

## GGE 双标图在氮肥对马铃薯生长影响分析中的应用

曹占凤<sup>1</sup>, 李亚杰<sup>2</sup>, 毕真真<sup>3</sup>, 孙超<sup>3</sup>, 刘毅<sup>4</sup>, 尚虎山<sup>2\*</sup>

(1. 甘肃省经济作物技术推广站, 甘肃 兰州 730030; 2. 定西市农业科学研究院, 甘肃 定西 743000;

3. 甘肃农业大学农学院, 甘肃 兰州 730070; 4. 甘肃省定西市安定区团结镇人民政府, 甘肃 定西 743000)

**摘要:** 为研究氮肥施用量对马铃薯产量及农艺性状的影响, 试验以马铃薯品种‘新大坪’为材料, 采用随机区组设计, 以尿素(N 46%)为氮源, 分别设置 0, 45, 90, 135 和 180 kg/hm<sup>2</sup> 5 个氮素施用处理, 利用方差分析及 GGE 双标图分析了产量与农艺性状。结果表明, 氮肥不同施用量对马铃薯产量及农艺性状有一定影响, 当氮肥施用量为 T2(N 90 kg/hm<sup>2</sup>) 时, 在 2014~2015 年试验马铃薯的产量以及单株薯块数, 单株薯块重量, 商品薯率表现最好。其中产量, 单株薯块数, 单株薯块重量, 商品薯率相比对照 CK 分别增加 67%、30%、63%、30%; 而氮肥施用量为 T4 (N 180 kg/hm<sup>2</sup>) 时, 尽管各项指标均优于对照, 而且株高较 T2 处理增加 4%, 但是相比 T2 处理下的马铃薯产量下降 18%, 商品薯率降低 12%; 产量、单株薯块重量对各试验处理差异的区分力和对目标农艺性状的代表性较好。因此, 试验结果表明, 精准合理的施用氮肥可以提高马铃薯的产量, 同时方差分析与 GGE 双标图结合能够帮助科研工作者更加客观、有效地分析肥料施用量的最佳效应。

**关键词:** 马铃薯; 氮肥; 施用量; GGE 双标图

## GGE-biplot Analysis of Impact of Nitrogen Fertilizer on Potato Growth

CAO Zhanfeng<sup>1</sup>, LI Yajie<sup>2</sup>, BI Zhenzhen<sup>3</sup>, SUN Chao<sup>3</sup>, LIU Yi<sup>4</sup>, SHANG Hushan<sup>2\*</sup>

(1. Gansu Economic Crops Technical Extension Station, Lanzhou, Gansu 730030, China; 2. Dingxi Agricultural Science Research Institute, Dingxi, Gansu 743000, China; 3. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China;

4. The People's Government of Tuanjie Town, Dingxi, Gansu 743000, China)

**Abstract:** The randomized block experiments with the nitrogen supplement level at 0, 45, 90, 135 and 180 kg/ha were conducted using the cultivar 'Xindaping' to analyze the influence of nitrogen fertilizer on agronomic traits in potato. The yield and agronomic traits were analyzed with analysis of variance (ANOVA) and displayed with GGE-biplot. The results revealed that the variation of nitrogen amount showed variable impact on the potato yield and agronomic traits. In 2014-2015, when the nitrogen application rate reached 90 kg/ha (T2), the yield, tuber number per plant, weight of tuber per plant and marketable tuber percentage were increased by 67%, 30%, 63% and 30%, respectively, compared to the control. When the nitrogen application rate reached 180 kg/ha (T4), even all the traits were better than that of the control, and the plant height was increased by 4% compared to T2, both yield and marketable tuber percentage were reduced by 18% and 12%, respectively, when compared to T2 treatment. The potato yield and the weight of tuber per plant are two appropriate agronomic indexes to distinguish the impacts of application rates on potato compared to

收稿日期: 2016-12-08

基金项目: 国家科技惠民计划(s2013GMG10004)。

作者简介: 曹占凤(1980-), 男, 农艺师, 主要从事经济作物研究。

\*通信作者(Corresponding author): 尚虎山, 男, 副研究员, 从事经济作物栽培研究, E-mail: 94789137@qq.com。

others. Moreover, the results also indicted that the combination of ANOVA and GGE-biplot was a useful method in screening the appropriate fertilizer supplement for the potato production.

**Key Words:** potato; nitrogen fertilizer; application rate; GGE-biplot

氮元素是马铃薯生长的重要因子, 氮素对马铃薯营养器官的形成和生长有良好的促进作用。在生育早期有充足的氮肥, 能促进根系的发育, 增强植株的抗旱性, 提高出苗率, 并能促进茎叶的快速生长, 枝叶繁茂、叶色浓绿, 同化面积大, 延长叶片功能期, 光合作用旺盛, 利于养分的积累, 可以提高块茎的产量及干物质含量和蛋白质含量。

基因型主效应及其与环境互作(Genotype main effect plus genotype-environment interaction, GGE) 双标图是研究基因型与环境互作以及不同环境下作物品种产量稳定性的新方法<sup>[1,2]</sup>。GGE 双标图的应用不限于多点试验数据分析, 对数据的限制性不大, 只要能够整理成两向表的形式, 就可以利用双标图将数据结果展示在图中进行直观分析。农业科研工作者将双标图多用于品种-环境、双列杂交<sup>[3]</sup>、环境条件-作物性状<sup>[4]</sup>等分析, 本研究中应用的施肥-产量双标图分析在肥料试验中出现较少。

马铃薯产量、品质受养分的影响很大, 特别是氮肥施用的合理与否, 严重影响马铃薯的产量与品质。氮肥用量不足, 限制马铃薯的产量; 氮肥施用量过量, 地上部分徒长, 结薯少, 产量低, 品质差。

如何合理施用氮肥提高马铃薯的产量和品质, 是生产中亟待解决的问题。

本研究通过开展马铃薯氮肥效益试验, 利用 GGE 双标图图解分析获得马铃薯氮肥的最佳施用量, 提出改善马铃薯产量的氮肥合理施用技术, 减少肥料的盲目施用, 为施肥配方提供依据, 为充分发挥肥料对马铃薯稳产增产、农产品质量安全、农民增收和增强农产品竞争力发挥积极作用。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验材料

供试品种为中熟品种‘新大坪’, 由定西市农业科学研究所马铃薯研究室提供, 种薯级别为 1 级种薯。

#### 1.2 试验地概况

试验于 2014~2015 年在定西市农业科学研究所试验田进行, 海拔 1 920 m, 年均辐射 592.9 kJ/cm<sup>2</sup>, 年均气温 6.4 °C, ≥10 °C 积温 2 239.1 °C, 年蒸发量 1 531 mm, 年平均降雨量与温度如图 1 所示, 土壤肥力情况如表 1 所示, 前作为马铃薯, 土壤类型为黄绵土, 肥力中等。

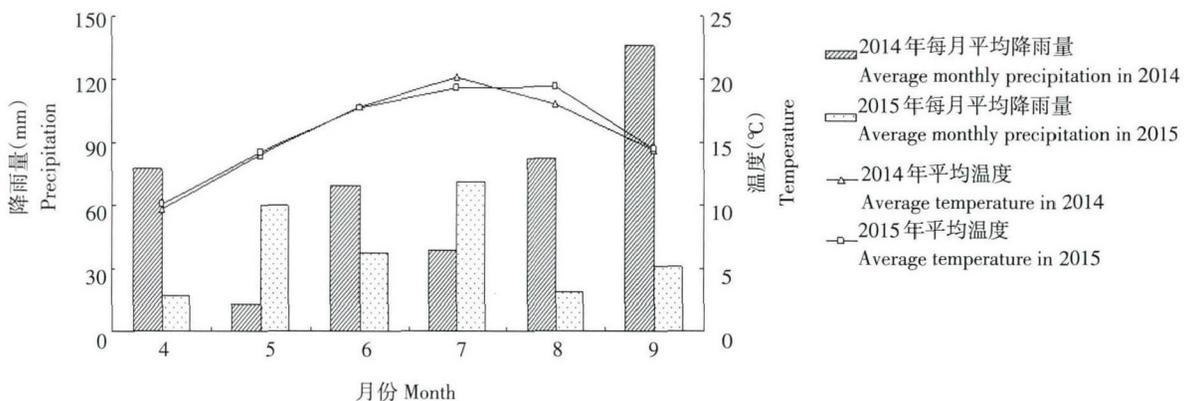


图 1 2014~2015 年定西马铃薯生育期内降雨量与温度情况

Figure 1 Precipitation and average temperature during potato growth stage for Dingxi in 2014-2015

表1 定西试验地土壤基础营养物质(0~30 cm)

Table 1 Basic properties of experimental soil of Dingxi City

年 Year	pH	有机质(g/kg) Organic matter	全氮(mg/kg) Total N	速效氮(mg/kg) Available N	速效磷(mg/kg) Available P	速效钾(mg/kg) Available K	有效锌(mg/kg) Available Zn
2014	8.1	20.90	103.00	69.00	10.00	114.00	2.50
2015	8.1	18.20	102.12	72.20	10.21	112.00	2.40

### 1.3 试验设计

以尿素(N 46%)为氮源, 不同尿素施用量为试验处理, 共设5个处理, 见表2。尿素播前基施, 试

验采用随机区组排列, 3次重复, 行长5.6 m, 行距0.7 m, 每行20株, 株距0.28 m, 5行区, 每小区100株, 小区面积(3.5 m × 5.6 m)19.6 m<sup>2</sup>。

表2 不同氮肥施用量处理

Table 2 Different treatments for nitrogen fertilizer application rates

处理 Treatment	T1	T2	T3	T4	T5(CK)
N肥(kg/hm <sup>2</sup> ) Nitrogen fertilizer (kg/ha)	45	90	135	180	-
尿素(kg/hm <sup>2</sup> ) Urea (kg/ha)	98	195	293	391	-

### 1.4 栽培管理

2014年4月22日播种, 10月2日收获, 采用平作出苗后起垄播种方式。于7月15日除草1次, 6月24日进行培土。播前整地施腐熟农家肥2 000 kg/667m<sup>2</sup>, 于7月5日喷烯酰吗啉、甲霜·锰锌等药剂防治晚疫病。

2015年4月20日播种, 9月30日收获, 采用平作出苗后起垄播种方式。播前整地施腐熟农家肥2 000 kg/667m<sup>2</sup>, 于7月12日喷烯酰吗啉、甲霜·锰锌等药剂防治晚疫病。

### 1.5 调查记载

气象数据: 试验所用的气象数据是由定西市农业科学院建立的微型气象站提供, 气象站是由Portlog便携式气象仪(美国)组成, 主要气象数据包括最高温度和最低温度(°C)、降雨量(mm)等。

生长指标调查: 在马铃薯现蕾期取样, 株高采用茎部到生长点的距离, 每小区随机选取5株进行测量, 取5次测量的平均值。

产量调查: 在马铃薯成熟期, 对每个处理的3个小区进行实测产量, 在测产过程中进行单株块茎数、单株薯块重的记载。每小区的薯块进行大小分级, 分别进行称重计数, 最后计算商品薯率(一季作

区单薯质量75 g(含)以上为商品薯)。

### 1.6 数据分析

试验数据利用GGE双标图分析软件(GGE-biplot v 7.7)<sup>[5]</sup>分析, 方差分析采用SPSS<sup>[6]</sup>统计分析软件。

GGE双标图与其他图解法相比, 具有一个独特的“内积原理”。即双向表中的每一个数值(元素)都可从图上直观得出, 因为其近似等于该数据所在行的向量长度、所在列的向量长度及行向量和列向量间夹角的余弦三者之积。由于这一特性, 任意两向表或矩阵, 只要能为一个2-D(二维)矩阵所近似, 就可以用一个2-D双标图来同时直观分析各行之间的关系、各列之间的关系和行与列之间的交互关系。

GGE双标图是综合品种总体效应(G)和品种 × 环境互作(GE)的数学模型, 由 $\zeta_{i1}$ ,  $\eta_{j1}$ 与 $\zeta_{i2}$ ,  $\eta_{j2}$ 组成, 多品种多环境试验产量一般可分解为:

$$Y_{ij} - \bar{Y}_j = \zeta_{i1}\eta_{j1} + \zeta_{i2}\eta_{j2} + \varepsilon_{ij}, \quad \zeta_{in} = \lambda_n^{\frac{1}{2}}\zeta_{in}^{\frac{1}{2}}, \quad \eta_{jn} = \lambda_n^{\frac{1}{2}}\eta_{jn}^{\frac{1}{2}}, \quad n=1, 2$$

$Y_{ij}$ 为基因型*i*在环境*j*中的产量,  $\bar{Y}_j$ 为所有基因型在环境*j*中的产量表现,  $\zeta_{i1}$ 与 $\zeta_{i2}$ 表示基因型*i*在PC1与PC2的得分,  $\eta_{j1}$ 与 $\eta_{j2}$ 表示基因型*j*在PC1与PC2的得分,  $\varepsilon_{ij}$ 为模型中的残差。

## 2 结果与分析

### 2.1 马铃薯产量与农艺性状

表3中, 在2014~2015年, 产量、单株薯块数、单株薯块质量、商品薯率在施用氮肥的处理下较对照有不同程度增加, 但是随着氮肥增加到一定程度出现下降趋势。

在2014~2015年, T2处理(N 90 kg/hm<sup>2</sup>)下的产量分别较对照CK处理增产60.99%和73.58%, 与对照CK差异达到极显著水平。在单株薯块数中, 2014年数据表示T2(N 90 kg/hm<sup>2</sup>)与T1(N 45 kg/hm<sup>2</sup>)、T3(N 135 kg/hm<sup>2</sup>)、对照CK在0.05水平上差异不显

著, 与T4(N 180 kg/hm<sup>2</sup>)差异达到显著水平; 在2015年中, 各处理与对照差异不显著。在单株薯块质量中, 2014年数据表示T2(N 90 kg/hm<sup>2</sup>)与T3(N 135 kg/hm<sup>2</sup>)、T4(N 180 kg/hm<sup>2</sup>)、对照CK差异达到极显著水平, 较对照CK增加60.99%, 而在2015年中T2(N 90 kg/hm<sup>2</sup>)与所有处理的差异性达到极显著水平。2014年中, T2(N 90 kg/hm<sup>2</sup>)的株高相对对照增高14.20%, 但差异性不显著, 在2015年中, T2(N 90 kg/hm<sup>2</sup>)株高与对照差异性达到显著水平。在商品薯率中, 在N肥施用量达到180 kg/hm<sup>2</sup>(T4)时, 商品薯率下降与T2(N 90 kg/hm<sup>2</sup>)差异达到显著水平。在表3中还可发现, 氮肥的施用量对于单株薯块数的影响较小。

表3 马铃薯产量及农艺性状在不同处理下的表现  
Table 3 Potato yield and agronomic trait performance under different treatments

表现 Performance		处理 Treatment				
		T1	T2	T3	T4	T5(CK)
产量(kg/19.6m <sup>2</sup> ) Yield	2014	57.12 abAB	66.15 aA	55.62 bAB	47.03 cBC	41.09 cC
	2015	51.00 bB	64.40 aA	52.00 bB	44.40 bcBC	37.10 cC
	平均 Average	54.06	65.27	53.81	45.71	39.05
单株薯块数(个) Number of tuber per plant (No.)	2014	5.16 abA	6.10 aA	3.86 abA	3.53 bA	5.00 abA
	2015	4.80 aA	5.20 aA	3.90 aA	3.50 aA	3.70 aA
	平均 Average	4.98	5.65	3.88	3.52	4.35
单株薯块质量(g) Average weight of tuber per plant	2014	571.20 abAB	661.50 aA	556.20 bB	470.30 cBC	410.90 cC
	2015	509.70 bB	614.20 aA	520.10 bB	443.70 bcBC	370.50 cC
	平均 Average	540.45	637.85	538.15	457.00	390.70
株高(cm) Plant height	2014	56.56 bcAB	60.30 abcAB	63.50 abAB	64.60 aA	52.80 cB
	2015	53.50 bB	60.60 aAB	61.80 aA	64.90 aA	53.50 bB
	平均 Average	55.03	60.45	62.65	64.75	53.15
商品薯率(%) Marketable tuber percentage	2014	73.06 abAB	81.40 aA	72.00 abAB	60.70 bB	60.50 bB
	2015	73.20 abA	80.80 aA	70.20 abA	63.40 bA	64.30 bA
	平均 Average	73.13	81.10	71.10	62.05	62.40

注: 同行平均值后不同小写字母表示0.05水平显著, 不同大写字母表示0.01水平显著。下同。

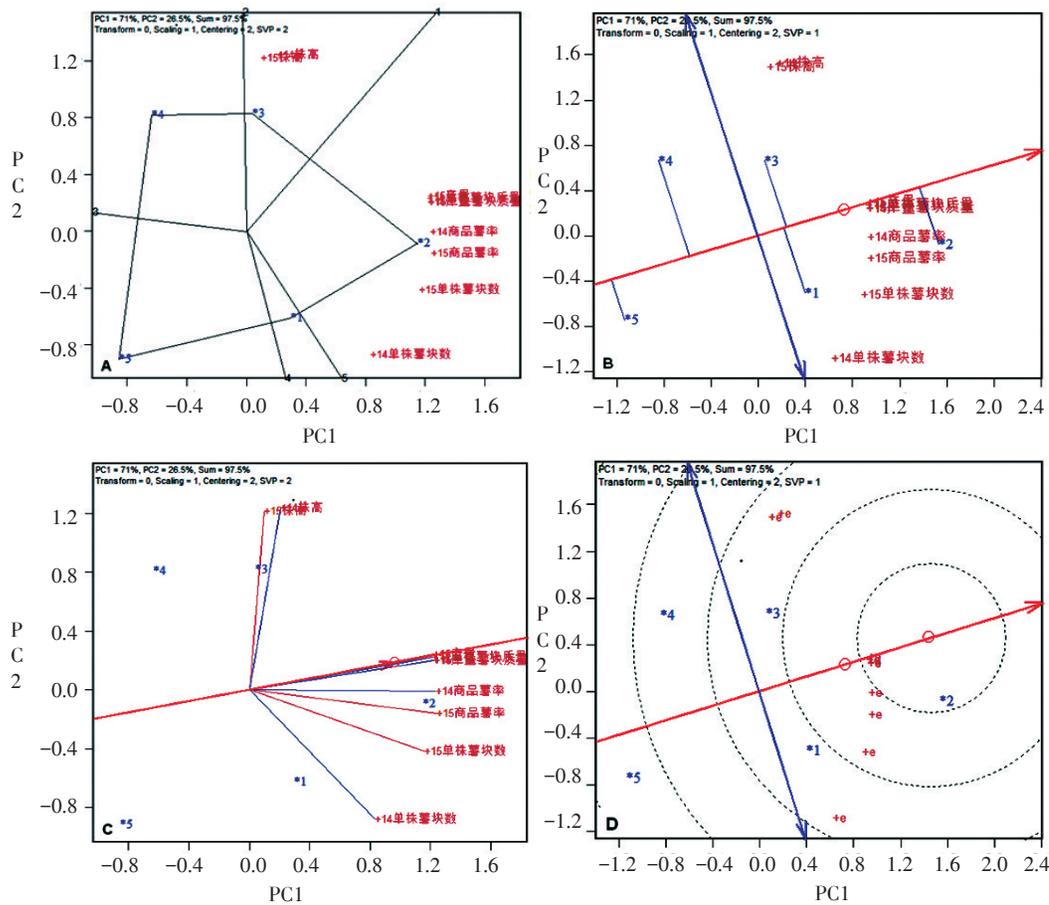
Note: Means in each row followed by different small and capital letters indicate significant difference at 0.05 and 0.01 levels of probability, respectively. The same below.

### 2.2 2014~2015年试验处理与农艺性状GGE双标图分析

图2A采用聚焦环境的特征值分配方法(SVP = 2), 多边形由连接同一方向上距离原点最远的试验处理而成, 把所有氮肥处理都框在其内, 通过原点的各边垂线把整个双标图分成几个扇形区, 并由此把产量及农艺性状分为不同的区域, 各区域内位于多边形顶角上的氮肥施用量恰好是相对应产量及农

艺性状下表现最好的氮肥用量。图2A中包含5个扇区, 在第1区中包含T3(N 135 kg/hm<sup>2</sup>), 株高; 在第2区中, T2(N 90 kg/hm<sup>2</sup>)在多边形的顶点, 该区域包括产量, 单株薯块质量, 单株薯块数, 商品薯率, 所以氮肥浓度为90 kg/hm<sup>2</sup>时产量最高及农艺性状表现最好, 第3、4、5区中没有出现处理与相关农艺性状。

在图2B中, 黑色带单箭头的横轴AEA(Average



1: N 45 kg/hm<sup>2</sup>; 2: N 90 kg/hm<sup>2</sup>; 3: N 135 kg/hm<sup>2</sup>; 4: N 180 kg/hm<sup>2</sup>; 5: CK 未施氮肥;

A: 基于GGE双标图分析氮肥处理对产量及性状的影响(2014~2015年);

B: GGE双标图分析氮肥处理的效应(2014~2015年);

C: GGE双标图分析农艺性状的代表性和区分力(2014~2015年);

D: 马铃薯肥料试验中理想氮肥量的选择(2014~2015年)。

1: N 45 kg/ha; 2: N 90 kg/ha; 3: N 135 kg/ha; 4: N 180 kg/ha; 5: CK;

A: Influence of nitrogen fertilizer treatments on potato yield and agronomic traits based on GGE-biplot analysis in 2014–2015;

B: Effects of nitrogen fertilizer treatments based on GGE-biplot analysis in 2014–2015;

C: Discrimination ability and representativeness of agronomic traits based on GGE-biplot analysis in 2014–2015;

D: Selection of ideal nitrogen fertilizer treatment in 2014–2015.

图2 2014~2015年试验处理与农艺性状GGE双标图分析

Figure 2 Fertilizer treatments and agronomic traits based on GGE-biplot analysis in 2014–2015

environment axis)代表各处理在产量及所有农艺性状下的影响程度,轴上的小圆圈代表“平均值”,小圆圈以右箭头方向表示影响程度越高。从图2B中可以看到T2(N 90 kg/hm<sup>2</sup>)在小圆圈的最右边,其影响程度最高,接着是T3(N 135 kg/hm<sup>2</sup>)、T1(N 45 kg/hm<sup>2</sup>)、T4(N 180kg/hm<sup>2</sup>)。纵轴(Average environment coordinate, AEC)代表各处理与各农艺性状相互作用的倾向性,处理越偏离平均轴越不稳定,而且具有负作用。所以,图2B中最不稳定的处理是T4(N 180 kg/hm<sup>2</sup>),而T3(N 135 kg/hm<sup>2</sup>)、T1(N 45 kg/hm<sup>2</sup>)影响作用则较稳定。

图2C中显示农艺性状的“区分力和代表性”。农艺性状向量与平均轴的角度是其对目标农艺性状代表性的度量,代表性与角度呈负相关,代表性随着角度变小而变强,随着角度变大而变弱。向量的长度代表其区分力,向量长度越长,表明农艺性状对各个处理的表现具有较强的区分能力。在图2C中,2014与2015年的产量,单株薯块质量,商品薯率与平均环境轴的夹角较小而且向量长度较长,对各处理差异的区分力和对目标农艺性状的代表性都较好,商品薯率,产量,单株薯块质量具有相同的向量长度,表明对各施肥处理具有相同的区分力,产量与单株薯块质量与平均环境轴的夹角近似相等,表明对农艺性状的代表性相同,综合分析各农艺性状区分能力与代表性,产量,单株薯块质量和商品薯率表现较好。

图2D采用聚焦氮肥处理的特征值分配方法(SVP=1),表示理想氮肥施用量的选择,以最佳氮肥量为圆心做多层同心圆,根据与最佳氮肥量的接近程度,GGE双标图对各个处理的效应优劣进行排序。越靠近同心圆中心,则表示该处理结果越准确,反之亦然。从图2D可见,T2(N 90 kg/hm<sup>2</sup>)靠近最小同心圆,说明其是综合表现最好的氮肥量;T4(N 180 kg/hm<sup>2</sup>),T5距离同心圆最远,表现相对较差。

### 3 讨论

中晚熟马铃薯块茎膨大初期主要集中在7月下旬到9月中旬,根据图1可知降雨量在2014年7、8、9月与2015年的差异较大,在试验年间,2014与2015年的环境条件对马铃薯的产量及农艺性状产生

不同程度的影响,在表3中可知,2014年的马铃薯产量,单株薯块数,单株薯块质量高于2015年,而且2年产量数据从整体上随氮肥施用浓度呈现相同变化趋势,根据图2可知,氮肥施用量为90 kg/hm<sup>2</sup>时,马铃薯的产量以及相关农艺性状达到最佳表现,而且单株薯块数,单株薯块质量,商品薯率在氮肥施用量为90 kg/hm<sup>2</sup>时表现较好,而氮肥施用量为180 kg/hm<sup>2</sup>或者超过180 kg/hm<sup>2</sup>时,植株呈现徒长,单株薯块质量减少,商品薯率降低,从而影响产量,而且可知GGE双标图不仅常用在区域试验中,而且在马铃薯肥料试验中GGE双标图能够帮助科研工作者客观、有效地分析肥料施用量的最佳效应,并且合理施氮可以提高马铃薯的产量。

氮元素直接影响着马铃薯的产量和品质,氮肥施用最佳时,产量会大幅提升,但氮肥施用量,地上部分徒长,结薯少,产量低,品质差<sup>[7-13]</sup>。在本试验中,试验设计5个处理,通过2年的试验结果分析中得知,氮肥达到90 kg/hm<sup>2</sup>时马铃薯产量达到最大,随着氮肥施用量的增加,产量及构成因素减少,商品薯率降低,植株徒长,当氮肥为180 kg/hm<sup>2</sup>时,产量显著下降,该试验结果与张炜等<sup>[14]</sup>的分析结果相近。

在试验数据分析中,许多科研工作者利用SPSS<sup>[6]</sup>,DPS<sup>[15]</sup>等分析软件对采集数据进行方差分析,在结果中能区分各个试验处理的差异性,找出最优的试验方案,但是当数据量较大时,需要花费大量的时间利用统计分析软件进行数据处理,而且处理过程中可能会出现各种误差。目前,对于大量的数据集,可以借助于图解法不但可以清晰分析因素之间的关系,而且可以把各因素间复杂的互作模式更加直观地表现出来。

GGE双标图目前在国内外各个地区的作物区域试验中广泛应用<sup>[16-22]</sup>,表现出极大的直观、便利性。原则上,GGE双标图广泛适用于所有二向数据资料的分析<sup>[23]</sup>。本文以氮肥用量×马铃薯性状构建了二维双标图,与二向数据列表分析相比较,充分展现出该分析方法的应用价值。表明GGE双标图可全面地显示二向数据表中的信息结果,将氮肥处理与性状变量间的各种关系直观地展现出来,并对原始数据提供了更多的解释。与传统数

据分析方法相比, 双标图法为提高马铃薯产量构成因素的最大组合效应提供了有效解决方案, 为研究不同氮肥用量下马铃薯生长状况和产量反应提供了新的分析手段。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] Yan W, Hunt L A. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on GGE biplot [J]. *Crop Science*, 2000, 40(3): 597-605.
- [ 2 ] Yan W, Holland J B. A heritability-adjusted GGE biplot for test environment evaluation [J]. *Euphytica*, 2010, 171(3): 355-369.
- [ 3 ] 尚国霞, 王瑞, 李加纳, 等. 甘蓝型油菜油酸配合力的双标图分析 [J]. *植物遗传资源学报*, 2010, 11(5): 566-572.
- [ 4 ] 尚毅, 李少钦, 李殿荣, 等. 用双标图分析油菜双列杂交 [J]. *作物学报*, 2006, 32(2): 243-248.
- [ 5 ] 严威凯. 双标图分析在农作物品种多点试验中的应用 [J]. *作物学报*, 2010, 36(11): 1805-1819.
- [ 6 ] 陈四龙, 李玉荣, 程增书, 等. 用GGE双标图分析种植密度对高油花生生长和产量的影响 [J]. *作物学报*, 2009, 35(7): 1328-1335.
- [ 7 ] 徐向宏, 何明珠. 试验设计与 Design-Expert、SPSS 应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [ 8 ] 王敬洋. 氮肥用量不同对马铃薯产量和品质的影响 [J]. *北京农业*, 2013(A10): 30.
- [ 9 ] 黄继川, 彭智平, 于俊红, 等. 不同氮肥用量对冬种马铃薯产量、品质和氮肥利用率的影响 [J]. *热带作物学报*, 2014, 35(2): 266-270.
- [ 10 ] 李剑, 张崇玉. 毕节市马铃薯氮肥不同施用水平试验初报 [J]. *南方农业*, 2013, 7(5): 32-34.
- [ 11 ] 王秀春. 不同施氮量对马铃薯的影响 [J]. *中国马铃薯*, 1994, 8(2): 76-80.
- [ 12 ] 朱勇臣, 王海燕, 李成虎. 氮肥不同施用量对马铃薯产量的影响研究 [J]. *中国农技推广*, 2011, 27(4): 38-39.
- [ 13 ] 梁宁珠. 不同氮肥施用量与施肥方式对冬种马铃薯产量的影响 [J]. *中国园艺文摘*, 2013, 29(7): 26-28.
- [ 14 ] 张伟, 杨德桦, 黄小箐, 等. 氮肥用量对襄阳地区马铃薯产量、品质和经济效益的影响 [J]. *中国土壤与肥料*, 2016(1): 72-76.
- [ 15 ] 唐启义. DPS 数据处理系统: 实验设计、统计分析及数据挖掘 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [ 16 ] 张志芬, 付晓峰, 刘俊青, 等. 用GGE双标图分析燕麦区域试验品系产量稳定性及试点代表性 [J]. *作物学报*, 2010, 36(8): 1377-1385.
- [ 17 ] 周长军, 田中艳, 李建英, 等. 双标图法分析大豆多点试验中品系产量稳定性及试点代表性 [J]. *大豆科学*, 2011, 30(2): 318-321.
- [ 18 ] 罗俊, 张华, 邓祖湖, 等. 应用GGE双标图分析甘蔗品种的产量和品质性状 [J]. *作物学报*, 2013, 39(1): 142-152.
- [ 19 ] 常磊, 柴守玺. GGE 双标图在我国旱地春小麦稳产性分析中的应用 [J]. *中国生态农业学报*, 2010, 18(5): 988-994.
- [ 20 ] 柴守玺, 常磊, 杨蕊菊, 等. 小黑麦基因型与环境互作效应及产量稳定性分析 [J]. *核农学报*, 2011, 25(1): 155-161.
- [ 21 ] Ezatollah F, Reza M, Mostafa A, *et al.* GGE biplot analysis of genotype  $\times$  environment interaction in wheat-barley disomic addition lines [J]. *Australian Journal of Crop Science*, 2012, 6(6): 1074-1079.
- [ 22 ] Fekadu G, Ersulo, Asrat A, *et al.* GGE-biplot analysis of grain yield of faba bean genotypes in southern Ethiopia [J]. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 2012, 3(3): 898-907.
- [ 23 ] Yan W K, Hunt L A. Biplot analysis of diallel data [J]. *Crop Science*, 2002, 42(1): 21-30.