质量后粉碎过 60 目筛备用。

1.3 测定方法

白芨样品经浓硫酸 - 过氧化氢消煮后,用奈氏比色法测定全氮含量,全磷和全钾含量采用 ICP - MS 法测定。

1.4 数据分析

采用 Microsoft Excel 2016 进行数据整理,SPSS 23.0 进行数据分析,包括单因素方差分析 (ANOVA) 和 Duncan's 检验 ($P < 0.05$),采用 Origin 9.1 绘制图表。

2 结果与分析

2.1 白芨干物质积累及分配规律

2.1.1 白芨干物质积累规律 如图 1 所示,白芨植株总干物质积累量和各个不同部位的干物质积累量存在不同差异,白芨各个部位的干物质积累量在不同生长时间也存在不同的差异。其中叶鞘干质量最小,当年假鳞茎、往年假鳞茎、根和全株的干物质积累量在 8 月达到最大值。当年假鳞茎干物质积累量逐月上升,4—6 月干物质积累量急剧上升,差异明显,6 月之后干物质积累量缓慢上升差异不明显。往年假鳞茎的干物质积累量在 4—9 月间无明显变化;根的干物质积累量在 4—6 月明显上升,8 月达到最大值后,9 月明显下降。全株干物质积累量在 8 月达到最大值后,变化差异不明显。叶片和叶鞘的干物质积累量在 5 月达到最大值,5 月之后,叶片和叶鞘的干物质积累量逐月下降。

2.1.2 白芨各部位干物质分配规律 如图 2 所示,生长前期(4—6 月)植株以生长当年假鳞茎为主,其干物质分配率(比重)从 4 月的 4% 明显增长到 6 月

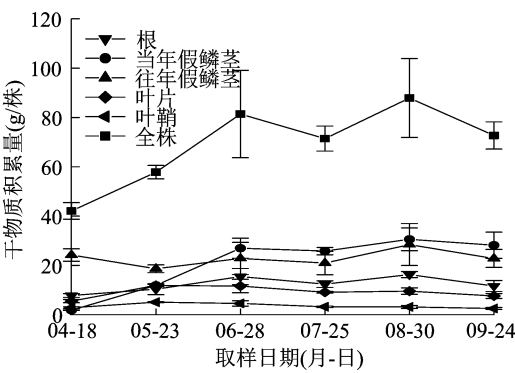


图1 白芨干物质积累结果

的 33%,6 月以后占比缓慢上涨,差异不明显。往年假鳞茎干物质分配率由 4 月的 57% 明显下降到 5 月的 32%,此后的占比无明显变化。根系的干物质分配率在整个生育期维持在 16% ~ 19%,且无明显变化。叶片的干物质分配率由 4 月的 13% 明显上升到 5 月的 21%,6 月又明显下降到 4 月的水平 (14%),此后缓慢降低,明显降低到 10% (9 月)。叶鞘的干物质分配率在 5 月 (9%) 明显上升后,6 月和 7 月又明显下降,此后无明显变化。4 月时,当年假鳞茎还在生长初期,干物质分配率以往年假鳞茎为主。5 月以后,往年假鳞茎干物质分配率急剧下降,之后较为稳定,当年假鳞茎干物质分配率快速上升,逐渐成为干物质分配率的第一组成部分。白芨各个部位因生长期不同,干物质分配比例也不尽相同。4—5 月,植株干物质分配率的增长主要集中于当年假鳞茎和地上部(叶片和叶鞘),生长较为旺盛。5 月之后,往年假鳞茎和地上部(叶片和叶鞘)干物质分配率逐渐降低,植株干物质分配率的增长主要集中于当年假鳞茎。

2.2 不同时期白芨植株和不同部位氮、磷、钾积累量变化及分配

2.2.1 不同时期白芨植株氮、磷、钾积累量 如图 3 所示,白芨植株体内氮、磷、钾素的积累总量与干物质积累量表现出相似的特性,在不同生长阶段对氮、磷、钾的积累量存在不同差异。白芨各个生长期对氮、磷、钾的积累量均呈氮 > 钾 > 磷,整个生长期,氮、磷、钾的吸收积累量比例为 1.00 : 0.13 : 0.80。4—5 月,白芨植株对氮、磷、钾吸收积累量占整个生

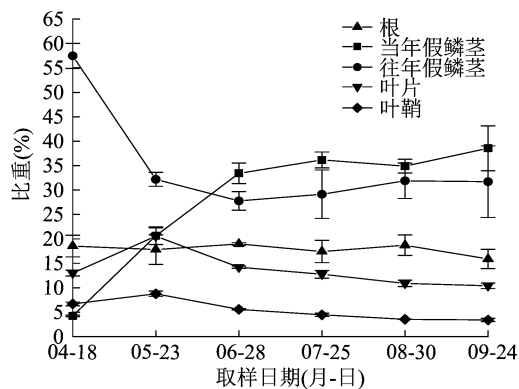


图2 白茭不同生长期各部位占全株干物质总质量比重

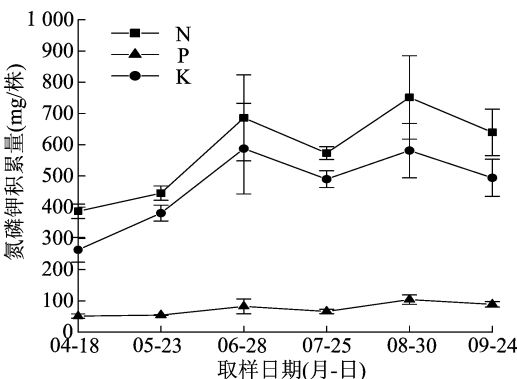


图3 白茭氮、磷、钾积累量动态

长期的 22.96%、8.23%、50.94%，吸收比例分别为 1.00：0.05：2.02。5—6 月，为白茭植株养分吸收积累量最大的时期，白茭植株对氮、磷、钾吸收积累量占整个生长期的 95.42%、74.40%、89.51%，吸收比例分别为 1.00：0.12：0.86，此时，白茭植株正从营养生长转向生殖生长。7—9 月，白茭植株对氮、磷、钾的吸收积累量无明显变化，保持在一个较为平稳的状态。整体来看，4—6 月，白茭植株对氮、磷、钾的吸收强度最大，与白茭植株干物质快速增长时期相对应，7—9 月，白茭植株对氮、磷、钾的吸

收强度处于一个较为平稳的时期。

2.2.2 不同时期白茭植株各部位氮、磷、钾养分分配 如表 2 所示，白茭植株在不同时期各部位氮、磷、钾的积累动态和分配比例不同。白茭在 4 月，氮、磷、钾主要集中在往年假鳞茎中，因往年假鳞茎中储存了往年的养分，而分配率最高。4 月氮在往年假鳞茎中的分配率为 48.32%，最高，叶片次之，为 22.91%，当年假鳞茎最少，仅占 3.83%，表明当年假鳞茎还处在生长初期。随着植株的生长，叶片的分配率在 5 月达到最大值，为 34.79%，因 4—5

表 2 不同时期白茭植株各部位氮、磷、钾养分积累和分配规律

营养元素	取样日期	根		叶鞘		叶片		当年假鳞茎		往年假鳞茎	
		积累量 (mg/株)	分配率 (%)	积累量 (mg/株)	分配率 (%)	积累量 (mg/株)	分配率 (%)	积累量 (mg/株)	分配率 (%)	积累量 (mg/株)	分配率 (%)
N	04-18	66.48a	17.18	30.09c	7.76c	88.88a	22.91cd	14.82a	3.83a	186.49ab	48.32b
	05-23	80.83ab	18.05	26.37c	5.97b	154.40b	34.79e	65.04a	14.68b	118.13a	26.51a
	06-28	109.35bc	16.08	22.61bc	3.32a	182.35b	26.88d	155.90b	22.92c	215.65b	30.80a
	07-25	94.52abc	16.53	16.85ab	2.93a	107.25a	18.72bc	171.06b	29.85d	183.36ab	31.96a
	08-30	119.16c	16.06	15.43ab	2.07a	109.52a	14.64ab	253.95c	33.89e	253.11b	33.34a
	09-24	83.24ab	12.95	11.15a	1.74a	85.28a	13.28a	241.36c	37.45e	218.39b	34.58a
P	04-18	2.97a	5.90a	5.86a	11.54c	13.70a	26.71c	3.60a	7.03a	25.07ab	48.82b
	05-23	4.29ab	7.88a	6.00a	11.06c	21.08b	38.85d	10.27a	18.93b	12.65a	23.28a
	06-28	6.90b	8.46a	5.19a	6.27b	20.84b	25.27c	27.85b	34.13c	21.51ab	25.87a
	07-25	5.48ab	8.38a	2.91b	4.41ab	12.21a	18.51b	26.71b	40.69c	18.88ab	28.01a
	08-30	17.88d	17.31c	2.94b	2.83a	12.45a	12.11a	38.37c	37.16c	32.37b	30.58a
	09-24	11.59c	12.96b	2.02b	2.26a	11.13a	12.47a	34.89bc	38.88c	29.21b	33.43a
K	04-18	33.40a	12.87a	39.94ab	15.39c	82.68a	31.53c	14.65a	5.54a	92.72	34.67a
	05-23	40.17ab	10.57a	72.27c	18.97d	140.00b	36.71d	55.54a	14.58b	72.90	19.16b
	06-28	72.94c	12.50a	69.73c	11.85b	186.05c	31.71c	158.91b	27.14cd	99.67	16.80b
	07-25	62.01ab	12.69a	49.74b	10.16b	135.33b	27.62b	149.93b	30.73d	92.58	18.80b
	08-30	195.73d	33.94b	40.73ab	7.01a	97.03ab	16.60a	139.80b	24.10c	107.74	18.35b
	09-24	143.66c	28.79b	27.04a	5.41a	70.77a	14.28a	143.79b	28.79cd	108.76	22.74b

注：同一指标不同取样日期之间小写字母不同表示差异显著 ($n=3; P<0.05$)。

月,白芨植株处于苗期,以叶片的生长为主。至6月以后,白芨植株慢慢转入生殖生长再转入枯萎期,叶片的分配率逐渐降低,当年假鳞茎的分配率逐渐上升。整个生长期,根中氮的分配率无显著变化。叶鞘中氮的分配率在4—6月显著下降,7—9月无显著变化。当年假鳞茎中氮的分配率持续显著上升,8—9月,分配率上升但无显著变化,趋于稳定。往年假鳞茎在生长初期(4—5月)氮的分配率显著降低,为白芨植株生长前期提供足够多的氮,白芨生长稳定后,往年假鳞茎中氮的分配率无显著变化,保持稳定状态。

4月磷在往年假鳞茎中的分配率为48.82%,最高,叶片次之,为26.71%,根和当年假鳞茎的分配率较低,仅为5.90%和7.03%。至5月,叶片中磷的分配率显著升高,往年假鳞茎中磷的分配率显著降低,证明此时磷的主要利用器官是叶片,并且往年假鳞茎为叶片的生长提供了磷的营养,往年假鳞茎中磷的分配率在5—9月无显著变化。4—6月,当年假鳞茎中磷的分配率显著上升,6—9月分配率无显著变化,此阶段,当年假鳞茎中磷的分配率为最高。根中磷的分配率在4—7月无显著变化,8月显著升高后,9月又显著下降。叶鞘中磷的分配率逐渐降低。

4月钾在往年假鳞茎中的分配率为34.67%,最高,叶片次之,为31.53%,当年假鳞茎的分配率最低,仅为5.54%。叶片在4—5月,钾的分配率显著上升,5—6月,叶片中钾的分配率占比最高,5—9月,分配率逐渐下降,8月后虽持续下降,但无显著变化。4—5月,往年假鳞茎中钾的分配率显著下降,为叶片的生长提供钾的营养,5月以后,无显著变化,趋于稳定。当年假鳞茎在4—7月钾的分配率逐渐上升,在7月达到30.73%,占比最高,在8月显著下降后,9月无显著变化,趋于稳定。根中钾的分配率在4—7月无显著变化,8月显著升高后无显著变化,在8月(33.94%)和9月(28.79%)的占比最高。叶鞘中钾的分配率在4—5月显著升高,5—9月开始逐渐显著下降。

2.3 白芨植株干物质积累量与植株体内氮、磷、钾积累量的相关性

如图4所示,在白芨的整个生长期,干物质积累量随体内氮、磷、钾积累量的增加而增加,氮的相关系数为0.955 0,磷的相关系数为0.796 8,钾的相关系数为0.980 1,与氮、钾呈极显著相关,与磷呈显著

相关。由白芨干物质积累量与氮、磷、钾积累量的拟合直线斜率可知,以氮积累量直线斜率最大,其次为钾,最小为磷,由此可知,磷的干物质生产效率最高,钾次之,氮的干物质生产效率最低。

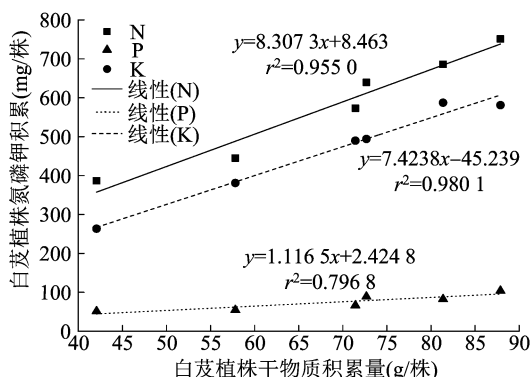


图4 白芨植株干物质积累量与植株体内氮、磷、钾积累量的相关性

2.4 白芨植株各部位氮、磷、钾质量分数及其比值

2.4.1 白芨植株各部位氮、磷、钾质量分数 白芨根氮的质量分数在生长阶段无显著变化,叶鞘、叶片、当年假鳞茎、往年假鳞茎均在5月下降,叶鞘之后无显著变化,叶片上升后显著下降,之后无显著变化,当年假鳞茎和往年假鳞茎则逐渐上升(图5-A);白芨根磷的质量分数在4—7月无显著变化,后期上升后降低,叶鞘、叶片、当年假鳞茎、往年假鳞茎均在5月下降,叶鞘、叶片在整个生长期逐渐降低,当年假鳞茎和往年假鳞茎在5—9月逐渐上升(图5-B);白芨根的钾质量分数在4—7月无显著变化,生长后期显著上升,叶鞘前期无显著变化,生长后期显著降低,叶片下降后又上升,生长后期显著下降,当年假鳞茎在4—5月显著下降后无显著变化,往年假鳞茎在整个生长期无显著变化(图5-C)。

2.4.2 白芨植株各部位氮、磷、钾比值 白芨根氮磷比(N:P)在整个生长期逐渐下降,叶鞘和往年假鳞茎无显著变化,叶片上升后下降,当年假鳞茎逐渐上升(图5-D);白芨根氮钾比(N:K)在整个生长期逐渐下降,叶鞘在4—5月显著下降后无显著变化,叶片下降后上升,当年假鳞茎在7—8月显著上升,往年假鳞茎6—9月变化不显著(图5-E);白芨根钾磷比(K:P)在4—5月显著下降后逐渐上升,叶鞘、叶片、当年假鳞茎和往年假鳞茎在整个生长期先上升后下降(图5-F)。

3 讨论与结论

氮、磷、钾的积累是植株干物质积累的基础,而

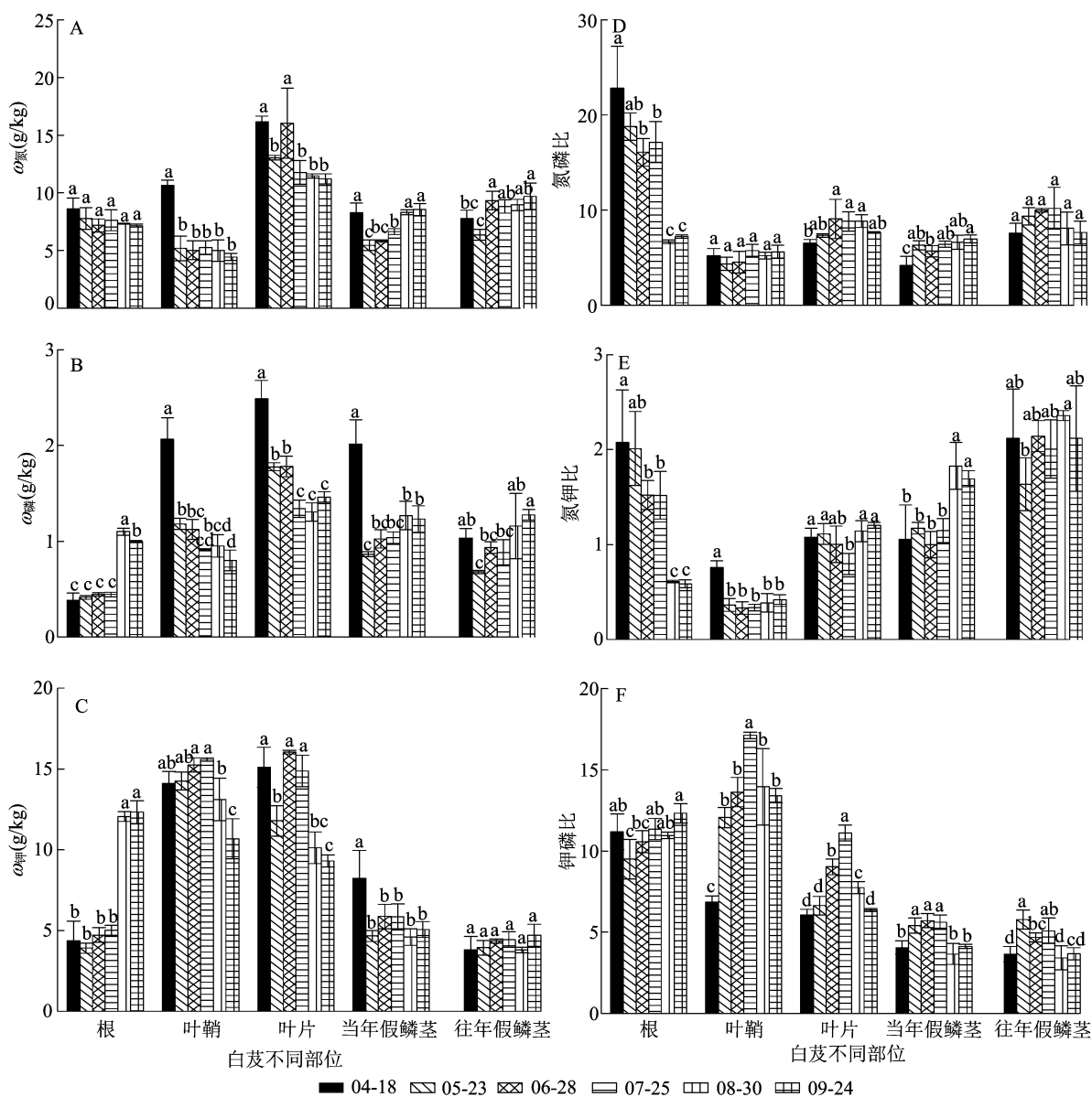


图5 不同取样日期白芨植株不同部位氮、磷、钾质量分数及其比值

干物质积累对产量形成十分重要,也是植物生长发育的营养三要素,在植物体内的吸收与积累是产量形成的基础^[4-5]。整个生长期,白芨植株对氮、磷、钾的吸收能力强弱为氮>钾>磷,这与陈娟等的研究结果^[6-8]一致。白芨植株的干物质积累量和氮、钾积累量呈极显著正相关,与磷呈显著正相关,白芨氮、磷、钾的积累有利于白芨植株干物质的积累,且白芨植株的干物质积累量和氮、磷、钾吸收积累量变化相一致,具有同步性。植株各部位对氮、磷、钾的吸收在不同时期的比例是不同的,主要受生理功能的影响。氮因是可移动元素,主要分配在生长旺盛的植株部位,促进植株生长以及延缓叶片衰老

变黄^[9-10];磷则因为是底物及调节物能直接参与光合作用^[11];钾则能促进叶绿素合成,加速碳水化合物向经济器官的运输,促使其膨大^[12],因此植株生长前期叶片中积累氮、磷、钾,是为了植株光合作用以及产物能正常运转,是后期物质积累的重要基础。本研究表明,4—6月是白芨植株的干物质和氮、磷、钾快速积累期,此时氮、磷、钾主要集中在白芨植株的叶片中,而6—7月,白芨植株的干物质和氮、磷、钾积累量都降低,原因是植株由以营养生长为重点而转向生殖生长为重点,叶片的光合产物和假鳞茎的营养物质贮备为花和果实的生长发育提供足够营养。8月,白芨植株的干物质和氮、磷、钾

积累量开始略有回升,至 9 月,地上部叶片和叶鞘开始进入库枯萎期,因此干物质和氮、磷、钾积累量又开始逐渐下降。关于白芨植株的快速生长期的研究结果与林茂祥等的研究结果^[8]不完全一致,推测是气候条件、土壤理化性质以及施肥水平不同所造成的。

氮、磷、钾是植物生长的营养“三要素”,化学计量比则可以体现植物生长环境的养分限制,因此 $N:P$ 、 $N:K$ 、 $K:P$ 可用来判断植物的氮、磷、钾限制因子。皮发剑等研究表明,当 $N:P > 16$,主要是磷限制了植物生长;当 $N:P < 14$,主要是氮限制了植物生长;当 $14 < N:P < 16$ 时,植物生长受氮和磷的共同限制;当 $N:K > 2.1$ 、 $K:P < 3.4$ 时,植物的生长主要受钾的限制^[13]。本研究中,白芨叶鞘、叶片、当年假鳞茎和往年假鳞茎的氮磷比均小于 14,根在 4—7 月大于 16,在 8—9 月则小于 14,说明白芨叶鞘、叶片、当年假鳞茎和往年假鳞茎的生长均受到氮的限制,根在前期受磷的限制,后期受氮的限制。白芨根、叶鞘、当年假鳞茎和往年假鳞茎的 $N:K$ 平均值范围为 0.33~2.07,均小于 2.1,叶片的 $N:K$ 平均值范围为 1.64~2.36,各部位的 $K:P$ 平均值范围为 3.42~17.12,均大于 3.4,说明白芨的生长主要受到磷的限制,并没有受到钾的限制。综合上述,在白芨生长过程中,氮、磷是主要的限制因子,在施肥过程中,因注重氮肥和磷肥的施用。

白芨以假鳞茎入药,因此假鳞茎的干物质积累量则是生产关键。本研究表明,白芨整个生长期对氮、磷、钾的吸收积累量比例为 1.00:0.13:0.80。4—6 月,是当年假鳞茎干物质的快速积累期,也是叶片干物质的快速积累期,6—7 月,植株由以营养生长为重点而转向生殖生长为重点,因此,在这 2 个时期应施足够的肥料,以追施氮肥和钾肥为主,也可选择叶面追施,磷肥为辅。因磷在土壤中很容易被固定,磷肥利用率偏低,肥效迟缓^[14],应尽早施入适量磷肥做基肥,增加土壤中有效磷的含量,提高磷肥利用率和肥效^[15]。此外,白芨的入药部位是干燥假鳞茎,其主要成分是白芨胶,白芨胶的主要成分为大分子多糖,研究表明,氮、磷、钾对中药材多糖含量影响为磷>钾>氮^[16-17],因此磷肥的施用对白芨品质至关重要,栽培过程中应足够重视。肥料

用量也需特别注意,因苗期白芨植株较小,需肥量也较小,此时施肥量不宜过大,否则会导致养分流失而污染环境。本研究表明,磷的干物质生产效率最高,钾次之,氮的干物质生产效率最低。这与祝丽香等的研究结果^[7]一致。

参考文献:

- [1] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2015:139.
- [2] 李伟平,何良艳,丁志山. 白芨的应用及资源现状[J]. 中华中医药学刊,2012,30(1):158-160.
- [3] 王 成,王劲松,丁玉川,等. 不同高粱基因型对氮磷钾缺乏的生物学响应[J]. 山西农业科学,2015,43(9):1133-1137,1191.
- [4] 赵 营,同延安,赵护兵. 不同供氮水平对夏玉米养分累积、转运及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(5):622-627.
- [5] 郑网宇,陈功磊,吴 迪,等. 不同肥力水平土壤小麦的氮磷钾肥料效应及养分吸收利用研究——以太湖流域丹阳市为例[J]. 江苏农业科学,2019,47(23):96-101.
- [6] 陈 娟,杨重军,郭玉海. 知母有效成分及氮、磷、钾累积规律研究[J]. 中国中药杂志,2007,32(15):1504-1507.
- [7] 祝丽香,王建华,耿慧云,等. 桔梗的干物质累积及氮、磷、钾养分吸收特点[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(1):197-202.
- [8] 林茂祥,韩 凤,刘 杰,等. 白芨氮、磷、钾养分的吸收与分配[J]. 中药材,2017,40(2):253-257.
- [9] 刘连涛,李存东,孙红春,等. 氮素营养水平对棉花不同部位叶片衰老的生理效应[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(5):910-914.
- [10] 宋春风,徐 坤. 芋对氮磷钾吸收分配规律的研究[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(4):403-406.
- [11] 王惠群,萧浪涛,李合松,等. 矮壮素对马铃薯中薯 3 号光合特征和磷素营养的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(6):1143-1147.
- [12] 张 锋,王建华,余松烈,等. 白首乌氮、磷、钾积累分配特点及其与物质生产的关系[J]. 植物营养与肥料学报,2006,12(3):369-373.
- [13] 皮发剑,袁丛军,喻理飞,等. 黔中天然次生林主要优势树种叶片生态化学计量特征[J]. 生态环境学报,2016,25(5):801-807.
- [14] 黄建国. 植物营养学[M]. 北京:中国林业出版社,2004:51.
- [15] 刘建玲,廖文华,张作新,等. 磷肥和有机肥的产量效应与土壤积累磷的环境风险评价[J]. 中国农业科学,2007,40(5):959-965.
- [16] 胡佳栋,武子丁,刘子哲,等. 党参氮磷钾施肥效应与最优施肥量研究[J]. 植物营养与肥料学报,2019,25(9):1615-1622.
- [17] 朱艳霞,黄燕芬,林 杨. 氮磷钾配方施肥对鸡骨草产量及化学成分的影响[J]. 南方农业学报,2018,49(8):1517-1524.