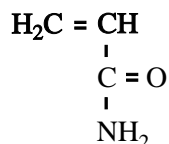


Acrylamide

Acrylamide heeft de volgende structuurformule:

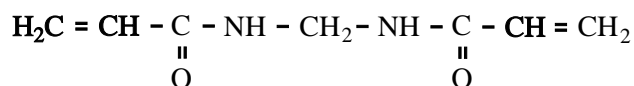


Acrylamide kan gemakkelijk polymeriseren. Door additiepolymerisatie ontstaat dan polyacrylamide. Polyacrylamide wordt onder andere als superabsorberend materiaal gebruikt. Er wordt beweerd dat polyacrylamide tot honderd maal zijn eigen massa aan water kan opnemen.

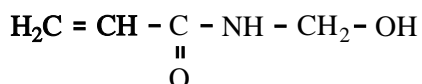
- 3p **20** Bereken hoeveel watermoleculen per acrylamide-eenheid zijn gebonden wanneer polyacrylamide honderd maal zijn eigen massa aan water heeft opgenomen. Geef je antwoord in twee significante cijfers.

Polyacrylamide is een ketenpolymeer. Maar wanneer acrylamide polymeriseert in aanwezigheid van de stof N,N-methyleen-bisacrylamide ontstaat een netwerkpolymeer.

- 2p **21** Geef een gedeelte van een molecuul polyacrylamide in structuurformule weer. Dit gedeelte moet komen uit het midden van het molecuul en bestaan uit drie acrylamide-eenheden.
- 2p **22** Leg uit dat een netwerkpolymeer ontstaat wanneer polymerisatie optreedt in een mengsel van acrylamide en N,N-methyleen-bisacrylamide. De structuurformule van N,N-methyleen-bisacrylamide is als volgt:



Netwerkpolymeren van acrylamide en N,N-methyleen-bisacrylamide worden sinds de jaren vijftig van de vorige eeuw veel in de bouw toegepast als voegmiddel in metselwerk. Al snel na de introductie van acrylamide ontdekte men dat deze stof schadelijk kan zijn voor het zenuwstelsel. Dit was de reden waarom men ertoe overging om acrylamide te vervangen door het minder schadelijke N-methylolacrylamide. De structuurformule van N-methylolacrylamide is als volgt:



N-methylolacrylamide kan worden verkregen door reactie van acrylamide met een stof X. Bij deze reactie is N-methylolacrylamide het enige reactieproduct.

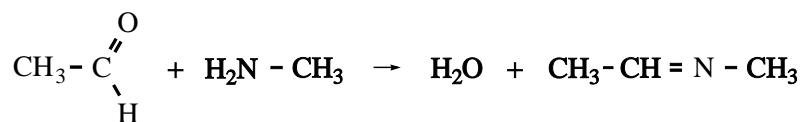
- 2p **23** Geef de structuurformule van de bedoelde stof X.

Tijdens de bouw van een spoorwegtunnel in Zweden kreeg men last van water dat door spleten in de tunnelwand lekte. Om deze spleten te dichten, injecteerde men ze met een mengsel van N-methylolacrylamide en N,N-methyleen-bisacrylamide en liet dat polymeriseren. Het lekken hield op, maar de tunnelarbeiders klaagden over 'verdovende prikkelingen in armen en benen'. Deze verschijnselen kwamen overeen met wat mag worden verwacht bij een acrylamide-vergiftiging.

Het mengsel van N-methylolacrylamide en N,N-methyleen-bisacrylamide werd door een Franse fabriek geleverd in vaten. Volgens de opgave van de fabrikant bevatte dit mengsel slechts een gering percentage acrylamide. Toen men echter de inhoud van de vaten in Zweden onderzocht, bleek dat het gehalte aan acrylamide in het mengsel aanzienlijk hoger was dan door de fabrikant was opgegeven.

- 1p **24** Geef een mogelijke chemische verklaring voor het feit dat het gehalte acrylamide hoger was dan door de fabriek was opgegeven. Neem aan dat zowel de Fransen als de Zweden het acrylamide-gehalte juist hebben bepaald en dat bij het vervoer van Frankrijk naar Zweden de vaten dicht zijn gebleven.
- 1p **25** Wat moet je onderzoeken aan het mengsel van N-methylolacrylamide en N,N-methyleen-bisacrylamide om je veronderstelling te toetsen?

Bij onderzoek bleek inderdaad dat de tunnelarbeiders te hoge gehalten aan acrylamide in hun bloed hadden. Ook werd een controlegroep van mensen onderzocht die niet was blootgesteld aan het mengsel van N-methylolacrylamide en N,N-methyleen-bisacrylamide. Tot veler verrassing bleek dat de mensen uit de controlegroep ook relatief hoge gehalten aan acrylamide in hun bloed hadden. Nader onderzoek toonde aan dat acrylamide voorkomt in veel zetmeelhoudende producten die gebakken, gegrild of gefrituurd waren, zoals patates frites, chips, koekjes en pepernoten. De grondstoffen voor deze voedingsmiddelen bevatten geen acrylamide. Het wordt naar alle waarschijnlijkheid gevormd in de zogenoemde Maillardreactie, een reactie tussen suikers en aminozuren die bij bakken, grillen en frituren zorgt voor onder andere de bruine kleur. De Maillardreactie verloopt in een aantal stappen. In de eerste stap reageert de aldehydegroep van een suikermolecuul met een NH₂ groep. Bij deze reactie ontstaan een zogenoemd imine en water. Een voorbeeld van de vorming van een imine is de reactie tussen ethanal en methaanamine:



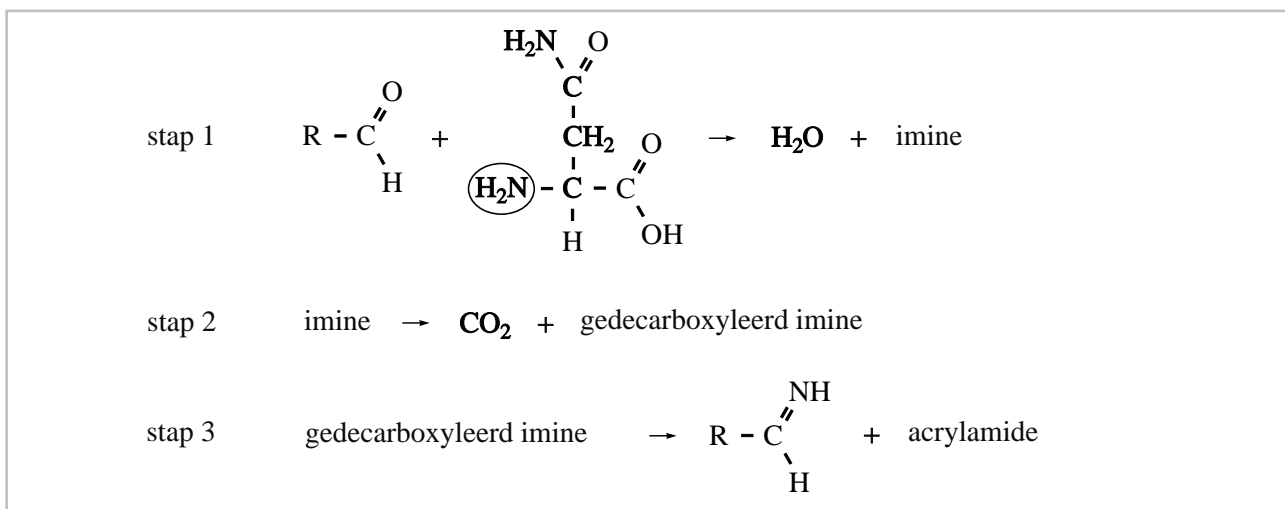
Men veronderstelt dat in de Maillardreactie waarbij acrylamide ontstaat, glucose reageert met het aminozuur asparagine. Glucosemoleculen komen behalve in de ringstructuur ook voor in een open ketenstructuur met een aldehydegroep.

Voor de vorming van acrylamide uit glucose en asparagine heeft men een aantal mechanismen bedacht. Eén van die mechanismen is hieronder weergegeven.

Voor het glucosemolecuul is hierin de notatie $R - \overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}} - \text{H}$ gebruikt.

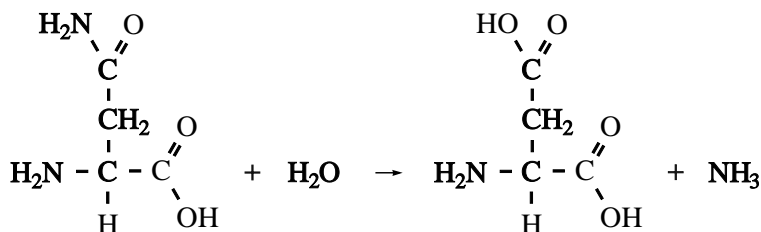
Omdat een asparaginemolecuul twee NH_2 groepen heeft, kan zo'n molecuul op twee manieren met een glucosemolecuul reageren. Alleen de reactie van een glucosemolecuul met de omcirkelde NH_2 groep leidt tot de vorming van een acrylamidemolecuul.

reactiemechanisme



- 3p **26** Geef de structuurformules van het imine en van het 'gedecarboxyleerde imine' die in respectievelijk stap 1 en stap 2 van de vorming van acrylamide worden gevormd. Gebruik voor de restgroep van het glucosemolecuul de notatie R. Noteer je antwoord als volgt:
 imine: ...
 gedecarboxyleerd imine: ...

Om na te gaan of inderdaad asparagine de bron is van het ontstaan van acrylamide heeft men een onderzoek uitgevoerd waarbij gebruik is gemaakt van het enzym asparaginase. Dit enzym katalyseert de volgende reactie:



Dit onderzoek is uitgevoerd met behulp van aardappelpuree die wordt gegrild bij een temperatuur die hoog genoeg is om de Maillardreactie te laten optreden.

- 2p **27** Beschrijf globaal hoe je zo'n onderzoek zou kunnen uitvoeren.