

# 西瓜产量与养分含量的灰色关联度和通径分析<sup>①</sup>

蔡树美<sup>1</sup>, 诸海焘<sup>1</sup>, 余廷园<sup>1</sup>, 田吉林<sup>2\*</sup>

(1 上海市农业科学院生态环境保护研究所, 上海 201403; 2 上海市农业委员会, 上海 200003)

**摘要:** 采用灰色关联度分析和通径分析法, 对设施西瓜养分含量与产量进行了分析。通径分析结果表明, 西瓜各器官养分含量对产量贡献率大小依次为: 茎 K > 叶 P > 瓜 N > 叶 K > 瓜 K > 叶 N > 茎 N > 茎 P > 瓜 P。灰色关联分析的结果表明, 影响西瓜产量的各养分含量因子的重要性排序为: 茎 K > 瓜 K > 叶 N > 瓜 N > 茎 P > 茎 N > 叶 K > 瓜 P > 叶 P。试验中通径分析得到的贡献率大小及次序与灰色关联分析得到的关联度有所不同, 但两种方法均显示茎 K 对产量的贡献最大、关联性最强; 同时, 瓜 P 对产量的直接负向效应最大, 对产量的关联度较小。表明生产中可将提高西瓜茎中钾积累量和控制瓜中磷积累量作为西瓜增产的一个重要参考指标。

**关键词:** 养分含量; 灰色关联; 通径分析; 关联度

**中图分类号:** S143.1

西瓜(*Citrullus lanatus*)是葫芦科西瓜属一年生蔓性草本植物。近年来, 随着优良品种的不断推出和栽培技术的逐步提升, 西瓜在我国各地的种植面积日益扩大, 尤其是在一些城郊地区, 西瓜已成为农民种植的主要经济作物之一<sup>[1]</sup>。研究表明西瓜枝蔓繁茂、生长迅速、需肥量大, 整个生育期对氮、磷、钾的吸收中, 以钾最多, 氮次之, 磷最少<sup>[2–4]</sup>。然而, 目前西瓜生产中仍存在很大的施肥盲目性, 施肥量不当、氮磷钾配比不合理等问题影响着西瓜的产量和品质。国内外学者在矿质营养对西瓜的生长发育、产量和品质的影响多集中在需肥规律及产量与施肥量之间的关系上<sup>[5–8]</sup>, 但有关矿质养分与西瓜产量的定性、定量关系探索, 还很少见到系统报导。本文在不同氮、磷、钾养分水平下, 通过对西瓜各器官养分含量与产量的通径分析和灰色关联度分析, 明确其影响西瓜产量因素的主次关系, 筛选出影响西瓜产量的主要养分因子, 为设施西瓜高产栽培提供科学依据和理论指导。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料与条件

试验于 2011 年 7—11 月在上海金山区漕泾县西瓜基地塑料大棚内进行, 大棚长 28.5 m, 宽 6.3 m。2011 年 7 月 10 日育苗, 采用地膜栽培方式, 选择均匀一致的苗进行试验。株距 60 cm, 行距 100 cm, 每

小区 50 株, 每小区面积 22.5 m<sup>2</sup>。供试西瓜品种为“早佳 8424”。试验地土壤养分条件为: 有机质 18.8 g/kg, 全氮 1.25 g/kg, 碱解氮 75.0 mg/kg, 速效磷 48.0 mg/kg, 速效钾 180 mg/kg, pH 6.85。

### 1.2 试验处理

试验结合当地农民施肥习惯, 共设置 7 个处理, 分别为: ①T1: CK; ②T2: N<sub>8</sub>P<sub>7</sub>K<sub>14</sub>; ③T3: N<sub>10</sub>P<sub>7</sub>K<sub>14</sub>; ④T4: N<sub>12</sub>P<sub>7</sub>K<sub>14</sub>; ⑤T5: N<sub>8</sub>P<sub>7</sub>K<sub>16</sub>; ⑥T6: N<sub>10</sub>P<sub>7</sub>K<sub>16</sub>; ⑦T7: N<sub>12</sub>P<sub>7</sub>K<sub>16</sub>, 折算成纯养分量 N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O(kg/hm<sup>2</sup>) 分别为: 0-0-0、120-105-210、150-105-210、180-105-210、120-105-240、150-105-240、180-105-240。每处理 3 次重复, 共 21 个小区, 完全随机化排列。所有施肥处理氮肥和钾肥 60% 作基肥(尿素、过磷酸钙和硫酸钾)于 7 月 17 日条施, 40% 作追肥(硝酸钾)分别在坐果期 9 月 29 日和果实生长盛期 10 月 8 日两次追施; 全部磷肥于移栽前一次性作基肥施用。

### 1.3 测定方法

11 月 3 日在西瓜成熟期进行采收。根据每小区结瓜个数和单瓜重, 计算每小区西瓜产量, 并取西瓜地上部带回实验室分别测定茎、叶、瓜中养分含量。采用土壤农业化学常规分析方法测定植株各器官干物质养分含量<sup>[9]</sup>。

### 1.4 统计方法

试验选取茎中氮含量茎 N(X<sub>1</sub>, 下同)、叶 N(X<sub>2</sub>)、

①基金项目: 上海市科技兴农重大项目(沪农科重字[2011]第 1-3 号)、上海市农科院青年基金项目(QJ18)和上海市西瓜甜瓜产业技术体系项目资助。

\* 通讯作者(jltian69@yahoo.com.cn)

作者简介: 蔡树美(1984—), 女, 江苏溧阳人, 博士, 助理研究员, 主要从事植物营养与环境的研究。E-mail: caishumei@saas.sh.cn

瓜 N(X3)、茎 P(X4)、叶 P(X5)、瓜 P(X6)、茎 K(X7)、叶 K(X8)、瓜 K(X9) 作为西瓜主要养分因子, 各单项指标对产量(Y)的单相关系数、直接通径系数和间接通径系数的计算分析采用 DPS 软件实现。

灰色关联分析在 DPS 主界面菜单下选择“其他方法-灰色系统分析-关联度分析”功能项。执行灰色关联分析时, 按系统提示数据转化方式选择标准化, 输入母序列个数为 1, 分辨系数取 0.1, 参数  $\Delta_{\min}$  的取值根据各个数据序列各个时刻的绝对差值的比较确定令  $\Delta_{\min}$  不为 0。

2 结果与分析

2.1 西瓜各器官养分含量和产量的统计分析

为了解西瓜各器官养分含量和产量的动态水平, 分析了不同施肥处理下西瓜各器官养分含量和产量, 并计算了其平均值和变异系数(表 1、表 2)。由表中可见, 西瓜产量平均值为 45 542 kg/hm<sup>2</sup>, 变异系数为 19.7%, 极差为 28 278 kg/hm<sup>2</sup>; 各器官养分含量高低依次为: 瓜 K > 叶 N > 瓜 N > 茎 K > 茎 N > 叶 K > 瓜 P > 叶 P > 茎 P。

表 1 不同施肥处理对西瓜产量和植株养分含量的影响  
Table 1 Effects of fertilization treatments on yield and nutrient content of watermelon

| 施肥处理 | 西瓜产量<br>(kg/hm <sup>2</sup> ) | 养分含量(g/kg) |         |          |         |        |        |          |         |          |
|------|-------------------------------|------------|---------|----------|---------|--------|--------|----------|---------|----------|
|      |                               | 茎 N        | 叶 N     | 瓜 N      | 茎 P     | 叶 P    | 瓜 P    | 茎 K      | 叶 K     | 瓜 K      |
| T1   | 25 584 b                      | 17.34 a    | 29.03 e | 28.56 bc | 1.97 a  | 2.98 c | 4.30 c | 14.78 e  | 8.87 d  | 38.86 e  |
| T2   | 48 583 a                      | 18.24 a    | 24.10 f | 36.55 a  | 1.78 bc | 2.78 e | 4.76 a | 26.33 b  | 14.76 a | 54.20 a  |
| T3   | 47 528 a                      | 18.30 a    | 33.83 a | 26.63 cd | 1.93 ab | 3.17 b | 4.54 b | 25.38 bc | 9.94 c  | 45.68 b  |
| T4   | 47 510 a                      | 18.35 a    | 30.05 d | 29.45 b  | 1.68 c  | 2.77 e | 4.19 c | 20.36 d  | 14.52 a | 44.45 bc |
| T5   | 46 945 a                      | 18.48 a    | 31.43 c | 29.27 b  | 1.74 c  | 3.39 a | 4.95 a | 26.09 b  | 9.92 c  | 42.59 cd |
| T6   | 53 862 a                      | 17.26 a    | 30.60 d | 23.46 e  | 1.66 c  | 2.99 c | 3.50 d | 24.59 c  | 7.17 e  | 41.85 d  |
| T7   | 48 780 a                      | 18.34 a    | 32.01 b | 24.72 de | 1.77 c  | 2.87 d | 4.18 c | 28.46 a  | 12.92 b | 42.50 cd |

注: 表中同列数据小写字母不同表示处理间差异达到  $P<0.05$  显著水平。

表 2 西瓜各器官养分含量与产量的描述性统计分析与方差分析  
Table 2 Descriptive statistics and ANOVA between nutrient contents for different watermelon organs and yields

| 因子  | 平均值    | 极差    | 变异系数(%) | F 值      |      |
|-----|--------|-------|---------|----------|------|
|     |        |       |         | 处理间      | 重复间  |
| 茎 N | 18.04  | 1.22  | 3.2     | 1.33     | 3.85 |
| 叶 N | 30.15  | 9.72  | 10.2    | 282.29** | 1.37 |
| 瓜 N | 28.38  | 13.08 | 15.0    | 41.21**  | 0.38 |
| 茎 P | 1.79   | 0.31  | 6.8     | 5.06**   | 1.27 |
| 叶 P | 2.99   | 0.62  | 7.5     | 81.77**  | 1.10 |
| 瓜 P | 4.35   | 1.45  | 11.0    | 43.29**  | 0.76 |
| 茎 K | 23.71  | 13.68 | 19.6    | 174.42** | 1.32 |
| 叶 K | 11.16  | 7.59  | 32.3    | 258.46** | 2.11 |
| 瓜 K | 44.30  | 15.34 | 12.2    | 39.24**  | 0.20 |
| 产量  | 45 542 | 28278 | 19.7    | 9.25**   | 0.32 |

注: 西瓜各器官养分含量单位为 g/kg, 产量单位为 kg/hm<sup>2</sup>; \* 和 \*\* 分别表示差异在  $P<0.05$  和  $P<0.01$  水平显著, 下表同。

方差分析结果表明, 7 个不同施肥处理间, 除了茎 N 之外, 其他养分因子差异均达极显著水平, 重复间差异未达显著水平。说明各器官养分含量、产量的差异主要由施肥水平不同而引起。

2.2 西瓜各器官养分含量对产量的通径分析

2.2.1 养分含量与产量间的相关分析 表 3 显示, 各器官养分含量与产量的相关程度为: 茎 K(0.73)>茎 P(-0.54)>瓜 K(0.37)>茎 N(0.22)>叶 K(0.19)>瓜 P(-0.18)>叶 N、瓜 N(0.10、-0.10)>叶 P(-0.02)。其

中, 茎 P、瓜 P、瓜 N、叶 P 与产量为负相关, 以茎 K、茎 P 和瓜 K 与产量的关系最密切, 茎 N 处于第 4, 其他养分因子与产量的关系较小。各器官养分含量之间也存在相关性。其中, 叶 N 和瓜 N、瓜 P、叶 P、叶 K, 瓜 N 和瓜 K、瓜 P、叶 K, 叶 P 和叶 K, 茎 K 和瓜 K, 叶 K 和瓜 K 之间相关性达到显著水平。

2.2.2 养分含量对产量的通径分析 表 4 通过逐步回归, 经相关系数的计算和分解, 得出直接通径系数和间接通径系数。通径分析结果表明, 各器官养分

表 3 西瓜养分含量与产量的相关系数矩阵  
Table 3 Correlation matrix between nutrient content and yield of watermelon

|    | X1    | X2      | X3      | X4      | X5      | X6     | X7     | X8      | X9      | Y       |
|----|-------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|
| X1 | 1.000 | 0.060   | 0.170   | 0.000   | 0.080   | 0.360  | 0.250  | 0.390   | 0.240   | 0.220   |
| X2 | 0.060 | 1.000   | -0.79** | 0.080   | 0.53*   | -0.180 | 0.150  | -0.45*  | -0.60** | 0.100   |
| X3 | 0.170 | -0.79** | 1.000   | 0.080   | -0.250  | 0.61** | -0.050 | 0.61**  | 0.71**  | -0.100  |
| X4 | 0.000 | 0.080   | 0.080   | 1.000   | 0.150   | 0.270  | -0.320 | -0.130  | -0.110  | -0.54** |
| X5 | 0.080 | 0.53*   | -0.250  | 0.150   | 1.000   | 0.360  | 0.150  | -0.60** | -0.330  | -0.020  |
| X6 | 0.360 | -0.180  | 0.61**  | 0.270   | 0.360   | 1.000  | 0.170  | 0.370   | 0.400   | -0.180  |
| X7 | 0.250 | 0.150   | -0.050  | -0.320  | 0.150   | 0.170  | 1.000  | 0.230   | 0.44*   | 0.73**  |
| X8 | 0.390 | -0.45*  | 0.61**  | -0.130  | -0.60** | 0.370  | 0.230  | 1.000   | 0.64**  | 0.190   |
| X9 | 0.240 | -0.60** | 0.71**  | -0.110  | -0.330  | 0.400  | 0.44*  | 0.64**  | 1.000   | 0.370   |
| Y  | 0.220 | 0.100   | -0.100  | -0.54** | -0.020  | -0.180 | 0.73** | 0.190   | 0.370   | 1.000   |

表 4 西瓜养分含量对产量的通径分析  
Table 4 Path coefficient analysis between nutrient content and yield of watermelon

| 作用因子 | 直接作用  | 间接作用 |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      |       | →X1  | →X2   | →X3   | →X4   | →X5   | →X6   | →X7   | →X8   | →X9   |
| X1   | 0.11  |      | 0.01  | 0.05  | 0.00  | 0.03  | -0.27 | 0.13  | 0.10  | 0.06  |
| X2   | 0.18  | 0.01 |       | -0.25 | -0.01 | 0.22  | 0.14  | 0.08  | -0.12 | -0.14 |
| X3   | 0.31  | 0.02 | -0.14 |       | -0.02 | -0.10 | -0.47 | -0.03 | 0.16  | 0.17  |
| X4   | -0.20 | 0.00 | 0.01  | 0.03  |       | 0.06  | -0.21 | -0.17 | -0.04 | -0.03 |
| X5   | 0.41  | 0.01 | 0.09  | -0.08 | -0.03 |       | -0.28 | 0.08  | -0.16 | -0.08 |
| X6   | -0.76 | 0.04 | -0.03 | 0.19  | -0.05 | 0.15  |       | 0.09  | 0.10  | 0.10  |
| X7   | 0.53  | 0.03 | 0.03  | -0.02 | 0.06  | 0.06  | -0.13 |       | 0.06  | 0.11  |
| X8   | 0.27  | 0.04 | -0.08 | 0.19  | 0.03  | -0.25 | -0.28 | 0.12  |       | 0.15  |
| X9   | 0.24  | 0.03 | -0.11 | 0.22  | 0.02  | -0.13 | -0.30 | 0.23  | 0.17  |       |

注：决定系数  $R^2 = 0.772$ ，剩余通径系数 = 0.478。

含量对产量直接贡献的大小依次为茎 K、叶 P、瓜 N、叶 K、瓜 K、叶 N、茎 N、茎 P、瓜 P。9 个养分因子对产量的共同作用的决定系数(直接系数的平方)为 0.772，即 9 个养分因子对产量的作用占 77.2%。剩余通径系数为 0.478，表明除这些养分因子外，其他因子对产量的直接效应也有很大影响。

直接通径系数表明了各器官养分含量对产量的直接影响程度，从表 4 中直接通径系数值可以看出，西瓜产量主要与茎 K、叶 P、瓜 N 等呈正关联，与茎 P、瓜 P 呈负关联。

间接通径系数表明各单因素通过其他各因素对产量的影响程度，通过对表 4 的分析可知：①茎 N 通过瓜 P 对产量的负向间接效应最大，通过茎 K 对产量的间接影响和直接对产量的影响次之；②叶 N 通过瓜 N 对产量的负向间接效应最大，通过叶 P 对产量的间接影响和直接对产量的影响次之；③瓜 N 通过瓜 P 对产量的负向间接效应最大，对产量的直接影响次之，通过茎 P 对产量的间接效应最小；④茎 P 通过瓜 P 对产量的负向间接效应最大，对产量的直接

影响次之，通过茎 N 对产量的间接效应最小；⑤叶 P 对产量的直接影响最大，通过瓜 P 对产量的间接效应次之，通过茎 N 对产量的间接效应最小；⑥瓜 P 对产量的直接负向效应最大，通过瓜 N 对产量的间接效应次之；⑦茎 K 对产量的直接影响最大，通过瓜 P 对产量的负向间接效应次之；⑧叶 K 通过瓜 P 对产量的负向间接效应最大，直接对产量的影响次之；⑨瓜 K 通过瓜 P 对产量的负向间接效应最大，直接对产量的影响次之。

综上所述，西瓜各器官养分含量对产量都有不同程度的影响，且该影响分别由直接影响和间接影响组成，主要表现为直接通径系数和间接通径系数。对于茎 K 和瓜 P 而言，其直接通径系数分别达 0.53 和 -0.76，因此，生产中可通过提高西瓜茎中钾含量或控制瓜中磷含量等途径来实现温室小型西瓜高产。

2.3 西瓜各器官养分含量对产量的灰色关联分析

依据灰色关联分析原理，将各观测序列作无量纲化处理，使之统一化。本文采用均值化处理法。由表 5 中灰色系统关联度分析结果来看，西瓜各器官养分

表 5 西瓜养分含量与产量的关联度及位序  
Table 5 Grey correlation and sequence between nutrient content and yield of watermelon

| 养分含量          | X1    | X2    | X3    | X4    | X5    | X6    | X7    | X8    | X9    |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 关联度 $G(1, n)$ | 0.397 | 0.472 | 0.450 | 0.423 | 0.369 | 0.393 | 0.578 | 0.395 | 0.474 |
| 位序            | 6     | 3     | 4     | 5     | 9     | 8     | 1     | 7     | 2     |

含量对产量之间的关联度第一位是茎 K，其次是瓜 K、叶 N、瓜 N，再其次是茎 P、茎 N、叶 K，最后是瓜 P、叶 P。这一关联序列表明，影响西瓜产量的养分因子中钾素的作用总体上大于氮素和磷素，磷素对西瓜产量的影响作用最小。

3 讨论

在我国大棚西瓜生产中存在着诸多问题，其中一个很突出的问题就是施肥问题<sup>[10]</sup>。要做到西瓜施肥的合理高效，应该首先了解西瓜的需肥规律。西瓜与其他作物一样在生长发育过程中需要吸收氮、磷、钾等营养元素，但是西瓜对营养元素的吸收又有其特别之处。西瓜在整个生育期中，对氮、磷、钾的吸收，以钾最多，氮次之，磷最少。有研究表明，西瓜在生长发育阶段，对氮、磷、钾的分配中心也有所不同，营养生长阶段的养分分配中心是叶，生殖生长阶段的养分分配中心是果实，而西瓜的根部在整个生长发育时期分得的养分较少<sup>[11]</sup>。本研究结果表明，不同肥料配比影响着西瓜不同器官对养分的吸收和分配量，从而影响西瓜产量。通过灰色关联度分析和通径分析，发现西瓜各器官养分含量对产量的贡献率各不相同，与产量的关联度也不尽相同。茎中钾的积累量对产量的贡献最大、关联性最强，而瓜中磷的积累量对产量的直接负向效应最大，与产量的关联性弱。

钾素是作物生长必不可少的营养元素，关系到多种酶体系的活化，以离子状态存在于植物体内，具有高渗性，可以流动和再利用，参与植物体的各种代谢过程，能使植株茎秆粗壮，能提高果实的 Vc 和糖分含量，从而提高果实品质<sup>[12]</sup>。本研究结果显示，西瓜茎中钾的积累量对产量的贡献最大。从植物营养器官结构来看，西瓜茎的解剖特征是双韧维管，维管束内具有内韧皮部和外韧皮部，输导组织比较发达，对水分和营养有强大的输送能力<sup>[13]</sup>。在茎中积累的钾素，可以通过韧皮部导管向叶片和果实运输，供叶片蒸腾、光合作用及果实生长需要。从矿质养分的生理功能来看，钾离子在合成代谢中具有促进韧皮部运输的功能，钾离子的吸收和积累能促进蔗糖、淀粉和蛋白质合成，从而促进同化物从源到库的运输；此外，钾沿着韧皮部运输途径调节膨压，也可促进溶质在筛管中的运输<sup>[14-15]</sup>。由此可见，在西瓜的整个生育期

都要保证西瓜钾素的有效供给水平，尤其是在果实膨大期和变瓤期，这两个阶段是西瓜营养的最大效率期<sup>[16]</sup>，需要的养分绝对数量最多、肥料的作用最大、增产效率最高，在此阶段追施钾肥，可以促进同化物向果实运输和积累，这对西瓜增产和品质提升至关重要。

黎其万等<sup>[17]</sup>对小型西瓜的研究结果表明随着西瓜的生长发育，西瓜植株的茎、叶中磷的含量逐渐减少，果实中磷的含量逐渐积累，认为在西瓜的生长中后期保证磷肥的足量供应，对于提高西瓜产量和品质具有重要作用。在本研究中，随着磷肥用量的增加，西瓜的产量并没有随之提高。这可能与试验地土壤的供磷能力、施磷水平和供试西瓜品种不同有关。陈钢等<sup>[1]</sup>的研究认为在 0 ~ 150 kg/hm<sup>2</sup> 的范围内随着磷用量的增加，施用磷肥能增加西瓜的产量，超过这一施磷范围，西瓜产量出现下降。本研究中，通过养分含量对产量的通径分析发现，在西瓜成熟期果实中磷的积累量对产量存在着显著的直接负向效应，表明在供磷充足的情况下，减少西瓜生殖生长后期磷肥用量、注意磷肥的适量施用，对果实产量的提高具有积极的意义。

4 结论

(1) 试验西瓜各器官养分含量与产量的相关性分析结果显示，各主要养分因子中，与产量的相关程度依次为：茎 K > 茎 P > 瓜 K > 茎 N > 叶 K > 瓜 P > 叶 N、瓜 N > 叶 P。

(2) 试验西瓜养分含量与产量的通径分析结果表明，西瓜各器官养分含量对产量贡献率大小依次为：茎 K > 叶 P > 瓜 N > 叶 K > 瓜 K > 叶 N > 茎 N > 茎 P > 瓜 P。

(3) 试验西瓜养分含量对产量的灰色关联分析结果表明，影响西瓜产量的各养分因子的重要性排序为：茎 K > 瓜 K > 叶 N > 瓜 N > 茎 P > 茎 N > 叶 K > 瓜 P > 叶 P。

(4) 试验通径分析中得到的直接贡献率大小及次序与相关性分析、灰色关联分析得到的关联度有所不同，但茎 K、瓜 K 和瓜 N 均为重要的养分因子，对提高果实产量起重要作用。

(5) 本试验综合通径分析和灰色关联度分析的

结果,得出在上海南部地区的大棚栽培条件下,要想获得西瓜高产,应重点考虑提高西瓜茎中钾积累量和控制瓜中磷积累量,同时注意兼顾其他养分因子和栽培管理措施。

#### 参考文献:

- [1] 陈钢, 吴礼树, 李煜华, 张利红, 杜念华. 不同供磷水平对西瓜产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6): 1 189–1 192
- [2] 朱洪勋, 张翔, 沈阿林, 孙春河. 西瓜需肥特点与平衡施肥研究[J]. 园艺学报, 1996, 23(2): 145–149
- [3] 张玉凤, 董亮, 刘兆辉, 陈广思, 李彦, 张培萃. 不同肥料用量和对比对西瓜产量、品质及养分吸收的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(4): 765–769
- [4] 马忠明, 杜少平, 薛亮, 冯守疆. NPK 养分配比与 NAM 长效剂对旱砂田西瓜生长、品质和养分利用的影响[J]. 核农学报, 2013, 27(3): 358–364
- [5] Hendricks GS, Shukla S. Water and nitrogen management effects on water and nitrogen fluxes in Florida Flatwoods[J]. Journal of Environmental Quality, 2011, 40(6): 1 844–1 856
- [6] 赵卫星, 常高正, 徐小利, 李秀后, 李晓慧, 杨帆. 测土配方施肥在西瓜上的应用效果[J]. 果树学报, 2010, 27(5): 828–832
- [7] 赵卫星, 徐小利, 刘喜存, 常高正, 李晓慧, 梁慎. 肥水耦合对西瓜生长、产量和品质的影响[J]. 果树学报, 2013, 30(4): 639–643
- [8] 李云祥, 王光英, 万兵全, 刘谦. 甘肃中部地区砂田西瓜平衡施肥效应及效益研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(2): 453–455
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 22–24
- [10] 宋永林. 西瓜的施肥与营养失调的矫正[J]. 北京农业, 2009(7): 16–17
- [11] 邵占宏, 李宗圈, 王位安, 赵红现, 王现霖, 崔振光, 祖耀廷. 高产优质西瓜对氮、磷、钾的吸收及分配规律[J]. 华北农学报, 1996, 11(3): 112–116
- [12] 沈国志, 黄云, 黎德川, 勾千东. 钾素营养对农作物品质影响的研究进展[J]. 河北农业科学, 2008, 12(6): 46–48
- [13] 谭敦炎, 田允温, 林德佩, 冯晓琴. 西瓜营养器官解剖学研究[J]. 八一农学院学报, 1995, 18(3): 15–20
- [14] Komor E. Source physiology and assimilate trans-port: The interaction of sucrose metabolism, starch storage and phloem export in source leaves and the effects on sugar status in phloem[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 2000, 27(6): 497–505
- [15] Turgeon R. Plasmodesmata and solute exchange in the phloem[J]. Australian Journal of Plant Physiology, 2000, 27(6): 521–529
- [16] 陈钢, 王宏太, 丁萌, 周谟兵, 吴文辉, 杨皓琼. 西瓜矿质营养与施肥研究综述[J]. 长江蔬菜, 2006(3): 37–39
- [17] 黎其万, 汪禄祥, 刘振国, 李绍平, 钱均祥, 谭海燕. 小型西瓜不同生长发育期对氮、磷、钾的吸收及分配[J]. 西南农业学报, 2006, 19(5): 838–841

## Grey Correlation Analysis and Path Coefficient Analysis Between Nutrient Content and Yield of Watermelon

CAI Shu-mei<sup>1</sup>, ZHU Hai-tao<sup>1</sup>, YU Ting-yuan<sup>1</sup>, TIAN Ji-lin<sup>2\*</sup>

(1 Institute of Eco-Environment and Plant Protection, Shanghai Academy of Agricultural Science, Shanghai 201403, China;

2 Shanghai Municipal Agricultural Commission, Shanghai 200003, China)

**Abstract:** The data of nutrient content and yield of watermelon were used to conduct grey correlation analysis (GRA) and path coefficient analysis (PCA). The PCA results showed that the direct contribution rate of nutrient content for different watermelon organ to the yield was ranked in order of Stem K > Leaf P > Fruit N > Leaf K > Fruit K > Leaf N > Stem N > Stem P > Fruit P. The GRA results indicated that the order of the importance among all nutrient content factors was ranked as Stem K > Fruit K > Leaf N > Fruit N > Stem P > Stem N > Leaf K > Fruit P > Leaf P. In the experiment, the direct effects from GRA and PCA differed in the size and order. However, for both of the two analytical methods, Stem K played the most important role in improving yield of watermelon, while Fruit P showed the opposite influence and showed the greatest direct negative effects on yield among all main nutrient content factors. Therefore it is helpful to improve yield of watermelon through enhancing potassium accumulation rate in stem and reducing phosphorus accumulation in fruit properly.

**Key words:** Nutrient content, Grey correlation analysis, Path coefficient analysis, Correlation degree