

209-213

S153.62

## 土壤剖面不同粒级中氨基酸组成特征 S152.32

施书莲 周克瑜 杨文醒

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

**摘 要** 本文研究了黑钙土、暗棕壤和红壤性水稻土剖面不同粒级中的氨基酸组成。结果表明,水解液中氨基酸氮含量均以粘粒为最高,其次为粉粒,而砂粒中最低。各粒级中的氨基酸含量均随粒径增大而降低。它们有相似的氨基酸组成。组成中均以甘氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、亮氨酸和异亮氨酸等的相对含量较高。剖面各粒级中的酸性、碱性和中性氨基酸分别变动在 19.0—28.0%、6.2—10.4% 和 62.9—72.3%。剖面粒级中个别氨基酸,如  $\gamma$ -氨基酸的相对含量一致地由表面向底层增高,含硫氨基酸有类似的变化趋势,这是否与底层生物活性较弱有关,需进一步研究。

**关键词** 土壤剖面; 不同粒级; 氨基酸

组成特征

土壤氮素是作物氮素营养的主要给源,无论是高产水稻、大麦或小麦,其所吸收的氮素中,约有 45—50% 均来自土壤氮素<sup>[1]</sup>。氨基酸是土壤中已知的主要含氮化合物,绝大部分以结合态存在。国内外研究者对表层土壤中的氮素形态分布及其氨基酸组成进行了大量工作<sup>[2-7]</sup>,但对土壤剖面不同层次中各个氨基酸的分布状况还知道得很少,而剖面各层次不同粒级中氨基酸组成,国内尚未见报道。为此,我们采集了黑钙土、暗棕壤和红壤性水稻土三个剖面,研究了其各层次不同粒级中的氨基酸组成。

## 1 样品和方法

### 1.1 样品

供试土壤样品分别采自内蒙和江西,其全氮含量及其氮素形态分布见表 1。

表 1 土壤剖面中全氮含量及其氮素形态分布(占全氮%)

| 土壤类型 | 采集深度 (cm) | 全氮 (g/kg) | 水解性 N                  |       |       |       |       | 非水解性-N |
|------|-----------|-----------|------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
|      |           |           | $\text{NH}_4\text{-N}$ | 氨基酸-N | 氨基酸-N | 未知态-N | 总量    |        |
| 黑钙土  | 0-12      | 2.78      | 19.78                  | 3.09  | 24.39 | 25.24 | 72.50 | 27.50  |
|      | 12-25     | 2.72      | 13.28                  | 13.71 | 32.25 | 15.40 | 74.64 | 25.36  |
|      | 25-65     | 2.04      | 20.11                  | 10.61 | 28.75 | 20.60 | 80.07 | 19.93  |
|      | 65-100    | 0.96      | 21.98                  | 13.39 | 29.74 | 8.75  | 73.86 | 26.14  |
|      | 100-130   | 0.38      | 29.72                  | 9.56  | 19.19 | 17.96 | 76.43 | 23.57  |
| 暗棕壤  | 0-1       | 15.42     | 12.65                  | 4.02  | 45.66 | 22.01 | 84.34 | 15.66  |
|      | 1-9       | 4.16      | 20.61                  | 7.82  | 32.86 | 16.58 | 77.87 | 22.13  |
|      | 9-26      | 1.41      | 19.85                  | 10.06 | 27.14 | 39.69 | 96.74 | 3.26   |
|      | 26-54     | 0.57      | 24.13                  | 7.02  | 21.14 | 14.29 | 66.58 | 33.42  |
|      | 54-89     | 0.58      | 14.48                  | 14.05 | 11.73 | 6.99  | 47.25 | 52.75  |

## 1.2 分析方法

全氮含量用凯氏半微量法,土壤氮素分布用 Bremner 法;土壤氨基酸组成用“日立-835”氨基酸自动分析仪测定。土壤先用过氧化氢除去有机质,加适量分散剂,然后用沉降法分离土壤粒级。

供分析氨基酸组成的样品制备如下:取一定量土壤酸解液,用 50℃ 水浴蒸去多余的盐酸,蒸干后的残渣溶于 0.02molL<sup>-1</sup>HCl,定容后供测定用。

## 2 结果和讨论

### 2.1 土壤剖面中不同粒级的氮素含量

三个土壤剖面各层次不同粒级中的氮素含量(表 2),均以粘粒的氮素含量最高,次为粉粒,砂粒中最低,一致地呈现出随着剖面层次的加深,其氮素含量明显地下降,张晓华<sup>[6]</sup>和 Chichester 也曾得出同样结论。

### 2.2 土壤剖面不同粒级中氨基酸含量

氨基酸是土壤中已知的含氮化合物,主要以结合态存在,存在于土壤溶液及土壤微孔隙中或吸附于其它组份上的游离氨基酸很少。因此对土壤中氨基酸氮量的研究基本上采用蛋白质中氨基酸的研究法,即通过茚三酮反应测定 6molL<sup>-1</sup>HCl 酸解液中的氨基酸量来计算土壤中氨基酸态氮总量。供试土壤剖面中氨基酸态氮约占土壤氮的 12—45%,且随剖面深度增加而降低(表 1)。剖面不同粒级中氨基酸氮量以粘粒为最高,粉粒次之,砂粒为最低,也呈现出随剖面深度增加而降低的趋势;暗棕壤 0—9cm 表层中粘粒氨基酸氮量竟高达 150.00mmolkg<sup>-1</sup>,这与该层土壤含氮高有关(表 3)。

### 2.3 剖面不同粒级中氨基酸组成

表 4、5、6 列出了不同土壤剖面不同粒级中氨基酸组成。由表 4、5、6 可以看出,不同土壤有相似的氨基酸组成,即均以甘氨酸、天冬氨酸、谷氨酸、丙氨酸、异亮氨酸等的相对含量较高,它们的酸性、碱性和中性氨基酸的百分率分别变动在 9.0—28.0%、6.2—10.4%、62.9—72.3%,看不出规律性变化,但含硫氨基酸的相对比例在三个剖面的粘粒,粉粒和砂粒中由表

表 2 土壤剖面中不同粒级中氮素含量(gkg<sup>-1</sup>)

| 土壤类型   | 层次<br>(cm) | 颗粒粒径(mm) |            |        |
|--------|------------|----------|------------|--------|
|        |            | 粘粒       | 粉粒         | 砂粒     |
|        |            | <0.001   | 0.05—0.005 | 1—0.05 |
| 黑钙土    | 0—10       | 7.85     | 3.59       | 1.44   |
|        | 10—12      | 5.57     | 3.47       | 2.77   |
|        | 12—25      | 5.46     | 3.33       | 1.56   |
|        | 25—65      | 5.00     | 2.42       | 1.09   |
|        | 65—100     | 3.27     | 1.28       | 0.14   |
| 暗棕壤    | 1—9        | 6.70     | 3.69       | 4.58   |
|        | 9—26       | 2.97     | 1.66       | 1.22   |
|        | 26—54      | 1.17     | 0.65       | 0.19   |
|        | 54—89      | 1.28     | 0.46       | 0.18   |
| 红壤性水稻土 | 0—15       | 4.47     | 1.91       | 1.60   |
|        | 15—22      | 3.04     | 1.35       | 0.99   |
|        | 22—45      | 1.16     | 0.64       | 0.31   |
|        | 45—72      | 0.75     | 0.32       | 0.10   |

表 3 土壤剖面不同粒级中氨基酸氮含量(mmolkg<sup>-1</sup>)

| 土壤类型   | 采集深度<br>(cm) | 颗粒粒径(mm) |            |        |
|--------|--------------|----------|------------|--------|
|        |              | 粘粒       | 粉粒         | 砂粒     |
|        |              | <0.001   | 0.05—0.005 | 1—0.05 |
| 黑钙土    | 0—10         | 117.0    | 78.3       | 37.2   |
|        | 10—12        | 115.0    | 75.0       | 50.4   |
|        | 12—25        | 112.0    | 89.7       | 42.8   |
|        | 25—65        | 110.0    | 54.3       | 23.6   |
|        | 65—100       | 42.2     | 22.7       | 4.3    |
| 暗棕壤    | 1—9          | 150.0    | 80.0       | 116.0  |
|        | 9—26         | 78.0     | 39.7       | 27.4   |
|        | 26—54        | 26.9     | 11.9       | 4.6    |
|        | 54—89        | 18.2     | 4.8        | 2.9    |
| 红壤性水稻土 | 0—15         | 102.0    | 50.3       | 44.7   |
|        | 15—22        | 64.3     | 34.1       | 30.7   |
|        | 22—45        | 20.9     | 9.4        | —      |
|        | 45—72        | 14.9     | 4.0        | —      |

层向底层递增。这可能与底层生物活性较弱有关。另外从表4、5、6还可看到一些氨基酸的变异情况,如 $\gamma$ -氨基丁酸,在黑钙土剖面的粘粒、粉粒和砂粒中由表层的0.6、0.4、0.3分别上升为底层的1.1、0.5、1.5在暗棕壤和红壤性水稻土中表现尤为明显,前者分别由相对含量的0.3、0.3、0.2增至底层的2.2、2.3和1.9;后者的相对比例由表层的0.5、0.4、0.5分别递增至底层的4.9、3.6。粒级中含硫氨基酸鸟氨酸的相对含量底层也较表层高些。而在酸解液中热稳定较差的精氨酸的相对含量则由红壤性水稻土表层粘粒和粉粒的3.2、3.0降至底层相应粒级的1.2和1.7。上述氨基酸在各剖面中这种变异情况是否与底层生物活性和土壤性质有关有待深入研究。

表4 黑钙土剖面中不同粒级的氨基酸组成((各氨基酸/氨基酸总量) $\times 100$ )

|                | 0-10cm |      |      | 10-12cm |      |      | 12-25cm |      |      | 25-65cm |      |      | 65-100cm |      |      |
|----------------|--------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|----------|------|------|
|                | 粘粒     | 粉粒   | 砂粒   | 粘粒      | 粉粒   | 砂粒   | 粘粒      | 粉粒   | 砂粒   | 粘粒      | 粉粒   | 砂粒   | 粘粒       | 粉粒   | 砂粒   |
| 天冬氨酸           | 14.0   | 12.2 | 10.4 | 13.5    | 11.7 | 11.3 | 13.5    | 12.2 | 10.3 | 11.9    | 11.8 | 11.6 | 11.9     | 11.8 | 11.0 |
| 谷氨酸            | 5.0    | 8.4  | 7.6  | 9.4     | 8.0  | 7.6  | 9.3     | 8.1  | 7.4  | 7.7     | 7.9  | 7.6  | 7.8      | 7.9  | 6.8  |
| 酸性氨基酸          | 19.0   | 20.6 | 18.0 | 22.9    | 19.7 | 18.9 | 22.8    | 20.3 | 17.7 | 19.6    | 19.7 | 19.7 | 19.2     | 19.7 | 19.7 |
| 赖氨酸            | 4.3    | 6.8  | 3.7  | 4.1     | 6.7  | 3.7  | 4.0     | 7.0  | 3.6  | 4.0     | 6.9  | 4.0  | 5.1      | 6.9  | 4.6  |
| 组氨酸            | 0.6    | 0.7  | 0.8  | 0.6     | 0.6  | 0.8  | 0.5     | 0.7  | 0.7  | 0.6     | 0.7  | 0.7  | 0.4      | 0.7  | 未检出  |
| 精氨酸            | 2.9    | 2.6  | 2.9  | 2.8     | 2.5  | 2.8  | 2.7     | 2.7  | 2.8  | 2.3     | 2.3  | 2.5  | 2.2      | 2.3  | 1.6  |
| 鸟氨酸            | 0.2    | 未检出  | 0.4  | 0.2     | 未检出  | 0.4  | 0.2     | 未检出  | 0.4  | 0.2     | 未检出  | 未检出  | 0.3      | 未检出  | 未检出  |
| 碱性氨基酸          | 8.0    | 10.1 | 7.8  | 7.7     | 9.8  | 7.7  | 7.4     | 10.4 | 7.5  | 7.1     | 9.9  | 7.2  | 8.0      | 9.9  | 6.2  |
| $\gamma$ -氨基丁酸 | 0.6    | 0.4  | 0.3  | 0.5     | 0.4  | 0.3  | 0.5     | 0.5  | 0.3  | 0.6     | 0.5  | 0.5  | 1.1      | 0.5  | 1.5  |
| 苏氨酸            | 6.9    | 6.5  | 6.7  | 6.7     | 6.4  | 6.8  | 6.6     | 6.9  | 6.8  | 6.4     | 6.7  | 7.1  | 5.3      | 6.7  | 6.2  |
| 丝氨酸            | 6.0    | 5.9  | 6.5  | 5.8     | 7.9  | 6.5  | 5.8     | 6.1  | 6.5  | 5.6     | 5.8  | 6.2  | 4.9      | 5.8  | 6.7  |
| 甘氨酸            | 14.2   | 13.5 | 13.3 | 13.7    | 13.3 | 13.2 | 13.8    | 14.2 | 13.5 | 13.0    | 13.8 | 14.3 | 12.8     | 13.8 | 12.4 |
| 丙氨酸            | 10.5   | 9.7  | 9.7  | 10.0    | 9.5  | 9.6  | 9.9     | 10.0 | 9.8  | 9.8     | 9.6  | 10.1 | 9.1      | 9.6  | 8.7  |
| 脯氨酸            | 6.3    | 6.4  | 6.4  | 6.1     | 6.3  | 6.2  | 6.0     | 6.8  | 6.5  | 5.3     | 6.6  | 5.9  | 4.7      | 6.6  | 10.5 |
| 异亮氨酸           | 7.9    | 7.4  | 8.0  | 8.0     | 7.2  | 8.3  | 7.7     | 8.2  | 8.1  | 8.4     | 8.5  | 9.6  | 10.7     | 8.5  | 9.6  |
| 亮氨酸            | 8.0    | 7.3  | 9.1  | 6.9     | 7.3  | 9.2  | 7.5     | 7.4  | 8.9  | 8.4     | 6.7  | 7.2  | 8.5      | 6.6  | 7.6  |
| 酪氨酸            | 1.9    | 1.4  | 1.6  | 1.9     | 1.4  | 1.7  | 1.7     | 1.7  | 1.6  | 2.9     | 1.7  | 1.9  | 1.8      | 1.7  | 未检出  |
| 苯丙氨酸           | 4.4    | 3.8  | 4.3  | 3.9     | 3.7  | 4.1  | 4.1     | 未检出  | 4.2  | 5.0     | 3.6  | 4.1  | 4.8      | 3.6  | 未检出  |
| 酪氨酸            | 4.2    | 4.5  | 5.7  | 4.1     | 4.4  | 5.6  | 4.1     | 5.0  | 5.7  | 6.8     | 4.5  | 3.9  | 7.2      | 4.5  | 未检出  |
| 中性氨基酸          | 70.9   | 66.9 | 71.7 | 67.6    | 69.9 | 71.5 | 67.7    | 66.6 | 72.0 | 72.3    | 67.7 | 70.7 | 71.6     | 67.8 | 63.5 |
| 氨基丙氨酸          | 1.1    | 1.2  | 1.5  | 1.1     | 1.2  | 1.2  | 1.2     | 1.6  | 1.7  | 0.9     | 1.5  | 2.1  | 1.3      | 1.5  | 6.5  |
| 胱氨酸            | 0.9    | 1.0  | 0.8  | 0.7     | 1.1  | 0.6  | 0.8     | 0.9  | 0.9  | 未检出     | 0.8  | 0.8  | 未检出      | 0.8  | 3.2  |
| 蛋氨酸            | 0.1    | 0.2  | 0.2  | 未检出     | 0.3  | 0.1  | 0.1     | 0.2  | 0.2  | 0.1     | 0.3  | 未检出  | 未检出      | 0.3  | 2.8  |
| 含硫氨基酸          | 2.1    | 2.4  | 2.5  | 2.8     | 2.9  | 1.9  | 2.1     | 2.7  | 2.8  | 1.0     | 2.6  | 2.9  | 1.2      | 2.6  | 12.5 |
| 每千克含氨基酸氮(mmol) | 117    | 78.3 | 37.2 | 11.5    | 75.0 | 50.4 | 112     | 69.7 | 42.8 | 110     | 54.3 | 23.6 | 42.2     | 22.7 | 4.3  |

表 5 暗棕壤剖面中不同粒级的氨基酸组成((各氨基酸/氨基酸总量)×100)

|                | 1-9cm |      |      | 9-26cm |      |      | 26-54cm |      |      | 54-89cm |      |      |
|----------------|-------|------|------|--------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
|                | 粘粒    | 粉粒   | 砂粒   | 粘粒     | 粉粒   | 砂粒   | 粘粒      | 粉粒   | 砂粒   | 粘粒      | 粉粒   | 砂粒   |
| 天冬氨酸           | 12.0  | 13.4 | 11.9 | 12.6   | 12.1 | 12.5 | 13.5    | 12.0 | 11.0 | 10.7    | 9.6  | 9.8  |
| 谷氨酸            | 9.2   | 9.4  | 9.2  | 10.1   | 9.3  | 10.1 | 11.3    | 10.0 | 8.1  | 9.4     | 7.7  | 7.8  |
| 酸性氨基酸          | 21.1  | 22.8 | 21.1 | 22.7   | 21.4 | 22.6 | 24.8    | 22.0 | 19.1 | 20.1    | 17.3 | 17.6 |
| 赖氨酸            | 4.5   | 3.9  | 0.2  | 4.8    | 3.9  | 4.2  | 5.2     | 4.7  | 4.3  | 5.2     | 4.7  | 3.7  |
| 组氨酸            | 1.4   | 1.4  | 3.6  | 1.4    | 1.3  | 1.5  | 1.4     | 1.4  | 1.5  | 1.2     | 1.1  | 0.8  |
| 精氨酸            | 3.1   | 2.7  | 2.8  | 2.6    | 2.2  | 2.8  | 2.6     | 2.2  | 2.9  | 2.6     | 1.4  | 1.9  |
| 鸟氨酸            | 0.8   | 0.4  | 0.7  | 1.0    | 0.8  | 1.0  | 1.0     | 1.0  | 1.1  | 1.2     | 1.9  | 1.8  |
| 碱性氨基酸          | 9.8   | 8.4  | 7.3  | 9.8    | 8.2  | 9.5  | 10.2    | 9.3  | 9.8  | 10.2    | 9.1  | 8.2  |
| γ-氨基丁酸         | 0.3   | 0.3  | 0.2  | 0.5    | 0.4  | 0.5  | 1.2     | 0.9  | 0.7  | 2.2     | 2.3  | 1.9  |
| 苏氨酸            | 6.4   | 6.4  | 6.3  | 6.4    | 6.7  | 7.2  | 5.9     | 7.3  | 6.9  | 4.9     | 5.7  | 5.2  |
| 丝氨酸            | 6.3   | 6.5  | 6.6  | 6.1    | 6.3  | 7.1  | 6.4     | 7.3  | 7.7  | 5.4     | 7.5  | 7.0  |
| 甘氨酸            | 13.1  | 12.8 | 12.4 | 12.0   | 11.6 | 12.3 | 11.9    | 12.8 | 11.2 | 10.3    | 12.2 | 9.5  |
| 丙氨酸            | 10.2  | 9.3  | 9.2  | 9.6    | 9.0  | 9.6  | 9.3     | 9.6  | 8.2  | 10.1    | 8.2  | 5.6  |
| 缬氨酸            | 5.8   | 6.0  | 6.0  | 5.8    | 6.6  | 5.5  | 5.6     | 7.2  | 7.1  | 5.0     | 8.1  | 6.4  |
| 异亮氨酸           | 9.0   | 8.9  | 10.1 | 10.4   | 10.9 | 8.0  | 12.7    | 8.5  | 9.8  | 13.8    | 10.0 | 16.8 |
| 亮氨酸            | 7.2   | 7.4  | 7.9  | 6.3    | 6.9  | 6.8  | 6.5     | 6.7  | 7.5  | 7.7     | 6.8  | 8.5  |
| 酪氨酸            | 3.9   | 3.2  | 3.0  | 4.9    | 4.6  | 3.6  | 0.1     | 1.4  | 0.9  | 5.7     | 未检出  | 未检出  |
| 苯丙氨酸           | 2.3   | 2.4  | 2.6  | 1.2    | 1.1  | 1.3  | 1.0     | 未检出  | 1.0  | 0.6     | 检出未  | 未检出  |
| 脯氨酸            | 3.5   | 3.8  | 5.3  | 3.0    | 3.5  | 4.7  | 2.4     | 3.3  | 4.4  | 2.3     | 5.4  | 5.0  |
| 中性氨基酸          | 67.9  | 67.3 | 69.7 | 66.0   | 67.8 | 66.6 | 62.9    | 65.3 | 65.6 | 68.1    | 66.1 | 66.0 |
| 磺基丙氨酸          | 0.5   | 0.8  | 1.0  | 0.8    | 0.6  | 0.4  | 1.2     | 1.4  | 3.2  | 1.2     | 1.5  | 3.5  |
| 胱氨酸            | 0.5   | 0.7  | 0.7  | 0.5    | 0.9  | 0.6  | 0.7     | 1.2  | 1.1  | 2.3     | 3.1  | 2.3  |
| 蛋氨酸            | 0.1   | 0.3  | 0.2  | 0.2    | 1.1  | 0.3  | 0.2     | 0.8  | 1.2  | 2.4     | 2.9  | 2.4  |
| 含硫氨基酸          | 1.1   | 1.8  | 1.9  | 1.5    | 2.6  | 1.3  | 2.1     | 3.4  | 5.5  | 6.0     | 7.5  | 8.2  |
| 每千克含氨基酸氮(mmol) | 150   | 80.0 | 116  | 78.9   | 39.7 | 27.4 | 26.9    | 11.9 | 4.6  | 18.2    | 4.8  | 2.9  |

表6 红壤水稻剖面中不同粒级的氨基酸组成((各氨基酸/氨基酸总量)×100)

|                | 0-15cm |      |      | 15-22cm |      |      | 22-45cm |      |    | 45-72cm |      |    |
|----------------|--------|------|------|---------|------|------|---------|------|----|---------|------|----|
|                | 粘粒     | 粉粒   | 砂粒   | 粘粒      | 粉粒   | 砂粒   | 粘粒      | 粉粒   | 砂粒 | 粘粒      | 粉粒   | 砂粒 |
| 天冬氨酸           | 12.1   | 11.6 | 11.4 | 12.5    | 11.9 | 11.1 | 14.1    | 13.2 | —  | 10.3    | 10.0 | —  |
| 谷氨酸            | 11.2   | 9.7  | 10.0 | 11.2    | 9.4  | 9.7  | 13.4    | 11.1 | —  | 11.9    | 10.4 | —  |
| 酸性氨基酸          | 23.3   | 21.3 | 21.4 | 23.7    | 21.3 | 20.8 | 27.5    | 24.3 | —  | 22.2    | 20.4 | —  |
| 赖氨酸            | 4.5    | 3.8  | 3.5  | 4.1     | 3.4  | 3.5  | 4.2     | 3.7  | —  | 4.6     | 3.6  | —  |
| 组氨酸            | 1.1    | 1.1  | 1.2  | 1.0     | 1.1  | 1.2  | 0.9     | 1.1  | —  | 1.3     | 1.3  | —  |
| 精氨酸            | 3.2    | 3.0  | 2.8  | 2.8     | 2.7  | 2.9  | 2.1     | 1.5  | —  | 1.8     | 1.7  | —  |
| 鸟氨酸            | 0.8    | 0.3  | 0.5  | 1.1     | 0.5  | 0.5  | 1.7     | 0.8  | —  | 2.7     | 1.3  | —  |
| 碱性氨基酸          | 9.6    | 8.2  | 8.0  | 9.0     | 7.7  | 8.1  | 8.9     | 7.1  | —  | 10.4    | 7.9  | —  |
| γ-氨基丁酸         | 0.5    | 0.4  | 0.5  | 0.7     | 0.5  | 0.4  | 1.6     | 1.5  | —  | 4.9     | 3.6  | —  |
| 苏氨酸            | 6.6    | 6.9  | 6.3  | 6.4     | 6.8  | 6.5  | 7.1     | 6.4  | —  | 4.7     | 5.7  | —  |
| 丝氨酸            | 6.3    | 6.6  | 6.5  | 5.9     | 6.2  | 6.9  | 5.2     | 6.2  | —  | 4.9     | 5.9  | —  |
| 甘氨酸            | 12.1   | 12.5 | 11.3 | 11.9    | 12.3 | 12.0 | 11.1    | 12.2 | —  | 10.8    | 12.9 | —  |
| 丙氨酸            | 10.3   | 10.5 | 9.4  | 10.3    | 10.5 | 9.9  | 10.3    | 11.2 | —  | 10.1    | 10.3 | —  |
| 缬氨酸            | 6.2    | 6.7  | 6.7  | 6.2     | 7.1  | 6.5  | 5.7     | 6.0  | —  | 5.6     | 7.2  | —  |
| 异亮氨酸           | 6.8    | 7.8  | 7.9  | 7.5     | 7.5  | 7.7  | 8.8     | 6.0  | —  | 11.5    | 5.9  | —  |
| 亮氨酸            | 6.9    | 6.8  | 7.2  | 6.6     | 6.9  | 7.2  | 5.4     | 5.4  | —  | 6.5     | 8.4  | —  |
| 酪氨酸            | 4.0    | 3.9  | 4.0  | 4.7     | 4.4  | 3.9  | 4.5     | 1.9  | —  | 3.0     | 1.8  | —  |
| 苯丙氨酸           | 2.9    | 2.5  | 2.2  | 2.4     | 2.4  | 2.4  | 0.9     | 1.4  | —  | 2.9     | 0.8  | —  |
| 脯氨酸            | 3.2    | 4.1  | 4.7  | 3.0     | 3.7  | 4.9  | 1.5     | 9.0  | —  | 未检出     | 5.0  | —  |
| 中性氨基酸          | 65.8   | 68.5 | 66.5 | 65.6    | 68.3 | 68.1 | 62.3    | 67.1 | —  | 64.8    | 67.7 | —  |
| 磺基丙氨酸          | 0.4    | 0.4  | 1.4  | 0.5     | 0.4  | 1.1  | 0.8     | 0.9  | —  | 0.8     | 2.3  | —  |
| 胱氨酸            | 0.8    | 0.9  | 1.3  | 0.7     | 1.3  | 0.9  | 未检出     | 未检出  | —  | 未检出     | 未检出  | —  |
| 蛋氨酸            | 0.2    | 0.7  | 1.4  | 0.5     | 1.0  | 0.9  | 0.5     | 0.6  | —  | 1.8     | 1.7  | —  |
| 含硫氨基酸          | 1.4    | 2.0  | 4.1  | 1.7     | 2.7  | 2.9  | 1.3     | 1.5  | —  | 2.6     | 4.0  | —  |
| 每千克含氨基酸量(mmol) | 102    | 50.3 | 44.7 | 64.3    | 34.1 | 30.7 | 20.9    | 9.4  | —  | 14.9    | 4.0  | —  |

## 参 考 文 献

- 1 程励励,文启孝,施书莲.有机肥和化学氮肥配合施用对氮素的供应和转化.见:中国土壤学会.中国土壤学会土壤氮素工作会议论文集.北京科学社,1986,104-115
- 2 周克瑜,施书莲.我国几种主要土壤氮素形态分布及其氨基酸组成.土壤,1992,24(6):285-288
- 3 Sowden, F. J. Can. J. Soil Sci, 1970, 508:227-232
- 4 Sowden, F. J. Soil Biochem., 1976, 8:55-60
- 5 Sowden, F. J. Soil Sci, 1977, 57:445-456
- 6 Momink H. J. Soil Sci, 1967, 18:301-308
- 7 Decdu, J. Agron, 1969, 208:35-59
- 8 张晓华,杜丽娟,文启孝.几种水稻土不同粒级中的有机质含量和组成.土壤学报,1984,21(4):418-425
- 9 Chichester, F. W., Soil Sci, 1969, 107:356-363