

兰州食用百合生长发育及氮磷钾素养分吸收累积与分配规律研究

林玉红

(甘肃省农业科学院生物技术研究所, 甘肃 兰州 730070)

摘要: 采用生长分析方法, 对生长周期为 3 a 的兰州食用百合进行了生长发育、干物质及氮磷钾素养分吸收累积分配规律研究。结果表明, 兰州食用百合生长第 1 年对氮磷钾素养分的吸收累积与干物质累积不同步, 生长第 2 年、第 3 年对氮磷钾素养分的吸收累积与干物质累积同步进行。不同生长年限下兰州食用百合的干物质和氮磷钾素养分吸收累积均表现为: 二年生最高, 三年生次之, 一年生最低。一年生、二年生、三年生兰州食用百合的氮磷钾素养分吸收累积均表现为: $K_2O > N > P_2O_5$ 。不同生长年限、不同发育阶段对氮磷钾素养分吸收累积的比值不同, 生长第 1 年氮磷钾素养分吸收累积比值为 1 : 0.4 : 1.4, 生长第 2 年为 1 : 0.5 : 1.7, 生长第 3 年为 1 : 0.5 : 1.5。

关键词: 兰州食用百合; 生长发育; 氮磷钾素养分; 吸收累积; 分配规律

中图分类号: S644.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2019)12-0008-11

doi: 10.3969/j.issn.1001-1463.2019.12.003

Study on the Growth, Accumulation and Distribution of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Nutrients in Lanzhou Edible Lily

LIN Yuhong

(Institute of Biotechnology, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

Abstract: Using the growth analysis method, the growth, accumulation and distribution of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients in Lanzhou edible lily with the growth period of 3 years were studied. The results showed that the absorption and accumulation of NPK nutrients in the first year of growth of edible lily in Lanzhou was not synchronized. In the second and third years, the absorption and accumulation of NPK nutrients was synchronized with the accumulation of dry matter. The accumulation of dry matter and nitrogen, phosphorus and potassium nutrients of Lanzhou edible lily under different growth years were expressed as follows: the highest in biennial lily, the second in triennial lily, the lowest in annual lily. The absorption and accumulation of NPK of Lanzhou edible lily of biennial, triennial, annual was $K_2O > N > P_2O_5$. There are differences in the ratio of NPK absorption and accumulation in different growth years and different developmental stages of Lanzhou edible lily. In the first year of growth, the absorption ratio of NPK was 1 : 0.4 : 1.4, the second year growth was 1 : 0.5 : 1.7, and the third year of growth was 1 : 0.5 : 1.5.

Key words: Lanzhou edible lily; Growth and development; NPK; Absorption and accumulation; Distribution

兰州食用百合(*Lilium davidii* var. *unicolor cotton*)为多年生草本植物, 百合科百合属川百合的一个变种^[1-7]。始载于明万历三十三年(1605年)甘肃《临洮府志》, 在甘肃

栽培已有 400 多年的历史, 是甘肃省名优特产之一, 不仅是中国食用百合中的上品, 而且是中国唯一的甜百合。“兰州百合”为中国国家地理标志产品。兰州食用百合生长周期

收稿日期: 2019-08-27

基金项目: 甘肃省科技重大专项(18ZD2NA010); 甘肃省农业科学院科技支撑项目(2017GAAS36)。

作者简介: 林玉红(1964—), 女, 山东文登人, 研究员, 主要从事生物技术应用及作物栽培和植物营养研究工作。Email: ruby6146926@qq.com。

长,从商品种球种植到成为商品百合需要3 a时间。买自珍等^[8]对宁夏固原引种并生长1 a、2 a的兰州食用百合进行了需肥规律研究,孙红梅等^[9]对在沈阳生长1 a的兰州百合进行了发育过程中植株及鳞茎内氮磷钾的吸收与分配规律等研究,但兰州食用百合主产区(兰州市南部二阴山区)对兰州食用百合1~3 a生长周期的生长发育、养分吸收累积与分配规律尚未见报道。笔者旨在研究主产区兰州食用百合生长发育及养分吸收累积规律,以期为甘肃省兰州食用百合标准化生产提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于2010—2012年在位于兰州市南部二阴山区的七里河区西果园镇堡子村进行。当地气候冷凉湿润,海拔 $\geq 2\ 100$ m,年均气温5.3℃,平均生长期232 d, ≥ 10 ℃年积温1 870℃,无霜期123 d,年均降水量300 mm左右^[7]。试验地土壤基础肥力中等,0~20 cm土层土壤含有机质15.90 g/kg、全氮1.10 g/kg、全磷0.83 g/kg、全钾28.6 g/kg、水解氮79.1 mg/kg、速效磷24.7 mg/kg、速效钾170.2 mg/kg、全盐0.55 g/kg,pH 8.08。试验地于上年秋后深翻晒地,耙松平整。前茬小麦。

1.2 试验材料

兰州食用百合生长期为3 a,生长1、2、3 a的百合分别称为一年生、二年生、三年生。供试材料选自农户自繁、根系繁茂未腐烂,大小均一、平均重量13 g的兰州食用百合种球。在同一地块内设3个面积相同的试验小区计作3次重复,小区面积32 m²(8 m×4 m),每小区按株行距15 cm×35 cm种植11行,每行53株,小区间设走道40 cm,走道四周种植保护区。施肥与田间管理同大田生产。分别于苗期(株高10 cm)、现蕾期(50%现蕾)、摘花期、膨大期、枯萎期按每小区种植行依次挖取样品10株,装

袋,带回实验室。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 样品干物质和氮磷钾素养分的测定

将样品的地上植株和地下鳞茎分开,鳞茎去根并擦去表面泥土,称量地上植株和地下鳞茎鲜重。先将地上植株放入105℃烘箱内30 min,然后再将地上植株和地下鳞茎样品放入恒温干燥箱内,于80℃烘至恒重,称干重,折算干物质。烘干样经粉碎、过筛后,用硫酸—过氧化氢消煮法制备待测液,取待测液测定氮、磷和钾含量^[10]。

1.3.2 试验数据的计算 按以下公式计算N、P₂O₅、K₂O养分累积量^[11]。

样品N养分累积量=样品干物质×样品含N量

样品P₂O₅养分累积量=样品干物质×样品含P₂O₅量

样品K₂O养分累积量=样品干物质×样品含K₂O量

1.4 统计分析

试验数据采用DPS软件和Excel 2007进行分析和制图。

2 结果与分析

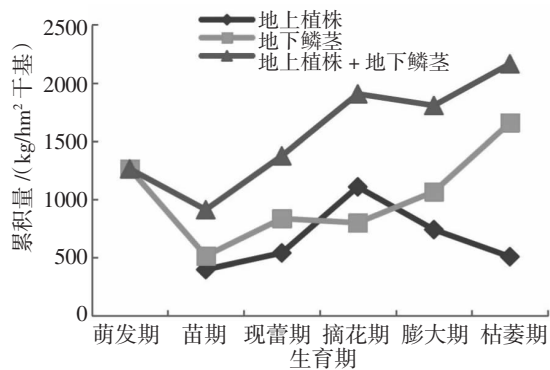
2.1 一年生兰州食用百合生长发育、养分吸收及养分分配规律

2.1.1 干物质累积规律 从图1可以看出,生长第1年,随着地上植株的快速生长,苗期—摘花期干物质持续累积增加,于摘花期达第1次高峰;摘花期—膨大期干物质略有下降;膨大期—枯萎期干物质增加,至枯萎期达生育期最高点。干物质吸收累积动态地下鳞茎呈“N”型变化曲线,地上植株则呈“倒U”型变化曲线。植株出现花蕾时,营养生长和生殖生长同时进行,此阶段花蕾生长的养分由地下鳞茎来提供,鳞茎养分消耗量大,摘花期地下鳞茎表现为干物质累积下降。摘花抑制了生殖生长,地下鳞茎快速膨大生长,其干物质累积量高于地上植株。鳞茎干物质累积量随着生长年限的增加而逐年

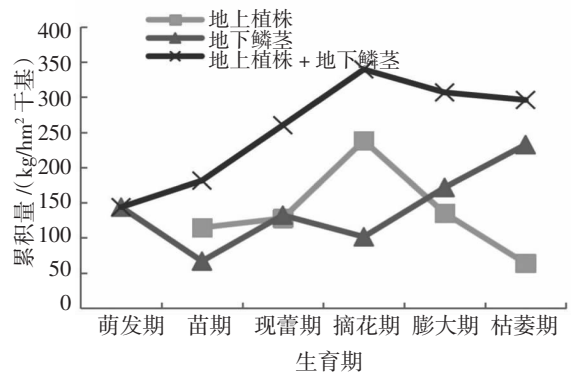
递增。随着植株茎叶的生长，萌芽期—苗期地下鳞茎干物质表现下降[降速为24.94 kg/(hm²·d)]。苗期—摘花期地上植株营养和生殖生长并存，生长旺盛，茎叶光合作用最大，干物质持续增加并于摘花期达峰值，其中现蕾期—摘花期地上植株干物质累积速度[47.34 kg/(hm²·d)]快于苗期—现蕾期干物质累积速度[15.78 kg/(hm²·d)]；而地下鳞茎在苗期—现蕾期干物质累积增加，其累积速度为35.61 kg/(hm²·d)，在现蕾期至摘花期为植株生殖生长提供大量养分，干物质积累量则表现下降，降速为3.00 kg/(hm²·d)。摘花期—膨大期地上植株生长开始减缓，地下鳞茎生长快速增加，干物质累积大于地上植株。此阶段地上植株干物质累积下降速度为17.51 kg/(hm²·d)，地下鳞茎干物质累积增加速度为12.75 kg/(hm²·d)。随着秋季的到来，植株逐渐凋落枯萎，膨大期—枯萎期地上植株干物质快速下降[降速为4.31 kg/(hm²·d)]，地下鳞茎干物质快速增加[增速为10.95 kg/

(hm²·d)]，至枯萎期达生育期最高点。生长第1年，兰州食用百合干物质吸收累积动态地下鳞茎呈“N”型变化曲线，地上植株则呈“倒U”型变化曲线。

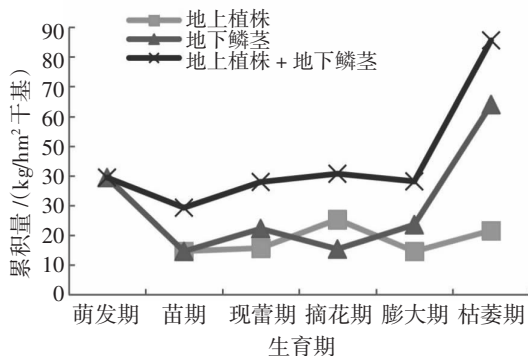
2.1.2 氮磷钾素养分吸收累积规律 从图1可以看出，生长第1年，随着地上植株的生长，苗期—现蕾期—摘花期对氮、磷养分的吸收持续增加，其中对氮养分吸收在摘花期累积达到生育期最高点，摘花期后对氮养分的吸收呈下降趋势，枯萎期下降至最低；对磷养分吸收在摘花期达第1次峰值，摘花期—膨大期略有下降，膨大期—枯萎期又有所增加，至枯萎期达生育期最高点。苗期—现蕾期对钾养分吸收快速累积，于现蕾期达生育期最高点，此期后对钾养分的吸收开始下降，枯萎期降至最低。出现花蕾时营养生长和生殖生长同时进行，此阶段花蕾生长的养分由地下鳞茎来提供，鳞茎养分消耗量大，摘花期地下鳞茎表现为养分吸收累积下降。地上植株对氮钾素的吸收累积动态呈



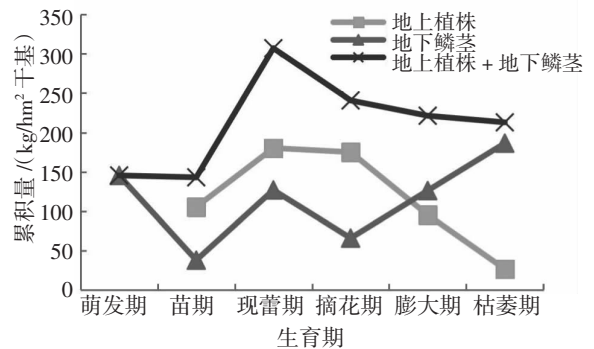
a 一年生百合的干物质累积变化动态



b 一年生百合的氮素累积变化动态



c 一年生百合的磷素累积变化动态



d 一年生百合的钾素累积变化动态

图1 一年生兰州食用百合干物质和氮磷钾素吸收累积动态 (图中数据均为3次重复平均值)

“倒U”变化曲线，对磷素吸收累积动态呈“N”型变化曲线；地下鳞茎对氮磷钾素的吸收累积动态均呈“N”型变化曲线。枯萎期百合地下鳞茎氮磷钾素累积量分别为232.41、63.98、186.44 kg/hm²，氮磷钾素吸收累积表现为K₂O > N > P₂O₅。萌花期—苗期地下鳞茎对氮磷钾素的吸收累积均表现下降[下降速度分别为2.85、0.92、3.99 kg/(hm²·d)]。由此可知，从种球萌发到茎叶生长前期，种球内大量的氮磷钾素养分需要供给茎叶生长，钾素消耗量最多；其次是氮素；磷素最少。随着地上植株的生长，苗期—现蕾期，地上植株和地下鳞茎对氮磷钾素养分的吸收均表现增加。地上植株对氮、磷、钾素的吸收累积速度分别为1.48、0.12、8.33 kg/(hm²·d)，地下鳞茎对氮、磷、钾素的吸收累积速度分别为7.27、0.85、9.91 kg/(hm²·d)，此期地上植株和地下鳞茎对钾素的吸收累积速度均达生长当年最大；地下鳞茎对氮磷钾素养分的吸收累积速度为达当年最大。现蕾期—摘花期地上植株对氮磷钾素养分的吸收增加，其累积增加速度分别为9.19、0.80 kg/(hm²·d)，对钾素养分的吸收略减[下降速度为0.43 kg/(hm²·d)]；地下鳞茎对氮磷钾素养分的吸收累积均表现下降，下降速度分别为2.57、0.57、5.09 kg/(hm²·d)，现蕾期—摘花期地上植株对氮磷钾素养分的吸收累积增加速度达当年最大，而地下鳞茎钾素吸收累积的下降速度达当年最大。摘花期—膨大期地上植株生长减缓，地下鳞茎快速生长，地下鳞茎氮磷钾素吸收累积增加[增加速度分别为3.34、0.39、2.87 kg/(hm²·d)]，地上植株氮磷钾素吸收累积减少[下降速度分别为

4.90、0.51、3.80 kg/(hm²·d)]。膨大期—枯萎期地上植株逐渐枯萎，而地下鳞茎快速膨大生长。地上植株除对磷素养分吸收增加外[累积增加速度0.13 kg/(hm²·d)]，对氮钾素吸收累积表现下降[下降速度为1.32、1.27 kg/(hm²·d)]，地下鳞茎对氮磷钾素吸收累积持续增加[增加速度分别为1.13、0.75、1.12 kg/(hm²·d)]，此期磷素吸收累积速度较快，仅次于苗期—现蕾期。

2.1.3 干物质累积和氮磷钾素吸收累积分配比率 从表1可知，生长第1年，随着地上植株的快速生长，兰州食用百合苗期地上植株干物质快速累积，地上植株干物质累积高于地下鳞茎。现蕾期营养与生殖生长并存，此期地下鳞茎干物质累积高于地上植株，占地上植株+地下鳞茎的60.75%。现蕾期—摘花期，地上植株旺盛生长，其干物质累积所占比率增加至当年最大，地下鳞茎占比则下降到当年最低。摘花期后，随着地上植株生长地减缓，直至凋落枯萎，干物质占比逐渐下降；地下鳞茎则快速膨大生长，其干物质占比逐渐增加。

苗期地上植株快速生长，吸收氮磷钾素的速度也在增加，地上植株氮磷钾素所占的比率均高于地下鳞茎。现蕾期地上植株处于营养和生殖生长并存，对钾素的吸收大于氮、磷两种元素，地上植株钾素所占比率高于地下鳞茎，地下鳞茎氮磷素所占的比率高于地上植株。摘花期，由于抑制了生殖生长，地上植株氮磷钾素所占比率增加，且高于地下鳞茎。膨大期和枯萎期，地上植株生长减缓直至枯萎，地下鳞茎膨大生长加速，氮磷钾素在地下鳞茎中所占的比率高于地上植株。

表1 一年生兰州食用百合干物质和氮磷钾素养分吸收累积分配比率

%

生育期	地上植株				地下鳞茎			
	干物质	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	干物质	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
苗期	43.60	63.16	50.10	73.61	56.40	36.84	49.90	26.39
现蕾期	39.25	49.16	41.40	58.69	60.75	50.84	58.60	41.31
摘花期	58.11	70.14	62.25	72.70	41.89	29.86	37.75	27.30
膨大期	40.96	44.07	38.22	43.03	59.04	55.93	61.78	56.97
枯萎期	23.41	21.52	25.26	12.45	76.59	78.48	74.74	87.55

2.1.4 氮磷钾素养分吸收累积比例 兰州食用百合生长第 1 年, 地上植株苗期—膨大期磷素吸收累积逐渐下降, 但膨大期—枯萎期地上植株对磷素的吸收又有明显增加。地上植株对钾素的吸收累积苗期和现蕾期明显高于生长后期。地下鳞茎对磷素的吸收累积比例从萌发至膨大期逐渐下降, 到枯萎期增加明显, 说明兰州食用百合生长后期对磷素的吸收高于生长前期。地下鳞茎对钾素的吸收累积除在苗期和摘花期有所下降外, 其它生长发育时期均处于吸收累积增加状态(表2)。

2.1.5 氮磷钾素养分吸收累积及养分分配特点 孙红梅等^[9]认为, 生长 1 a 的兰州百合植株营养吸收的关键时期为幼苗至现蕾期, 鳞茎发育对钾营养的需求大于氮和磷。我们研究认为, 生长第 1 年, 兰州食用百合对钾素养分的吸收累积最大期为苗期—现蕾期, 氮素为现蕾期—摘花期, 而磷素养分吸收累积最大时期有 2 个, 即现蕾期—摘花期、膨大期—枯萎期。地上植株氮磷钾素养分吸收累积表现为 $N > K_2O > P_2O_5$, 地下鳞茎氮磷钾素养分吸收累积表现为 $K_2O > N > P_2O_5$, 地上植株 + 地下鳞茎氮磷钾素养分吸收累积表现为 $K_2O > N > P_2O_5$ 。钾素最快最早被吸收。生长第 1 年, 兰州食用百合对氮磷钾素养分的吸收累积与干物质累积不同步, 苗期—摘花期是氮磷钾素养分吸收的最大效率期。生长后期兰州食用百合地下鳞茎对磷钾素的吸收比生长前期增加较多, 因此, 生产中基肥要施足磷钾肥, 以防后期脱肥。

氮磷钾素在地上植株和地下鳞茎的分布, 苗期以地上植株生长为主, 且地上植株

高于地下鳞茎。随着百合的生长, 现蕾期地下鳞茎的氮磷钾素比率上升, 其中氮磷素高于地上植株, 而钾素在地下鳞茎中的比率则低于地上植株。摘花期地上植株中氮磷钾素比率上升至当年最高, 分别达 70.14%、62.25% 和 72.70%, 而地下鳞茎比率则下降至当年最低。摘花期之后地下鳞茎的氮磷钾素比率逐渐上升, 到枯萎期达 74% 以上, 而地上植株的比率下降。

生长第 1 年兰州食用百合不同生育阶段对氮磷钾素养分吸收累积的比值不同, 以 1 : 0.4 : 1.4 为宜。买自珍等^[8]认为宁夏固原生长的 1、2 年的兰州食用百合氮磷钾养分吸收累积的比值为 1 : 0.6 : 1。

2.2 二年生、三年生兰州食用百合生长发育、养分吸收及养分分配规律

2.2.1 干物质累积规律 从图 2 可以看出, 兰州食用百合生长第 2 年、第 3 年, 随着地上植株的生长, 地上植株、地下鳞茎的干物质在苗期—现蕾期快速累积, 于现蕾期达到第 1 次峰值。生长第 2、3 年地上植株干物质累积增加速度分别为 98.15、151.05 kg/($hm^2 \cdot d$), 地下鳞茎的干物质累积增加速度分别为 158.87、196.63 kg/($hm^2 \cdot d$)。现蕾期—摘花期干物质累积快速下降, 摘花期地下鳞茎干物质高于苗期。生长第 2、3 年, 地上植株的干物质累积下降速度分别为 18.22、27.38 kg/($hm^2 \cdot d$), 地下鳞茎干物质累积下降速度分别为 150.58、159.21 kg/($hm^2 \cdot d$)。摘花期—膨大期生殖生长抑制后, 地上植株、地下鳞茎干物质又快速累积, 兰州食用百合生长第 2 年、第 3 年地上植株干物质累积增

表 2 一年生兰州食用百合氮磷钾素养分吸收累积比例

生育期	N : P ₂ O ₅ : K ₂ O		
	地上植株	地下鳞茎	地上植株+地下鳞茎
萌发期		1 : 0.27 : 1.01	1 : 0.27 : 1.01
苗期	1 : 0.13 : 0.93	1 : 0.22 : 0.57	1 : 0.16 : 0.80
现蕾期	1 : 0.12 : 1.41	1 : 0.17 : 0.96	1 : 0.15 : 1.18
摘花期	1 : 0.11 : 0.74	1 : 0.15 : 0.65	1 : 0.12 : 0.71
膨大期	1 : 0.11 : 0.70	1 : 0.14 : 0.73	1 : 0.12 : 0.72
枯萎期	1 : 0.34 : 0.42	1 : 0.28 : 0.80	1 : 0.29 : 0.72

加速度分别为 52.0、34.43 kg/(hm²·d)，地下鳞茎干物质累积增加速度分别为 197.22、188.25 kg/(hm²·d)。膨大期—枯萎期地上植株逐渐凋零枯萎，干物质累积增加减缓，枯萎期地下鳞茎干物质累积达当年最高。生长第2年，地上植株干物质累积增加速度分别为 2.67 kg/(hm²·d)，地下鳞茎的干物质累积下降速度分别为 28.09 kg/(hm²·d)。生长第3年，地上植株的干物质累积下降速度为 14.04 kg/(hm²·d)，地下鳞茎的干物质累积增加速度为 14.58 kg/(hm²·d)。

生长第2年、第3年，兰州食用百合出苗均早于第1年，地上植株快速生长，茎秆均比第1年粗壮，叶片也均比第1年大且多。地上植株和地下鳞茎营养体生长量快速增大。除第2年地下鳞茎干物质在摘花期低于地上植株外，其它生育时期的地下鳞茎干

物质均高于地上植株。干物质在苗期—现蕾期快速累积，现蕾期达到第1次高峰，现蕾期—摘花期迅速下降，摘花期地下鳞茎干物质高于苗期；摘花期—膨大期快速累积，膨大期—枯萎期增加缓慢，枯萎期地下鳞茎干物质达最高。生长第2年、第3年干物质吸收累积动态除第3年地上植株为“M”型变化曲线外，第2年地上植株和地下鳞茎及第3年地下鳞茎均呈“N”型变化曲线。生长第3年的兰州食用百合干物质累积在摘花期之前增减速度均高于第2年，摘花期之后，生长第3年的兰州食用百合干物质累积增减速度均低于第2年，说明第3年兰州食用百合生长期肥力不足。

2.2.2 氮磷钾素养分吸收累积规律 生长第2年、第3年，兰州食用百合对氮磷钾素养分的吸收累积与干物质累积同步进行，氮磷

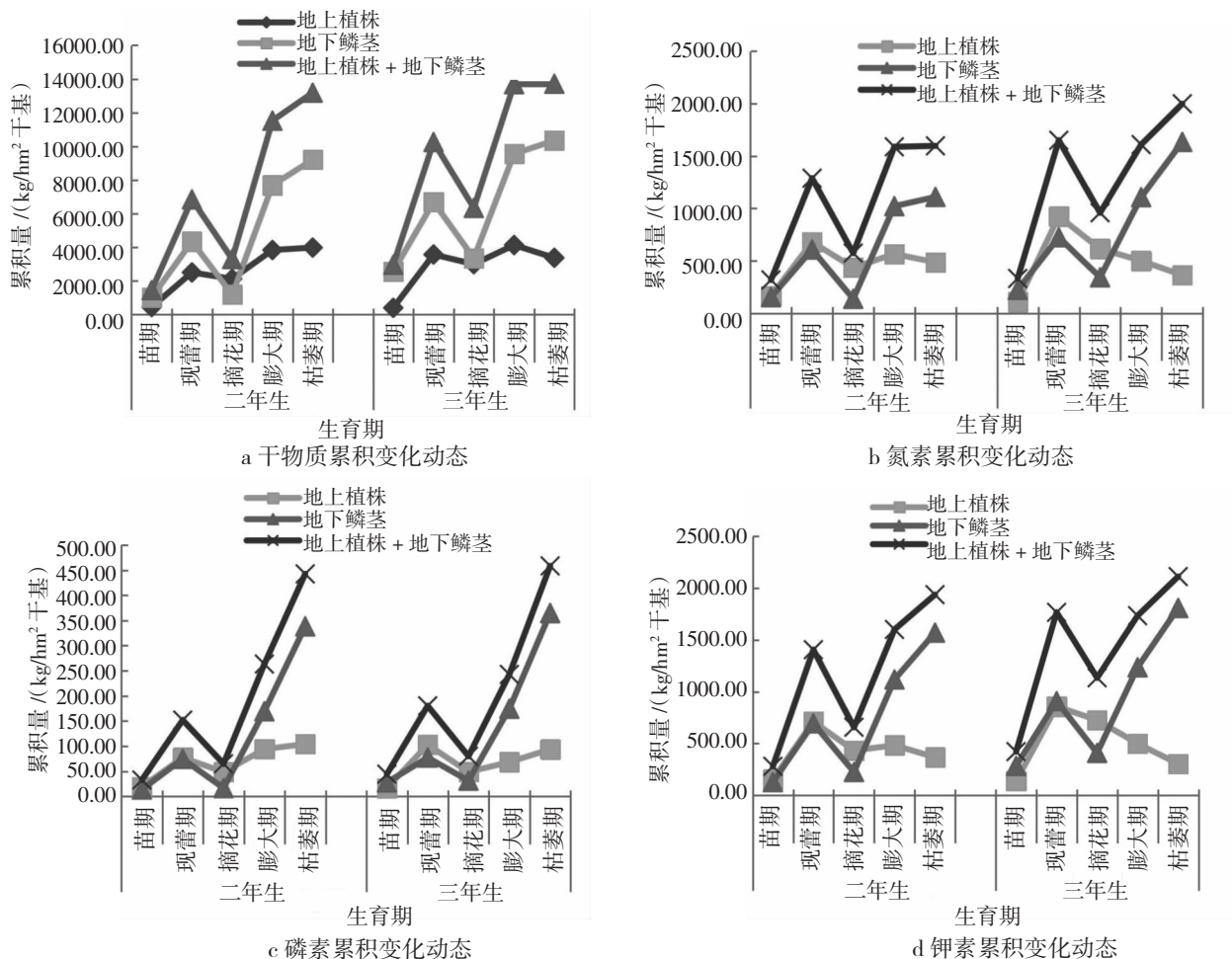


图2 二年生、三年生兰州食用百合干物质和氮磷钾素养分吸收累积动态

钾素吸收累积均表现为 $K_2O > N > P_2O_5$ 。苗期—现蕾期,对氮磷钾素养分的吸收累积表现为同步快速增加,且达生育期第 1 次峰值;现蕾期—摘花期对氮磷钾素养分的吸收累积下降(与第 1 年相同),除第 3 年地上植株摘花期后对氮钾素吸收累积逐渐下降至枯萎期最低外,地下鳞茎对茎氮磷钾素的吸收累积又同步增加,于枯萎期达到最大值。摘花抑制了生殖生长,茎叶光合作用和根吸收的营养物质及时贮藏于鳞茎中,地下鳞茎膨大生长加速。生长后期对磷素养分的吸收累积较前期多,表现为直线上升趋势,而对氮钾素的吸收在膨大期—枯萎期增幅较前期减缓,对氮素的吸收累积增幅最小。枯萎期对氮磷钾素养分的吸收累积达生育期最高。生长当年地上植株对氮钾素养分的吸收累积呈“倒 U”型变化曲线,地上植株对磷素养分的吸收累积动态和地下鳞茎对氮磷钾素养分的吸收累积均呈“N”型动态变化曲线。

生长第 2 年,兰州食用百合苗期—现蕾期地上植株对氮磷钾素养分的吸收累积快速增加,累积速度达生育期最大,分别为 24.54、2.77、26.61 $kg/(hm^2 \cdot d)$;地下鳞茎对氮磷钾素养分的吸收累积与地上植株同步快速增加,累积速度分别为 21.62、2.90、27.01 $kg/(hm^2 \cdot d)$ 。现蕾期—摘花期营养与生殖生长并存,摘除花蕾地上植株、地下鳞茎干物质和氮磷钾养分均下降,地上植株对氮磷钾素养分的吸收累积下降速度分别为 11.59、1.37、13.28 $kg/(hm^2 \cdot d)$,地下鳞茎氮磷钾素养分吸收累积下降速度分别为 22.38、2.77、22.36 $kg/(hm^2 \cdot d)$ 。摘花后,地下鳞茎膨大生长加速,对氮磷钾素养分的吸收高于地上植株。摘花期—膨大期地下鳞茎的氮磷钾素养分吸收累积速度达生育期最大,分别为 26.78、4.63、27.08 $kg/(hm^2 \cdot d)$,地上植株的氮磷钾素养分吸收累积速度分别为 3.91、1.38、1.53 $kg/(hm^2 \cdot d)$ 。膨大期—枯萎期地上植株枯萎,对氮磷钾素养分的吸收下降。

此期地上植株氮钾素养分吸收累积下降[下降速度为 1.46、2.15 $kg/(hm^2 \cdot d)$],磷素养分吸收累积增加[增加速度为 0.19 $kg/(hm^2 \cdot d)$],地下鳞茎的氮磷钾素养分吸收累积速度虽较摘花期—膨大期减缓,但仍然表现继续增加,增加速度分别为 1.64、3.13、8.37 $kg/(hm^2 \cdot d)$ 。

生长第 2 年,苗期—现蕾期、摘花期—膨大期的兰州食用百合干物质和氮磷钾素养分吸收累积量急速增加,枯萎期比一年生百合分别增长 455.43%、377.79%、429.29%和 742.79%,累积量是第 1 年的 5.55、4.78、5.29、8.42 倍。地上植株的氮磷钾素养分吸收累积表现为 $N > K_2O > P_2O_5$,地下鳞茎的氮磷钾素养分吸收累积表现为 $K_2O > N > P_2O_5$,地上植株+地下鳞茎的氮磷钾素养分吸收累积表现为 $K_2O > N > P_2O_5$ 。二年生百合氮磷钾素养分吸收累积综合表现为 $K_2O > N > P_2O_5$ 。

生长第 3 年,苗期—现蕾期地上植株对氮磷钾素养分的吸收继续增加,且累积速度达生育期最大,分别为 38.87、4.12、34.23 $kg/(hm^2 \cdot d)$;地下鳞茎的氮磷钾素养分吸收累积同时快速增加,分别为 23.86、2.36、29.80 $kg/(hm^2 \cdot d)$,其中氮钾素吸收速度达生育期最大,磷素吸收累积速度略低于生长后期。现蕾期—摘花期氮磷钾素养分吸收累积下降,地上植株的氮磷钾素养分吸收累积下降速度分别为 14.7、2.58、6.27 $kg/(hm^2 \cdot d)$,地下鳞茎的氮磷钾养分吸收累积下降速度分别为 18.19、2.19、23.82 $kg/(hm^2 \cdot d)$ 。摘花期—膨大期地下鳞茎膨大生长快于地上植株,地下鳞茎对磷素养分的吸收增加多于生长前期,磷素吸收累积增加速度达生育期最大,为 4.34 $kg/(hm^2 \cdot d)$;氮钾素养分吸收累积速度达生育期第 2 峰值,分别为 23.17、25.05 $kg/(hm^2 \cdot d)$ 。地上植株的氮钾素养分吸收累积下降,下降速度分别为 3.47、6.88 $kg/(hm^2 \cdot d)$,而磷素吸收累积增加,增加速度为 0.60 $kg/(hm^2 \cdot d)$ 。膨大期—枯萎期地下鳞茎对氮磷钾素养分的吸收持续增加,磷素养分

吸收累积速度达生育期第 2 峰值[3.52 kg/(hm²·d)], 氮钾素吸收累积速度分别为 9.75、10.6 kg/(hm²·d); 地上植株氮钾素养分吸收累积下降, 氮钾素吸收累积下降速度分别为 2.54、3.61 kg/(hm²·d), 磷素吸收累积增加, 增加速度为 0.47 kg/(hm²·d)。生长第 3 年兰州食用百合的氮钾素吸收累积在摘花期之后累积速度均表现下降, 且低于第 2 年, 说明第 3 年生长期内肥力不足, 导致干物质和氮磷钾养分累积下降。

生长第 3 年, 兰州食用百合苗期—现蕾期、摘花期—膨大期的氮磷钾素养分吸收累积量继续增加, 枯萎期比二年生的分别增长 47.23%、7.81%、15.13%, 累积量分别是二年生百合的 1.47、1.08、1.15 倍。地上植株的氮磷钾素吸收累积表现为 N>K₂O>P₂O₅, 地下鳞茎的氮磷钾素吸收累积表现为 K₂O>N>P₂O₅, 地上植株+地下鳞茎的氮磷钾素养分吸收累积表现为 K₂O>N>P₂O₅。三年生百合的氮磷钾素养分吸收累积综合表现为 K₂O>N>P₂O₅。

2.2.3 干物质与氮磷钾素养分吸收累积分配比率 从表 3 可以看出, 生长第 2 年、第 3 年, 随着地上植株的生长发育, 苗期—摘花期地上植株干物质质量占地上植株+地下鳞茎干物质的比率逐渐增加至最高, 地下鳞茎所占比率下降至最低, 摘花期之前以地上植株生长为主, 干物质分配比率地上植株>地下鳞茎。摘花期之后, 地上植株生长减缓, 地下鳞

茎膨大生长加速, 地上植株干物质占此期地上植株+地下鳞茎的分配比率逐渐下降, 地下鳞茎干物质所占分配比率则逐渐增加。

兰州食用百合氮磷钾素养分吸收累积量除第 3 年苗期地下鳞茎所占地上植株+地下鳞茎分配比率高于地上植株外, 苗期—摘花期地上植株氮磷钾素养分吸收累积量所占地上植株+地下鳞茎分配比率高于地下鳞茎, 摘花期地上植株氮磷钾素养分吸收所占比率达到最大, 其中生长第 2 年的氮磷钾素养分吸收所占比率分别达 75.96%、74.56%、65.83%, 生长第 3 年的氮磷钾素养分吸收所占比率分别达 64.18%、60.90%、63.99%。摘花期后, 第 3 年的地下鳞茎氮磷钾素养分吸收累积所占比率高于第 2 年。从表 3 还可以看出, 生长第 3 年, 兰州食用百合的养分吸收累积从苗期就开始快速吸收累积, 生长第 3 年也是大量需肥时期。大田生产中, 种植户通常在百合生长第 3 年习惯减量施肥, 往往造成百合大幅减产, 品质下降。

2.2.4 氮磷钾素养分吸收累积比例 从表 4 可以看出, 生长第 2 年、第 3 年兰州食用百合的氮磷钾素养分吸收累积比例与生长第 1 年不同。随着生长年限的增加, 地上植株、地下鳞茎对氮磷钾素养分的吸收累积增加, 且对钾素养分的吸收比例高于氮素, 生长后期对磷素养分的吸收持续增加。苗期地上植株氮磷钾素养分吸收累积的比例高于地下鳞茎; 苗期—现蕾期地上植株由营养生长转为

表 3 二年生、三年生兰州食用百合干物质、氮磷钾素吸收累积量分配比率 %

生长年限	生育期	地上植株				地下鳞茎			
		干物质	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	干物质	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
二年生	苗期	30.31	51.66	58.02	54.60	69.69	48.34	41.98	45.40
	现蕾期	36.53	52.79	50.84	50.62	63.47	47.21	49.16	49.38
	摘花期	64.20	75.96	74.65	65.83	35.80	24.04	25.35	34.17
	膨大期	33.26	35.63	35.70	30.16	66.74	64.37	64.30	69.84
	枯萎期	30.17	30.49	23.54	18.94	69.83	69.51	76.46	81.06
三年生	苗期	13.33	32.50	37.29	32.87	86.67	67.50	62.71	67.13
	现蕾期	34.77	56.02	57.14	48.55	65.23	43.98	42.86	51.45
	摘花期	47.20	64.18	60.90	63.99	52.80	35.82	39.10	36.01
	膨大期	30.16	31.14	28.16	28.76	69.84	68.86	71.84	71.24
	枯萎期	24.57	18.21	20.45	14.39	75.43	81.79	79.55	85.61

表 4 二年生、三年生兰州食用百合氮磷钾素吸收累积比例

生长年限	生育期	N : P ₂ O ₅ : K ₂ O		
		地上植株	地下鳞茎	地上植株+地下鳞茎
二年生	苗期	1 : 0.12 : 0.93	1 : 0.09 : 0.82	1 : 0.10 : 0.88
	现蕾期	1 : 0.11 : 1.05	1 : 0.12 : 1.14	1 : 0.12 : 1.09
	摘花期	1 : 0.11 : 0.99	1 : 0.12 : 1.63	1 : 0.11 : 1.14
	膨大期	1 : 0.17 : 0.85	1 : 0.17 : 1.09	1 : 0.17 : 1.01
	枯萎期	1 : 0.21 : 0.76	1 : 0.30 : 1.41	1 : 0.28 : 1.21
三年生	苗期	1 : 0.15 : 1.28	1 : 0.12 : 1.26	1 : 0.13 : 1.27
	现蕾期	1 : 0.11 : 0.93	1 : 0.11 : 1.25	1 : 0.11 : 1.07
	摘花期	1 : 0.08 : 1.18	1 : 0.09 : 1.19	1 : 0.08 : 1.18
	膨大期	1 : 0.14 : 1.00	1 : 0.16 : 1.11	1 : 0.15 : 1.08
	枯萎期	1 : 0.26 : 0.84	1 : 0.22 : 1.11	1 : 0.23 : 1.06

营养与生殖生长共同发展时期，地上植株对氮钾素养分的吸收累积增加，钾素累积最多（第 3 年现蕾期下降），地下鳞茎对磷钾素养分的吸收同步增加。现蕾期—摘花期，地上植株、地下鳞茎磷素的养分吸收累积比例与第 2 年现蕾期相同，但第 3 年略有下降。钾素养分的吸收累积比例第 2 年表现增加，第 3 年则略有下降。摘花期—膨大期，地上植株茎叶生长减缓，地下鳞茎膨大生长加速，地上植株、地下鳞茎的钾素养分吸收累积比例均有所下降，而磷素吸收累积比例逐渐增加。膨大期—枯萎期，地上植株枯萎，地下鳞茎持续膨大生长，但地上植株、地下鳞茎的磷钾素吸收累积比例均明显增加，此期第 3 年表现略有下降。生长第 3 年，兰州食用百合的氮磷钾素养分吸收累积在现蕾期下降，为脱肥所致。

生长第 2 年、第 3 年兰州食用百合生长发育过程中对氮磷钾素养分的需求均很大，其需求量大于种植生长第 1 年。不同生长年限生育期内，兰州食用百合对钾素养分需求表现很强烈，且对钾素的需求量大于氮素和磷素。对比生长第 1、2、3 年兰州食用百合，地下鳞茎的磷钾素吸收累积比例下降，表明土壤或肥料中磷钾素供给不足。第 3 年摘花期后氮磷钾素吸收累积比例下降，说明脱肥严重。

2.2.5 氮磷钾养分吸收累积及养分分配规律特点 生长第 2 年、第 3 年的兰州食用百合，苗期—现蕾期、摘花期—枯萎期是氮磷钾素

养分快速吸收累积的最大效率时期，也是施肥的重要时期。生长第 2 年，地下鳞茎的氮磷钾素养分吸收累积量增加迅速，二年生百合枯萎期地下鳞茎的干物质和氮磷钾素养分吸收累积比一年生百合分别增长 455.43%、377.79%、429.29% 和 742.79%，其累积量是一年生百合枯萎期的 5.55、4.78、5.29、8.42 倍。生长第 3 年，地下鳞茎的干物质和氮磷钾素养分吸收累积量继续增加，三年生百合枯萎期地下鳞茎的干物质和氮磷钾素养分吸收累积比二年生百合分别增长 12.38%、47.23%、7.81% 和 15.13%，其累积量分别是二年生百合的 1.12、1.47、1.08、1.15 倍。氮磷钾素养分吸收累积表现为 K₂O > N > P₂O₅。由此可见，兰州食用百合生长的第 2 年、第 3 年是地上植株、地下鳞茎快速生长期，也是氮磷钾素养分吸收累积的重要时期。对氮磷钾素的吸收累积以钾素最大，氮素次之，磷素最低。生长周期为 3 a 的商品兰州食用百合是需肥量大、且喜钾的经济作物，旱地生产要早施、重施有机肥和磷钾肥料，防止生长后期脱肥，造成减产。建议秋季追肥，以保证苗期生长的养分快速需求。

氮磷钾素在地上植株和地下鳞茎的分布，苗期—摘花期地上植株的氮磷钾素吸收累积所占比率逐渐增加，于摘花期达到最大，而地下鳞茎的氮磷钾素吸收累积所占比率低于地上植株。其中生长第 2 年地上植株氮磷钾素吸收累积所占比率分别为 75.96%、74.56%、65.83%，生长第 3 年的氮磷钾素养

分吸收累积所占比率分别达 64.18%、60.90%、63.99%。摘花期—枯萎期地下鳞茎的氮磷钾素养分吸收累积所占比率逐渐增加,地上植株则逐渐下降。摘花期后,生长第3年的地下鳞茎对氮磷钾素养分吸收累积占比高于第2年。

兰州食用百合生长第2年、第3年不同生育阶段氮磷钾素养分吸收累积比例不同,第2年以 1 : 0.5 : 1.7 为宜,第3年以 1 : 0.5 : 1.5 为宜。

3 结论

研究表明,兰州食用百合生长第1年的氮磷钾素养分吸收累积与干物质累积不同步,干物质吸收累积动态地下鳞茎呈“N”型变化曲线,地上植株则呈“倒U”型变化曲线。地上植株的氮钾素吸收累积呈“倒U”变化曲线,对磷素的吸收累积呈“N”型变化曲线,地下鳞茎的氮磷钾素吸收累积均呈“N”型变化曲线。生长第1年的氮磷钾素吸收累积表现为 $K_2O > N > P_2O_5$ 。生长第2年、第3年的氮磷钾素养分吸收累积与干物质累积同步进行,生长第2年、第3年干物质吸收累积动态除第3年地上植株为“M”型变化曲线外,第2年地上植株和地下鳞茎及第3年地下鳞茎均呈“N”型变化曲线。生长第2年,兰州食用百合苗期—现蕾期、摘花期—膨大期的氮磷钾素养分吸收累积与干物质累积同步进行,二年生百合枯萎期地下鳞茎的干物质和氮磷钾养分吸收累积量急速增加,比一年生百合枯萎期分别增长 455.43%、377.79%、429.29%和 742.79%,累积量分别是一年生百合的 5.55、4.78、5.29、8.42 倍。地上植株氮磷钾素养分吸收累积表现为 $N > K_2O > P_2O_5$,地下鳞茎氮磷钾素养分吸收累积表现为 $K_2O > N > P_2O_5$,地上植株 + 地下鳞茎氮磷钾素养分吸收累积表现为 $K_2O > N > P_2O_5$ 。生长第3年兰州食用百合苗期—现蕾期、摘花期—膨大期的氮磷钾素养分吸收累积与干物质累积同步增加,三年生兰州食用

百合枯萎期地下鳞茎干物质和氮磷钾养分吸收累积量继续增加,比二年生兰州食用百合分别增长 12.38%、47.23%、7.81%、15.13%,累积量分别是二年生百合的 1.12、1.47、1.08、1.15 倍。地上植株的氮磷钾素吸收累积表现为 $N > K_2O > P_2O_5$,地下鳞茎的氮磷钾素吸收累积表现为 $K_2O > N > P_2O_5$,地上植株 + 地下鳞茎的氮磷钾素养分吸收累积表现为 $K_2O > N > P$ 。第2年、第3年对氮磷钾素养分的吸收累积表现为 $K_2O > N > P_2O_5$ 。二年生兰州食用百合干物质比一年生增长 455.43%,三年生比二年生增长 12.38%,三年生比一年生增长 524.19%。兰州食用百合干物质累积量表现为二年生最高,三年生次之,一年生最低。不同生长年限兰州食用百合的干物质和氮磷钾素养分吸收累积均表现为二年生 > 三年生 > 一年生。对氮磷钾素的吸收累积均表现为 $K_2O > N > P_2O_5$ 。兰州食用百合不同生长年限、不同发育阶段的氮磷钾素吸收累积的比值不同,生长第1年氮磷钾素吸收累积比值为 1 : 0.4 : 1.4,生长第2年为 1 : 0.5 : 1.7,生长第3年为 1 : 0.5 : 1.5。

参考文献:

- [1] 白贺兰, 乔德华. 兰州百合产业发展现状及优化升级对策[J]. 甘肃农业科技, 2017(12): 79-82.
- [2] 江晶, 杨一斐, 张朝巍, 等. 兰州百合优势种植区分布与土壤养分分析[J]. 甘肃农业科技, 2018(7): 45-47.
- [3] 崔文娟, 林玉红, 欧巧明, 等. 兰州百合 DNA 提取方法比较及 RAPD 体系的快速优化[J]. 甘肃农业科技, 2017(1): 8-12.
- [4] 白滨, 何苏琴, 于安芬, 等. 兰州百合褐腐病罹病根和根盘及鳞片分出的真菌和卵菌[J]. 甘肃农业科技, 2018(1): 16-20; 95.
- [5] 荆卓琼, 何苏琴, 白滨, 等. 兰州百合叶枯病菌对 4 种杀菌剂的敏感性测定[J]. 甘肃农业科技, 2017(12): 5-9.
- [6] 魏丽娟, 冯毓琴, 李翠红, 等. 鲜食百合贮藏保鲜技术研究综述[J]. 甘肃农业科技,

大量元素水溶肥对河西绿洲灌区玉米经济性状及产量的影响

杨君林^{1,2,3}, 冯守疆^{1,2,3}, 车宗贤^{1,2,3}, 赵欣楠^{1,2}, 张旭临^{1,2}

(1. 甘肃省农业科学院土壤肥料与节水农业研究所, 甘肃 兰州 730070; 2. 甘肃省新型肥料创制工程实验室, 甘肃 兰州 730070; 3. 农业部甘肃耕地保育与农业环境科学观察试验站, 甘肃 武威 733017)

摘要: 在河西绿洲灌区进行了玉米追施大量元素水溶肥配施试验。结果表明, 在底施磷酸二铵 450.0 kg/hm²、尿素 300.0 kg/hm² 的基础上, 于玉米拔节期、大喇叭口期、灌浆期分别随滴灌追施大量元素水溶肥 96.0 kg/hm² 的处理可有效地促进玉米的生长发育, 提高玉米产量和种植效益。该处理折合产量最高, 为 16 173.30 kg/hm², 较对照不施肥增产 38.09%, 较当地常规施肥处理增产 11.23%; 产值和净产值也均为最高, 分别为 27 495、14 745 元/hm², 分别较对照不施肥增加 7 585、3 835 元/hm², 分别较当地常规施肥处理增加 2 777、1 796 元/hm²。

关键词: 河西绿洲灌区; 大量元素水溶肥; 玉米; 产量

中图分类号: S513; S147.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-1463(2019)011-0018-04

[doi:10.3969/j.issn.1001-1463.2019.07.004](https://doi.org/10.3969/j.issn.1001-1463.2019.07.004)

河西绿洲灌区位于甘肃省西北部, 区域内土地资源丰富, 光照充足, 昼夜温差大, 降水稀少, 蒸发量大, 是典型的干旱内陆河灌区, 农业生产的特点是没有灌溉就没有农业^[1]。河西绿洲灌区农业发达, 是甘肃省粮食主产区和全国十二大商品粮基地之一。但河西绿洲灌区水资源短缺, 且种植生产中往往施肥过量, 如何在有限供水条件下充分发

挥肥料的增产作用, 已成为河西地区作物优质高产亟待解决的问题^[2-4]。水溶肥即水溶性肥料(Water Soluble Fertilizer, 简称WSF), 是指能够完全溶解于水的多元素复合型、速效性肥料^[5]。近年来河西绿洲灌区大力发展以滴灌为主的节水灌溉施肥技术, 而水溶肥在节水灌溉农业中发挥了至关重要的作用。因此, 研究适合当地灌溉条件的肥料配施措

收稿日期: 2019-08-24

基金项目: 甘肃省农业科学院农业科技创新专项计划“植物营养与新型肥料创新团队(2017GAAS26)”资助。

作者简介: 杨君林(1977—), 男, 甘肃天水人, 副研究员, 主要从事肥料与作物栽培方面的研究工作。联系电话: (0931)7601679。Email: 362200757@qq.com。

通信作者: 冯守疆(1979—), 男, 内蒙古乌兰察布人, 主要从事新型肥料研究工作。联系电话: (0931)7601679。

2017(8): 83-87.

[7] 周清泉. 兰州百合产业发展现状及对策[J]. 甘肃农业科技, 2016(1): 64-66.

[8] 买自珍, 黄玉库. 食用百合需肥规律的研究[J]. 宁夏农林科技, 1993(1): 19-22.

[9] 孙红梅, 李天来, 李云飞. 兰州百合发育过程中植株及鳞茎内氮磷钾的吸收与分配规律[J]. 中国农学通报, 2004, 20(5): 206-208;

213.

[10] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 263-271.

[11] 金继运, 张宁, 梁鸣早, 等. 土壤养分状况系统分析法在土壤肥力研究及测土施肥中的应用[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(1): 8-15.

(本文责编: 郑立龙)